



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

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

Madrid

Julio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
***‘ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR DE LA
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESPAÑA’***

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2019/20 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Enrique de Leyva Mérida

Fecha: ..06../ ..07../ 2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Gregorio López López

Fecha: ..06../ ..07../ 2020



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

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

Madrid

Julio de 2020

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

Autor: de Leyva Mérida, Enrique.

Director: López López, Gregorio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

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.

Palabras clave: Digitalización, Distribución eléctrica, *Big Data*, *IoT*, *5G*, *Cloud*, Inteligencia Artificial, *Blockchain*, Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Tecnología de Inspección, Gemelo Digital, Ciberseguridad, Recursos Energéticos Distribuidos, Gestión de activos.

1. 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.

Como objetivos generales, con este trabajo se busca hacer una introducción al contexto actual y analizar las principales cifras del sector eléctrico y de la distribución de la energía eléctrica en España, analizar el contexto actual de la digitalización en España y dar una idea del grado de digitalización de la industria española en general y del sector eléctrico en particular, discutir el papel de la digitalización en el proceso de la transición energética y en la integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, analizar el impacto que tiene la digitalización en las cadenas de valor de las empresas del sector de la distribución, especialmente en las organizaciones, los procesos y la gestión de activos, y en el cliente, identificar los principales retos a los que se enfrenta el sector en materia de digitalización y, por último, realizar un análisis del estado de las tecnologías clave en la digitalización del sector – *IoT*, *5G*, *Cloud Computing*, *Machine Learning*, *Deep Learning*, *Big Data*, *Blockchain*, Tecnologías de Inspección (*UAV*, *LIDAR* e imagen satelital), Tecnologías Inmersivas (Realidad Virtual y Realidad Aumentada) y Gemelo digital.

Como objetivos más específicos, en este trabajo se analiza reto a reto la integración de dichas tecnologías clave en cada uno de los retos de la gestión de activos que se han identificado, se analiza el ecosistema de ciberseguridad necesario para alcanzar la resiliencia del sector eléctrico, identificando los factores de éxito y discutiendo sobre los denominados *Demand-Side Attacks*, y, por último, se analizan dos casos de uso específicos, uno donde se cuantifican la mejora de la productividad y la reducción de los costes que pueden derivarse de la adopción de una estrategia de mantenimiento digital por parte de las distribuidoras, y otro donde se discute el papel de algunas tecnologías digitales en la integración responsable de los Recursos Energéticos Distribuidos (*DER*) en la red de distribución.

2. Metodología

Para ello, se sigue una metodología deductiva en la que se parte del contexto general del sector eléctrico y del contexto digital de la industria española, para particularizar después

el impacto de la digitalización en el sector de la distribución y aterrizar finalmente en la gestión de activos a través de dos casos de uso.

3. Resultados

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.

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

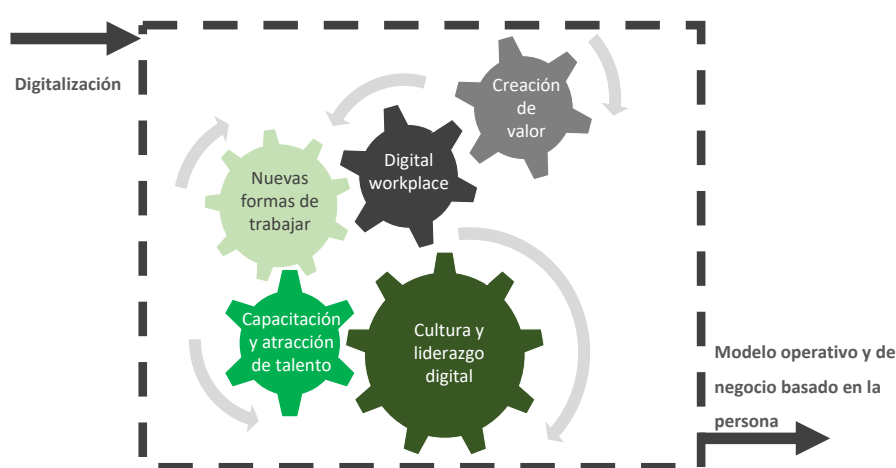


Ilustración 1 – Impacto de la digitalización en la organización de las compañías

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 [2].

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 [3].

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].

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, 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.

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



Ilustración 2 – Impacto de la digitalización en los procesos y la gestión de activos

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.

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 del *Cloud Computing* 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, sobretudo 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.

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 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 del sector eléctrico [4].

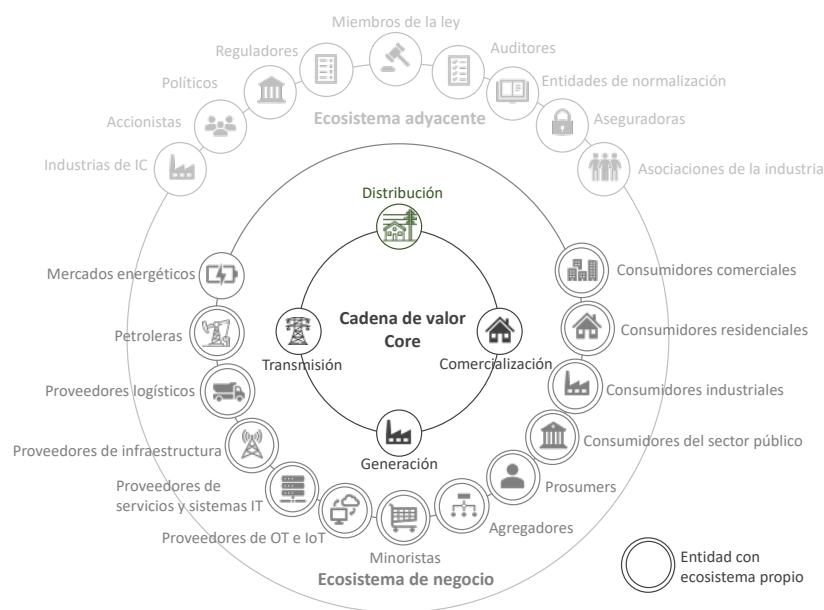


Ilustración 3 – Ecosistema eléctrico

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, se identifican los siguientes retos 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>
	a.5 Desarrollo de capacidades de analítica avanzada e integración de estas en la gestión de RRHH
b. Relación con el cliente	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
	b.4 Desarrollo de nuevos canales y experiencias de atención al cliente
c. Procesos y gestión de activos	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, 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.

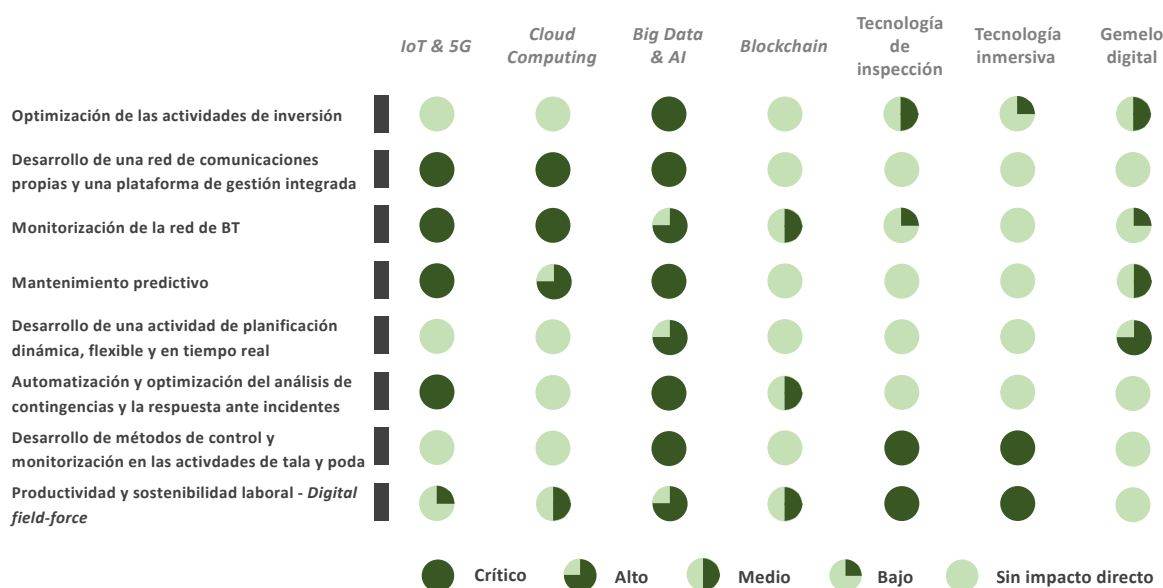


Ilustración 4 – Matriz de impacto de las tecnologías en los retos de los procesos y gestión de activos

En el primer caso de uso, como se comentaba, 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: el mantenimiento predictivo, la gestión integrada y automatizada, la automatización de la cadena de suministro y la *digital field-force*.

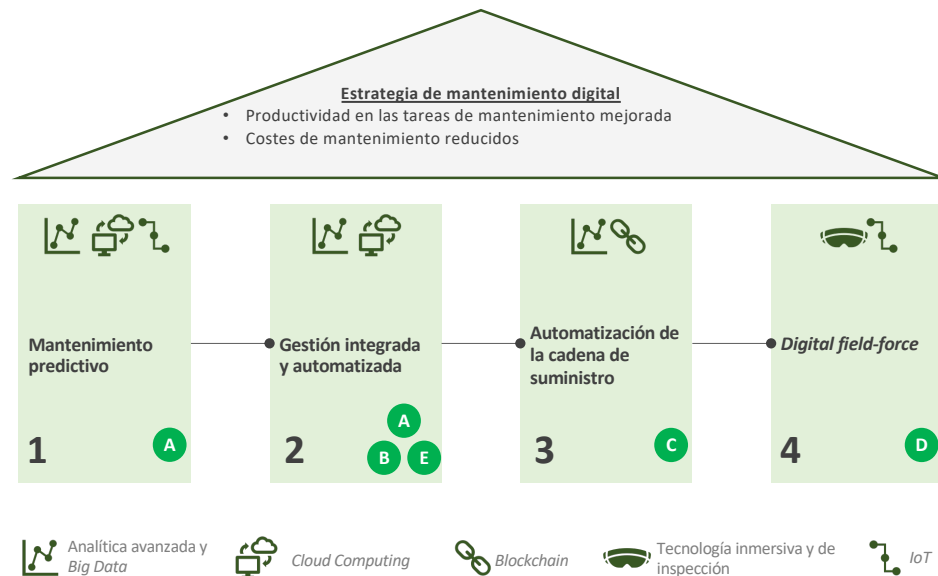


Ilustración 5 – Palancas para la adopción de una estrategia de mantenimiento digital

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, 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.

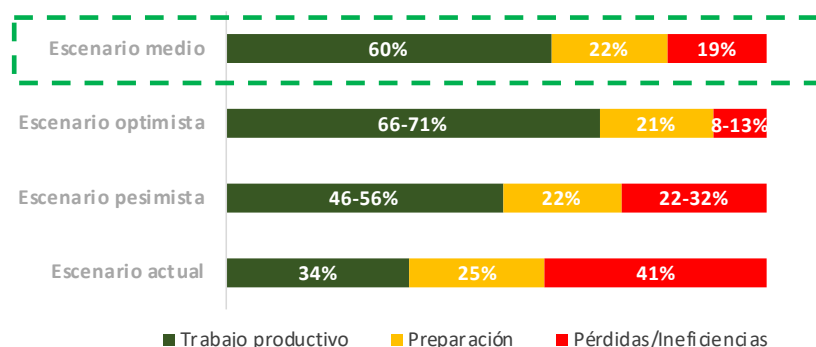


Ilustración 6 – Potencial ganancia de productividad en las actividades de mantenimiento

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, se estima que la potencial reducción de los costes es de aproximadamente un 21%.

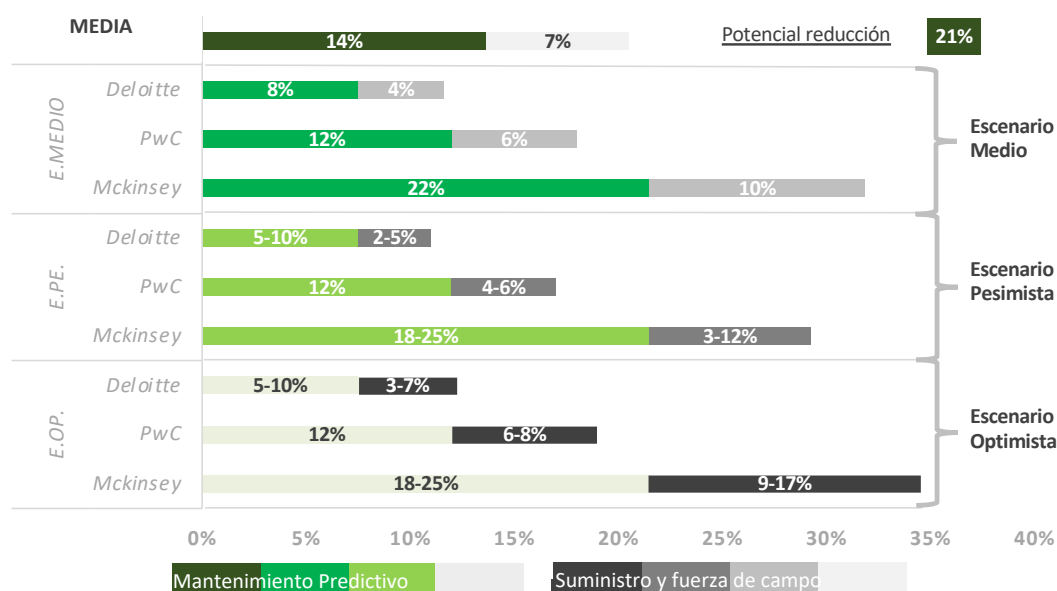


Ilustración 7 – Potencial reducción de costes en las actividades de mantenimiento

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.

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

La aparición de nuevos agentes y recursos 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 como plataforma’ [5]. 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.

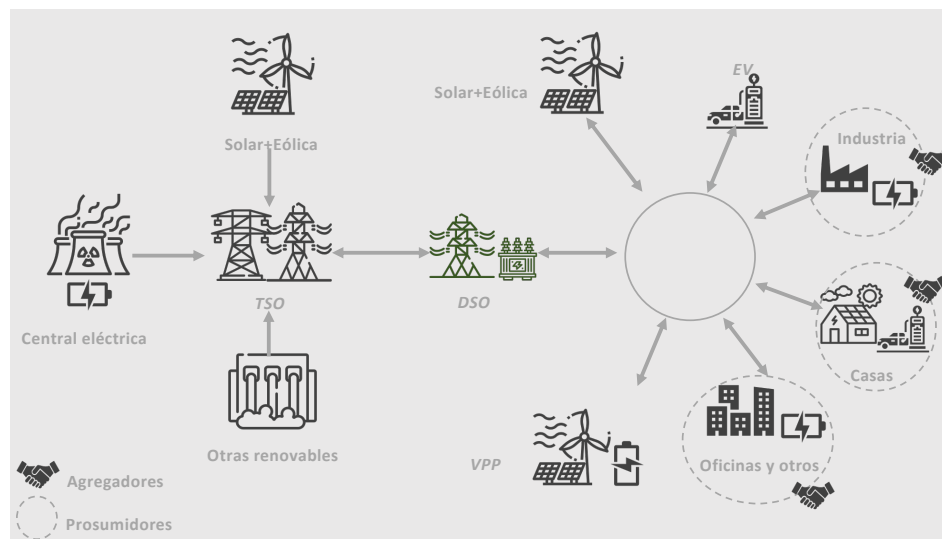


Ilustración 8 – Agentes del sistema eléctrico dominado por los DER

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: una conectividad resiliente y de baja latencia, fuertes capacidades de analítica, una planificación dinámica y flexible y la integración progresiva del *blockchain*.

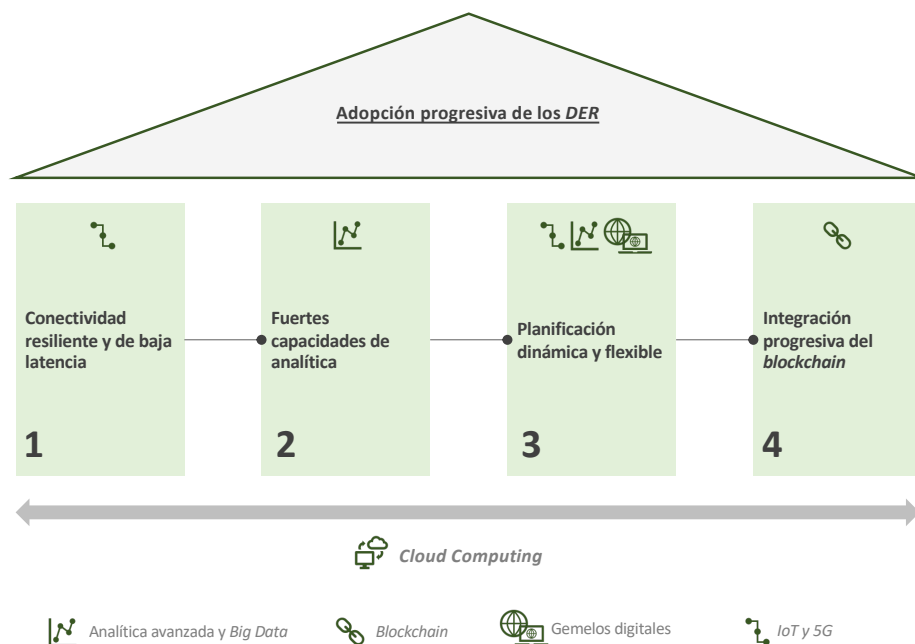


Ilustración 9 – Palancas para la integración responsable de los DER

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 [6].

Así, los *Smart Contracts*, se presentan como la tecnología habilitadora de un mercado *P2P* 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 [7].

4. 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.

5. Referencias

- [1] Club Español de la Energía, '*Digitalización en el sector energético español*', 2019
- [2] Mckinsey, '*Digital success requires a digital culture*'
- [3] BCG, '*How to gain and develop digital talent and skills*', 2017
- [4] WEF y BCG, '*Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards*'
- [5] BCG, '*Finding the sweet spot in Distributed Energy*', 2017
- [6] Deloitte, '*Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity*', 2016
- [7] Mckinsey, '*What every utility CEO should know about blockchain*', 2018

ANALYSIS OF THE IMPACT OF DIGITALISATION ON THE ELECTRICITY DISTRIBUTION SECTOR IN SPAIN

Author: de Leyva Mérida, Enrique.

Supervisor: López López, Gregorio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

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

Key words: Digitization, Power Distribution, Big Data, IoT, 5G, Cloud, Artificial Intelligence, Blockchain, Virtual Reality, Augmented Reality, Inspection Technology, Digital Twin, Cybersecurity, Distributed Energy Resources, Asset Management.

1. Introduction

Digitalization is a phenomenon that has been impacting vertically and horizontally in all economic areas of our country for more than a decade, mainly driven by improved connectivity. However, certain aspects make the current digital landscape different. Firstly, the emergence of a new type of consumer with completely new paradigms, who is at the center of processes, is more service-oriented and demands a greater capacity for decision-making and selection in real time. Next, the well-known sustainability environment in which the society is currently immersed, where digitalization plays a fundamental role. Finally, the unprecedented pace at which our environment is changing, driven by three drivers that form a closed chain: the improvement in connectivity driven by the deployment of IoT devices, which extends the concept of people to things, and by the rise of 5G, which involves breaking down the barriers of movement, volume and time, the explosion of data brought about by the development of ICT and IoT, and the proliferation of information processing applications [1].

It is precisely in this context of information explosion that the sector has to leverage on to offer a service adapted to the new type of consumers. For this reason, the main objective of this Master's thesis is to analyze the impact of digitalization on the electric power distribution sector.

As general objectives, this thesis seeks to make an introduction to the current context and to analyze the main figures of the power sector and the distribution of electric power in Spain, to analyze the current context of digitalization in Spain and to give an idea of the degree of digitalization of the Spanish industry in general and of the electrical sector in particular, to discuss the role of digitalization in the process of the energy transition and in the integration of the Sustainable Development Goals, to analyze the impact of digitization on the value chains of companies in the distribution sector, especially on organizations, processes and asset management, and on the client, to identify the main challenges facing the sector in terms of digitization and, finally to carry out an analysis of the state of the art of the key technologies in the digitalization of the sector - IoT, 5G, Cloud Computing, Machine Learning, Deep Learning, Big Data, Blockchain, Inspection Technologies (UAV, LIDAR and satellite image), Immersive Technologies (Virtual Reality and Augmented Reality) and Digital Twin.

As more specific objectives, this paper analyses challenge by challenge the integration of these key technologies in each of the identified asset management challenges, analyses the cybersecurity ecosystem needed to achieve the resilience of the electric power sector, identifying the success factors and discussing the so-called Demand-Side Attacks, and finally, two specific use cases are analyzed, one where the improvement in productivity and the reduction in costs that can result from the adoption of a digital maintenance strategy by distributors are quantified, and the other where the role of some digital technologies in the responsible integration of Distributed Energy Resources (DER) in the distribution network is discussed.

2. Methodology

To this end, a deductive methodology is followed in which the general context of the electric power sector and the digital context of Spanish industry is taken as a starting point, and then the impact of digitalization on the distribution sector is specified and finally landed in the asset management through two use cases.

3. Results

As with any other business activity, digitization in the electric power distribution sector affects the three main pillars of its value chain: organization, processes and technology, and customer relations.

As far as the organization is concerned, the digital transformation has an impact on 5 fundamental areas, seeking to achieve people-centered operational and business models [1].

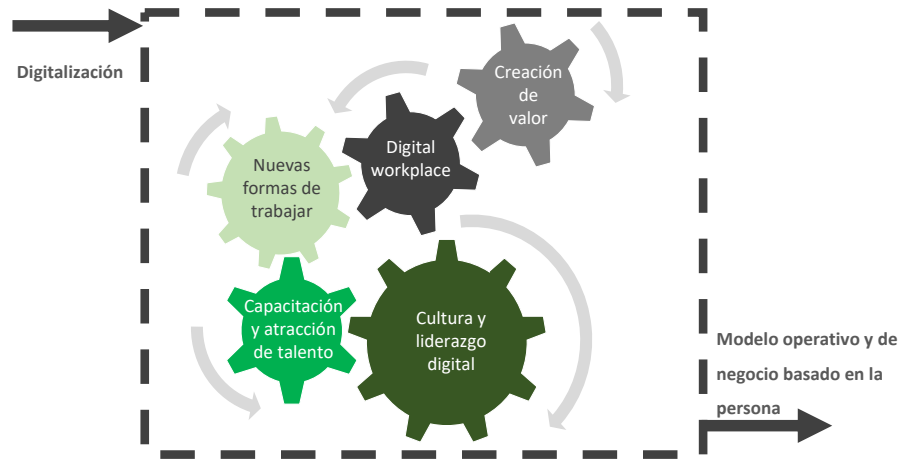


Figure 4 – Impact of digitalization on the organization of companies

In order to make the most of digitization, it is essential that companies start by establishing a common digital culture. The organization must be people-centered, aligned with the digital vision and committed to the necessary efforts. To achieve this, three ingredients are necessary: support from leadership levels, the elimination of silos to approach a flexible working structure away from the traditional one and breaking through risk aversion [2].

In training and talent attraction activities, it is important to bear in mind that the speed of digitalization means that new technologies and business models are quickly available to all industry players. What really makes the difference, therefore, is the ability to identify, recruit and retain the digital talent that makes the technology work and use it to develop new ideas and create new business opportunities. To this end, there are 4 fundamental questions regarding the attraction of digital talent that need to be answered: Who, Where, How and What, in other words, fully understand the digital profiles that are in the market, analyze how to access these profiles, ensure that you are attractive to these profiles both at the level of recruitment and retention, and define the level of expertise that is required from these profiles [3].

With regard to new ways of working, companies must leverage the efficiency provided by digitalization by increasing flexibility and focusing on the creation of value through

new forms of agile and collaborative work. On the way to achieving these new ways of working, the transition to the digital workplace is fundamental. This is a natural evolution resulting from redesigning processes to maximize productivity and prioritize the experience of employees, placing them at the center and encouraging collaboration, communication, agility and security [1].

In the relationship with the client, digitalization is presented as a catalyst for the appearance of this new type of consumer that was mentioned earlier. This change in customer paradigms means that companies in the sector have to adapt in order to offer a service that is up to date with the expectations of new customers. Thus, digitalization continues the customer empowerment process that started years ago with the liberalization of the sector and the creation of the Last Resort Supply, with which it went from being a simple subscriber to an active customer. The digital acceleration will cause us to talk about participative customers. The new type of customer will culminate in the figure of the prosumer, who will be able to generate his own energy, store it and decide when to sell it to the network. The new business model of the distributors must provide control and simplicity to the customer and, through the AI, they must be able to provide decision engines and personalization in real time to their customers [1]. In addition to this radical change, companies will have to adapt to be able to offer new value-added services that prioritize the consumer experience, such as the possibility of offering energy packages according to the origin of the energy. This consumer experience will have to be flexible and dynamic across all channels to adapt to the new consumer profile. VR technology plays a key role in this respect, giving customers the opportunity to participate in innovative experiences.

In relation to distribution processes and asset management, digitization has an impact on three strategic areas and one transversal area [1].



Figure 5 – Impact of digitization on processes and asset management

In investment activities, digitization will enable a substantial improvement in decision-making both in the acquisition of new assets based on technologies such as digital twins or immersive technologies, and in new investment processes by considerably reducing risks through the use of advanced analytics and Big Data. On the planning side, virtualization through digital twins and its combination with advanced analytics will play a key role in the integration of DER through the performance of multi-scenario simulations.

In O&M activities, digitization accumulates a great power to optimize processes. At the operational level, the interconnection of assets through the deployment of IoT devices and their combination with Big Data and advanced analytics will achieve a much more autonomous operation of MV and HV networks and will turn the LV network into an operable network. In terms of maintenance, the combination of these technologies will enable a much more integrated management of the distribution network through cloud computing and allow the adoption of predictive maintenance strategies, which will be a key factor in ensuring the operability and sustainability of the facilities. Digital tools will play a fundamental role in monitoring field work and increasing productivity in maintenance tasks, above all thanks to immersive and inspection technologies.

As far as sustainability is concerned, digitalization will allow operations to be carried out in a fault-free environment and in safe operating conditions.

The transition to the Smart Grid will add a new dimension that will be just as critical as maintaining the balance of the network and ensuring the quality of supply. The huge interconnection of assets and the constant flow of communication between the different actors in the electricity landscape will make it necessary to develop a resilient cybersecurity ecosystem in which the collaboration of all actors in the electricity sector will be essential [4].

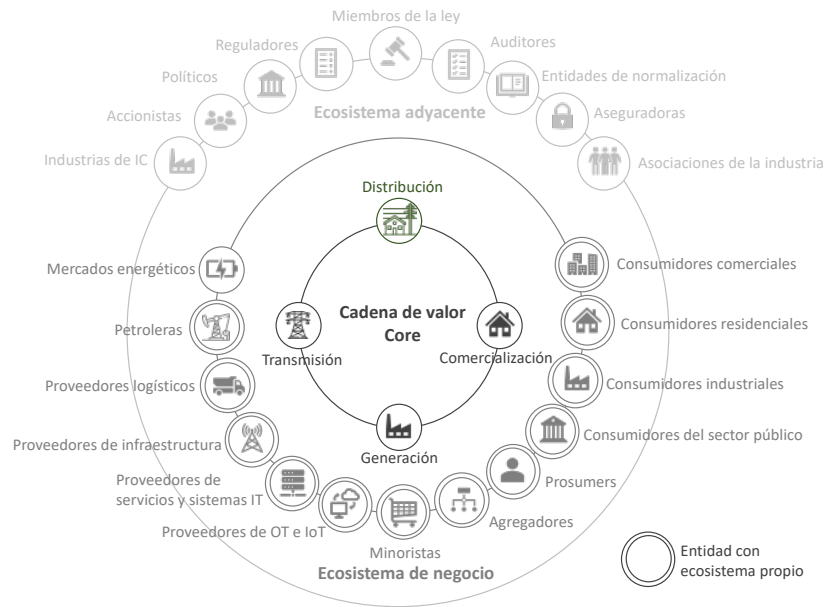


Figure 6 – Electric power ecosystem

In addition to this ecosystem-wide collaboration, some of the key success factors in achieving systemic resilience are: the adoption of Defense in Depth strategies, cooperation of IT and OT technologies, the development of end-to-end cybersecurity strategies, the development of a strong culture of cybersecurity, systemic collaboration and awareness, the development of metrics and adaptation to emerging technologies. Finally, the increasing decentralization of networks through the penetration of DER raises the need for organizations in the electricity ecosystem, when assessing and prioritizing cyber-risk in the environment, to also consider the potential impact of cyber-attacks through consumer-driven and operated systems, known as Demand-Side Attacks.

Thus, the following challenges for the sector in terms of digitalization are identified.

TYPE	CHALLENGE
a. Companies organization	a.1 Implementation of a digital strategy-aligned culture
	a.2 Development and implementation of new agile ways of working
	a.3 Development of digital talent attraction capabilities
	a.4 Digital workplace transition
	a.5 Development of advanced analytical capabilities and integration of these into HR management
b. Customer relations	b.1 Development of new customer-focused business models
	b.2 Development of strategies to adapt to growing customer expectations
	b.3 Development of decision engines and real-time personalization
	b.4 Development of new customer service channels and experiences
c. Processes and asset management	c.1 Investment activities optimization
	c.2 Development of a proprietary communications network and an integrated management platform
	c.3 LV grid monitorization
	c.4 Predictive maintenance
	c.5 Development of a dynamic, flexible and real-time planning activity
	c.6 Automation and optimization of contingency analysis and incident response
	c.7 Development of vegetation control and monitoring systems
	c.8 Digital field-force
d. Electric power ecosystem	d.1 Developing systemic cyber-resilience through full ecosystem collaboration
	d.2 Development of a new regulatory framework adapted to the requirements of digitization

Table 1 – Challenges identified for digitization in the electric power distribution sector

In the analysis of the integration of key digital technologies in the challenges of processes and asset management, it is concluded that Big Data, advanced analytics, IoT and Cloud Computing are fundamental in most of the challenges faced by the distribution sector, that immersive and inspection technologies are particularly relevant in improving the productivity of field activities, and that the blockchain and the digital twin technologies impact through very specific use cases.

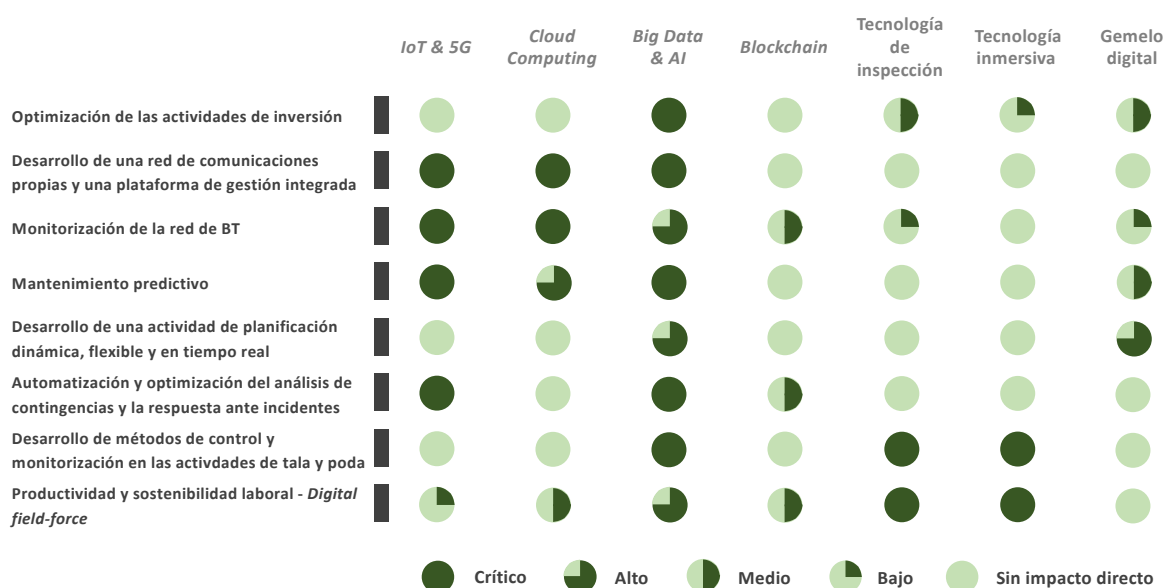


Figure 4 – Key technologies impact matrix on process and asset management challenges

In the first use case, as mentioned above, the consequences for companies in the distribution sector of adopting a digital maintenance strategy based on 4 pillars are studied: predictive maintenance, integrated and automated management, supply chain automation and digital field-force.

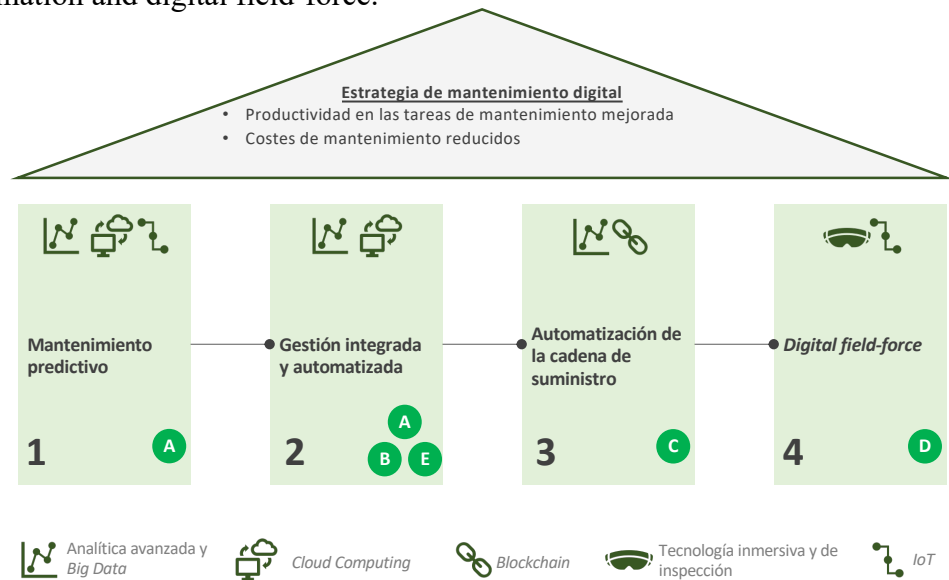


Figure 5 – Digital maintenance strategy adoption levers

With regard to improving productivity, the distributed nature of assets in the distribution sector is the main reason for inefficiencies in the working hours of the field-force. The long distances that the workforce must travel to carry out maintenance or simple inspection activities, together with other sources of inefficiency such as lack of coordination with the materials supply chain, result in long waits without useful work. Thus, it is estimated that the improvement derived from the adoption of a digital maintenance strategy is approximately 75% gain in useful work per day, driven mainly by the elimination of inefficiencies in supply activities through the automation of the supply chain.

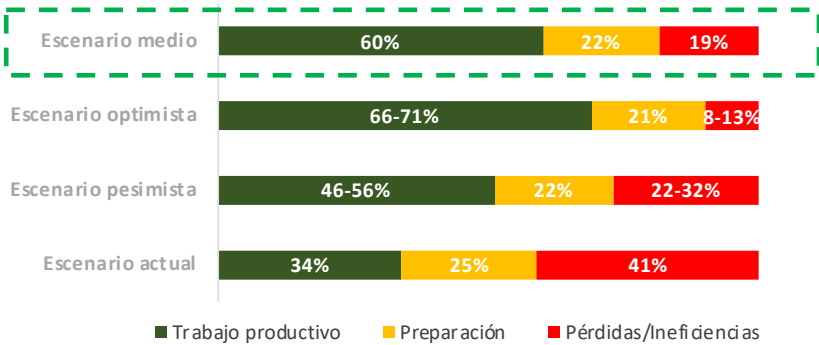


Figure 6 – Potential productivity gains in maintenance activities

On the costs side, the main driver of maintenance cost reduction is the use of predictive maintenance. In addition, the elimination of inefficiencies in the material supply chain through its automation not only reduces costs in mere procurement tasks, but indirectly reduces travel costs and, combined with inspection and immersion technologies, further reduces costs through improved productivity ratios on the part of the field force. Thus, the potential cost reduction is estimated to be approximately 21%.

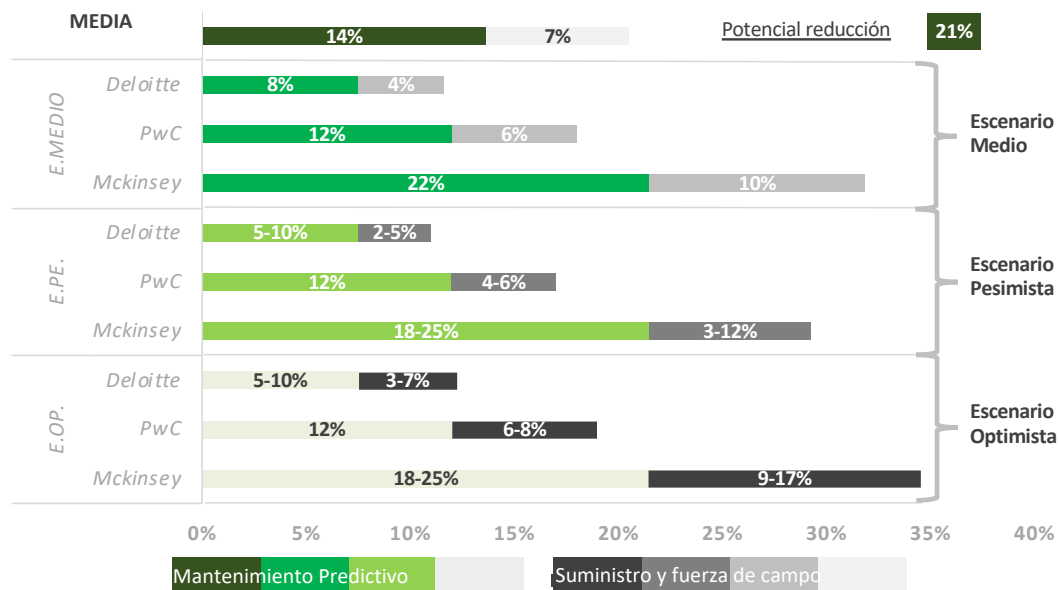


Figure 7 – Potential cost reduction in maintenance activities

The SWOT analysis makes it clear that the weaknesses resulting from the adoption of this strategy are mostly related to the intensity of investment and initial capabilities required. However, the development of mitigation plans can make the adoption of this digital maintenance strategy more sustainable.

In the second use case, as introduced above, the role of some digital technologies in the responsible integration of DER into the distribution network is discussed.

The emergence of new entrants to the distribution network, such as distributed generation, energy storage and customer participation, either through the use of EV or the purchase and sale of energy, is leading to the decentralization of electricity networks. The take-off of DER opens up potential opportunities on how the network business can evolve to a 'network as a platform' model [5]. Agents in the electricity ecosystem will have to adapt their business models to successfully position themselves in this evolving

market. In addition, aggressive growth in the penetration of these resources translates into greater fluctuations in consumption and greater bi-directional energy flows, making it more difficult to maintain network stability. Moreover, these resources are changing the physical configuration of the system and the roles of the agents involved in it.

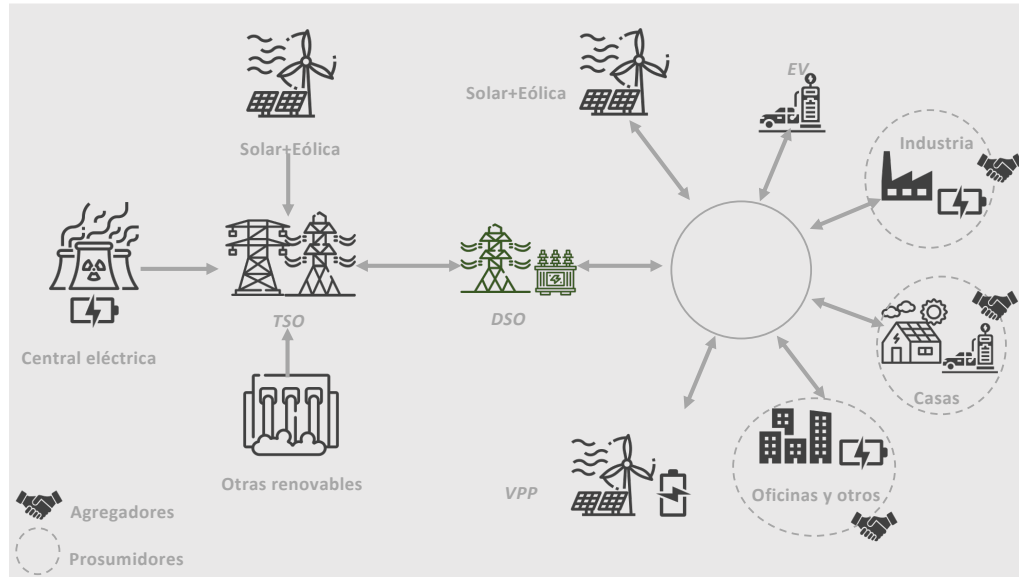


Figure 8 – Agents in the DER-dominated electric power system

For practical purposes, the main role of distributors will continue to be to provide an efficient, safe and high-quality electricity distribution service and to be responsible for the planning, development, operation and maintenance of LV and MV distribution networks. However, in addition to these traditional concerns, there are new roles, such as market facilitators of flexibility services, managers of information and communications between the different market players, and developers of new platforms that allow prosumers to enjoy innovative services.

The proliferation of these distributed resources is therefore leading to the decentralization of electricity networks. This is why the agents of the electricity sector must rely on digital technologies to achieve a progressive integration of these DER without compromising the stability of the electric power grid, since the aggressive growth of the penetration of these resources results in greater fluctuations in consumption and greater bi-directional energy flows, as mentioned above. Therefore, 4 levers are proposed for the responsible integration of these resources: resilient and low-

latency connectivity, strong analytical capabilities, dynamic and flexible planning and progressive integration of the blockchain.

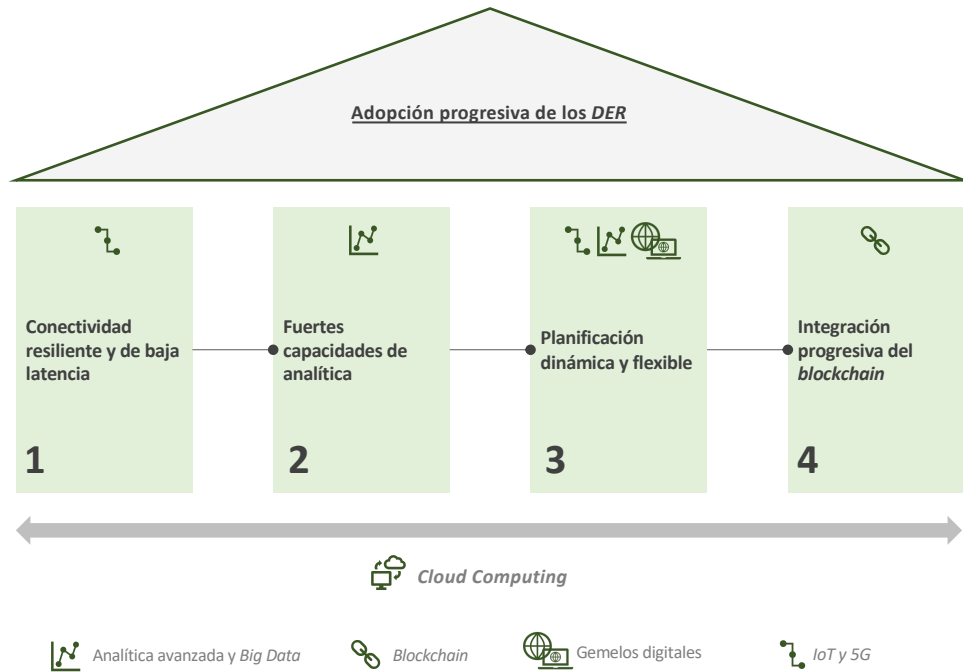


Figure 9 – Responsible DER integration levers

The multiplication of bi-directional energy flows in the LV network through energy storage, micro-generation and demand sharing makes it necessary to establish real-time energy exchanges. The development of a fully interconnected, automated and low-latency operating network is therefore essential to respond effectively to such fluctuations that may threaten the stability of the network. Thus, the deployment of IoT devices throughout the network becomes a necessity. The versatility offered by this technology through the combination of different communication technologies is fundamental to ensure the development of a proper communication network. In addition, its integration with 5G enables virtually real-time operation of this communications network due to the incredibly low latencies that this technology is able to provide.

The great interconnection and sensorization of assets brings with it the need to manage a large amount of information in real time. Therefore, the Big Data becomes a necessary technology to process all these information flows and transactions in real time. In addition, the 'activation' of the LV network through the IoT and the application of the Big Data and automatic learning algorithms achieve a transition from the LV and the

MV network to a much more autonomous operation. Thus, the development of automatic regulation algorithms based on automatic learning becomes essential, since they allow a significant improvement in the analysis of contingencies with a faster detection of incidents and a more autonomous response to them. Finally, through the use of prediction algorithms, service discontinuity is further reduced, thus ensuring greater stability and resilience of the network.

The proliferation of DER makes it necessary to develop new infrastructure development plans that are flexible and dynamic. A very useful tool to achieve this is the digital twins. By means of digital twins it is possible to carry out multi-scenario simulations where high levels of DER penetration can be considered. Through these simulations, combined with advanced analytics, it is possible to automate and simplify decision making, finding the infrastructure that needs to be developed to address system weaknesses and ensure a responsible integration of these resources.

Finally, blockchain technology allows for the coordination of traditionally centralized data flows throughout the energy system, increases the speed of exchange, improves the availability and reliability of data and improves auditability through near real-time verification of records [6].

Thus, Smart Contracts are presented as the enabling technology of a P2P market for buying and selling energy through micro-networks, in which producers, consumers and prosumers participate in a process of buying and selling energy in real time. In addition, the blockchain also has the potential to boost flexibility markets, acting as a lever to balance supply and demand through real-time transactions. Finally, it can act as a catalyst for the mobility electrification process through the coordination of the EV charging station network. However, the disruption presented by this new model means that the integration of this technology is likely to be through pilot programmes with a select group of market participants and focused on specific functional applications [7].

4. Conclusions

As conclusions, it must be emphasized that all the objectives that have been proposed in this Master's thesis have been fulfilled, however, future lines of research have been identified to

reinforce some of the conclusions that have been obtained with the paper. These are as follows:

- As with the processes and asset management challenges, a similar analysis should be carried out to see the role of digital technologies in each of the challenges identified in terms of organization, impact on the client and in the electricity ecosystem.
- Carry out cost-benefit analysis on the integration of digital technologies in each of the identified challenges, on the use cases presented and on the impact of the DER on the operations of the distributors.
- Deepen in the strategies that need to be implemented for the achievement of systemic cyber-resilience.
- Identify new use cases of digital technologies in the electric power distribution sector.
- Develop carefully selected use cases of the blockchain to guarantee that the technology effectively creates value, since its role in the integration of the DER must be through very concrete use cases and through pilot tests.

Finally, it should be noted that the completion of this Master's thesis has allowed me to better understand the challenges currently faced by the electric power distribution sector and the role played by digitalization in general and certain key technologies in particular in achieving them, which has helped me to deepen in some of the content covered by the Master's program and will surely serve me in my future professional career development.

5. References

- [1] *Club Español de la Energía, 'Digitalización en el sector energético español'*, 2019
- [2] McKinsey, *'Digital success requires a digital culture'*
- [3] BCG, *'How to gain and develop digital talent and skills'*, 2017
- [4] WEF & BCG, *'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'*
- [5] BCG, *'Finding the sweet spot in Distributed Energy'*, 2017
- [6] Deloitte, *'Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity'*, 2016
- [7] McKinsey, *'What every utility CEO should know about blockchain'*, 2018



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

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

Madrid

Julio de 2020

ÍNDICE GENERAL

1. MEMORIA	33
2. ANEXO	160

1. MEMORIA



Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción.....	41
1.1 Motivación del proyecto	41
1.2 Objetivos del proyecto	44
1.2.1 Objetivos generales.....	44
1.2.2 Objetivos específicos.....	45
1.3 Metodología de trabajo y planificación	46
1.4 Estructura del documento	47
Capítulo 2. Contexto del sector eléctrico.....	48
2.1 Cifras clave	51
2.2 Introducción a la distribución eléctrica.....	53
Capítulo 3. Análisis del contexto digital.....	56
3.1 Estado de digitalización de la industria española.....	56
3.2 La digitalización en la distribución eléctrica	62
A. Organizaciones.....	62
B. Relación con el cliente	68
C. Procesos y tecnología.....	70
3.2.1 La red eléctrica del futuro de un vistazo.....	74
3.2.2 Introducción a la ciber-resiliencia del ecosistema eléctrico	76
A. Factores de éxito	80
B. La nueva amenaza: Demand-Side Attacks	84
3.2.3 Retos y oportunidades identificados en el sector.....	86
Capítulo 4. Análisis del estado de la tecnología.....	93
4.1 Conectividad: IoT y 5G.....	93
4.1.1 El Internet de las Cosas (IoT).....	93
4.1.2 5G.....	96
4.2 Cloud Computing	99
4.3 Big data	103
4.4 Analítica avanzada: Machine y Deep learning	107
4.5 Blockchain.....	111
4.6 Tecnología de inspección: UAV, LIDAR e imagen satelital.....	116

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ÍNDICE DE LA MEMORIA

4.7 Tecnología inmersiva: AR, VR y gemelo digital	118
Capítulo 5. Impacto de las tecnologías clave en los retos del sector	121
Capítulo 6. Análisis de casos de uso	131
6.1 Adopción de una estrategia de mantenimiento digital	131
6.1.1 Beneficios de implementación	136
6.1.2 Análisis DAFO	140
6.2 Integración de los DER en la red eléctrica	142
6.2.1 Los nuevos agentes del sector eléctrico	143
6.2.2 Palancas digitales para la integración de los DER en la red de distribución	145
6.2.3 Análisis DAFO	149
Capítulo 7. Conclusiones y trabajos futuros	151
Capítulo 8. Bibliografía	157



Índice de figuras

Figura 1. Evolución de accesos <i>NGA</i> instalados ('000).....	42
Figura 2. Acceso redes móviles–Estaciones base por tecnología ('000)	42
Figura 3. Tráfico de los servicios de banda ancha móviles (<i>Terabytes</i>)	42
Figura 4. Flujo cerrado de la información.....	43
Figura 5. Diagrama de <i>Gantt</i> del proyecto.....	46
Figura 6. Configuración básica del sistema eléctrico español	49
Figura 7. Desglose de inversiones en instalaciones de la red eléctrica durante la transición. 2017-2030	50
Figura 8. Principales magnitudes económicas del sector eléctrico en España.....	51
Figura 9. Generación eléctrica por fuente en España en 2018.....	52
Figura 10. Evolución de la potencia instalada en España	52
Figura 11. Distribución del consumo de energía eléctrica	53
Figura 12. Mapa de las zonas de distribución.....	54
Figura 13. Desglose en pilares y subpilares del desempeño de España en el <i>NRI</i> (2019). ..	57
Figura 14. Análisis <i>DESI</i> de 2019.....	58
Figura 15. Desempeño de España en las categorías del <i>DESI</i> (2014-2019)	58
Figura 16. Barómetro del estado de digitalización de los principales sectores económicos	60
Figura 17. Grado de implantación de las tecnologías	60
Figura 18. Niveles de importancia de las tecnologías.....	60
Figura 19. Objetivos específicos en los planes de digitalización. Sector energético	61
Figura 20. Impacto de la digitalización en la organización	62
Figura 21. Perfiles digitales esenciales detectados por <i>BCG</i>	64
Figura 22. Áreas de impacto en las tecnologías y activos de la distribución eléctrica	70
Figura 23. Esquema de la configuración de la red eléctrica futura.....	74
Figura 24. Diseño conceptual del <i>NIST</i> de la <i>Smart Grid</i>	76
Figura 25. Representación del ecosistema eléctrico	77

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 26. Principios y orientación para la industria eléctrica en materia de ciberseguridad	78
Figura 27. Estructura de la <i>Defense in Depth</i>	80
Figura 28. Estudio sobre el número de puntos de recarga de <i>EV</i> a comprometer para desequilibrar la red sincronizada de Europa continental.....	85
Figura 29. Entorno <i>IoT</i> - Analogía con el cuerpo humano	94
Figura 30. Dimensiones del <i>IoT</i>	94
Figura 31. Benchmark de las principales tecnologías de comunicación inalámbrica del entorno <i>IoT</i>	95
Figura 32. Evolución de las generaciones de red móvil.....	96
Figura 33. Ejemplo de una arquitectura basada en el <i>network slicing</i>	98
Figura 34. Comparativa de los distintos tipos de servicio en la nube	102
Figura 35. Evolución del volumen de generación de datos	103
Figura 36. Ecosistema <i>Apache Hadoop</i> de <i>Big Data</i>	106
Figura 37. Esquema simplificado del ecosistema de la <i>AI</i>	107
Figura 38. Cronología <i>AI-ML-DL</i>	108
Figura 39. Tipos de aprendizaje automático y algunas aplicaciones	110
Figura 40. Comparativa <i>ML-DL</i> con un ejemplo básico de clasificación con red neuronal	110
Figura 41. Ejemplo simplificado del funcionamiento de una transacción con <i>Bitcoins</i> ..	111
Figura 42. Estructura básica de una cadena de bloques	112
Figura 43. Algunas aplicaciones de la <i>AR</i> y la <i>VR</i> en las actividades industriales	119
Figura 44. Matriz de impacto de las tecnologías de digitalización en los retos de la gestión de procesos y activos de distribución eléctrica	130
Figura 45. Palancas digitales para la adopción de una estrategia de mantenimiento digital	132
Figura 46. Implementación del mantenimiento predictivo	133
Figura 47. Matriz de riesgo en tiempo real	134
Figura 48. Ejemplo de operación mediante una estrategia de mantenimiento digital	136
Figura 49. Desglose de la jornada laboral por tipo de actividad según análisis de <i>Mckinsey</i>	137

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 50. Desglose de la jornada laboral por tipo de actividad y escenario.....	138
Figura 51. Potencial reducción de costes derivada de una estrategia de mantenimiento digital	140
Figura 52. Análisis DAFO de la adopción de una estrategia de mantenimiento digital ..	141
Figura 53. Agentes del sistema eléctrico dominado por los <i>DER</i>	143
Figura 54. Pilares digitales de la integración responsable de los <i>DER</i>	145
Figura 55. Análisis DAFO de las consecuencias de un sistema eléctrico dominado por los <i>DER</i> para una distribuidora.....	150
Figura 56. Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU	163



Índice de tablas

Tabla 1. Evolución del número de agentes involucrados en el suministro eléctrico.....	48
Tabla 2. Desempeño de España en el análisis <i>NRI</i>	57
Tabla 3. Comparación de las características de los entornos <i>IT-OT</i> en materia de ciberseguridad	82
Tabla 4. Retos identificados en materia de digitalización en el sector de la distribución eléctrica	92
Tabla 5. Comparativa de indicadores clave entre el 5G y el 4G	98
Tabla 6. Algunos casos de uso futuros del <i>blockchain</i>	116
Tabla 7. Valor aportado por la adopción del gemelo digital	120
Tabla 8. Mejora de la productividad lograda en las tareas de mantenimiento según el escenario considerado	138
Tabla 9. Plan de mitigación de las debilidades derivadas del mantenimiento digital	141
Tabla 10. El papel de la digitalización del sector eléctrico en la consecución de los ODS	164

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Índice de acrónimos

AI	Artificial Intelligence	GSM	Global System for Mobile communications	PaaS	Platform as a Service
AM	Additive Manufacturing or 3D Printing	GW	Gigavatio	PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerant
APT	Advanced Persistent Threat	HDFS	Hadoop Distributed File System	PG&E	Pacific Gas & Electric
AR	Augmented Reality	HFC	Hybrid Fiber-Coaxial	PIB	Producto Interior Bruto
AT	Alta Tensión	IaaS	Infrastructure as a Service	PLC	Power Line Communication
BCG	Boston Consulting Group	IBFT	Istanbul Byzantine Fault Tolerant	PLCCTE	Proyecto de Ley de Cambio Climático Y Transición Energética
BT	Baja Tensión	IBM	International Business Machines	PNIEC	Planes Nacionales de Energía y Clima
CAGR	Compound Annual Growth Rate	ICO	Initial Coin Offering	PoA	Proof of Authority
CAPEX	Capital Expenditure	IIoT	Industrial Internet of Things	PoC	Proof of Capacity
CDO	Chief Data Owner	IoT	Internet of Things	PoET	Proof of Elapsed Time
CEE	Club Español de la Energía	IT	Information Technology	PoS	Proof of Stake
CEO	Chief Executive Officer	Kbps	Kilobits por segundo	PoW	Proof of Work
CEOE	Confederación Española de Organizaciones Empresariales	KV	Kilovoltio	P2P	Peer-to-Peer
CIC	Cátedra de Industria Conectada	KW	Kilovatio	REE	Red Eléctrica de España
CISO	Chief Information Security Officer	LEO	Low Earth Orbit	RDD	Resilient Distributed Dataset
CL-mode	Connectionless mode communication	LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging	RFID	Radio Frequency Identification
CNMV	Comisión Nacional del Mercado de Valores	LoRa	Long Range	RRHH	Recursos Humanos
CoT	Charter of Trust	LPoS	Leased Proof of Stake	RRSS	Redes Sociales
dACL	dynamic Access Control List	LPWAN	Low-Power Wide-Area Network	Rx	Reception
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades	LTE	Long Term Evolution	SaaS	Software as a Service
DCS	Digital Cellular Service	LTE-M	Long Term Evolution for Machines	SCMA	Sparse Code Multiple Access
DER	Distributed Energy Resources	Mbps	Megabits por segundo	SDN	Software Defined Networks
DESI	Digital Economy and Society Index	ML	Machine Learning	SHA	Secure Hash Algorithm
DFS	Distributed File System	m-MIMO	Multiple Input Multiple Output	SQL	Structured Query Language
DiD	Defense in Depth	mMTC	massive Machine Type Communications	STO	Security Token Offerings
DL	Deep Learning	MT	Media Tensión	T&D	Transport and Distribution
DLT	Distributed Ledger Technology	MTBF	Mean Time Between Failure	TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
DPoS	Delegated Proof of Stake	MVP	Minimum Viable Product	TSO	Transmission System Operator
DSO	Distribution System Operator	NBIoT	Narrowband Internet of Things	TWh	Teravatio hora
eMBB	enhanced Mobile Broadband	NFV	Network Function Virtualization	Tx	Transmission
ENTSOE	European Network of Transmission System Operators for Electricity	NGA	Next Generation Access	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
EV	Electric Vehicle	NIST	National Institute of Standards and Technology	UI	User Interface
F-OFDM	Filtered – Orthogonal Frequency Division Multiplexing	NRI	Network Readiness Index	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
FTTH	Fiber-To-The-Home	ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible	UR-LLC	Ultra-Reliable Low Latency Communication
Gbps	Gigabits por segundo	OEE	Overall Equipment Effectiveness	UX	User Experience
GEI	Gases de Efecto Invernadero	O&M	Operations and Maintenance	VPP	Virtual Power Plant
GEO	Geosynchronous Equatorial Orbit	O/S	Operating System	VR	Virtual Reality
GPRS	General Packet Radio Service	OT	Operation Technology	WEF	World Economic Forum



Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo introductorio se pretende describir la motivación que ha llevado a la realización de este Trabajo de Fin de Máster (TFM), así como definir los objetivos, generales y específicos, que se persiguen con la realización del mismo. Una vez definidos los objetivos, se presenta la metodología empleada para la consecución de éstos y se da una visión general de la estructura del documento.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La digitalización, según la define *Gartner*, consiste en ‘el uso de tecnologías digitales para cambiar los modelos de negocio y generar así nuevas fuentes de ingreso y oportunidades de creación de valor’¹. Se trata de una de las muchas definiciones que han intentado capturar la esencia de algo tan amplio como la revolución digital. Sin embargo, no se trata de un fenómeno nuevo.

La digitalización lleva impactando vertical y horizontalmente en todos los ámbitos económicos de nuestro país más de una década. Prueba de ello se encuentra en las Figuras 1, 2 y 3, que muestran la espectacular evolución que han seguido indicadores clave² como el acceso a Internet de banda ancha de nueva generación (en inglés, *Next Generation Access* – *NGA*) utilizando tecnologías como *Fiber-To-The-Home (FTTH)* o *Hybrid Fiber-Coaxial (HFC)*, la capacidad de la red móvil³ y el tráfico de datos de los servicios de banda ancha, respectivamente.

¹ Glosario *Gartner*, ‘Digitalización’.

² Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

³ *GSM* (Global System for Mobile Communications), *DCS* (Digital Cellular Service), *GPRS* (General Packet Radio Service), *UMTS* (Universal Mobile Telecommunications System), *LTE* (Long Term Evolution).

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

INTRODUCCIÓN

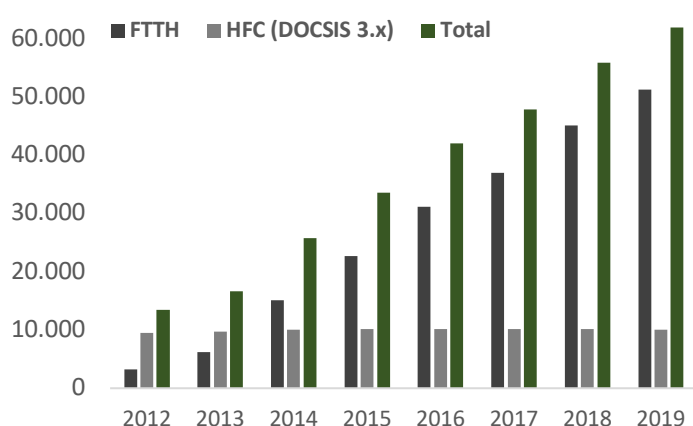


Figura 1. Evolución de accesos NGA instalados ('000)

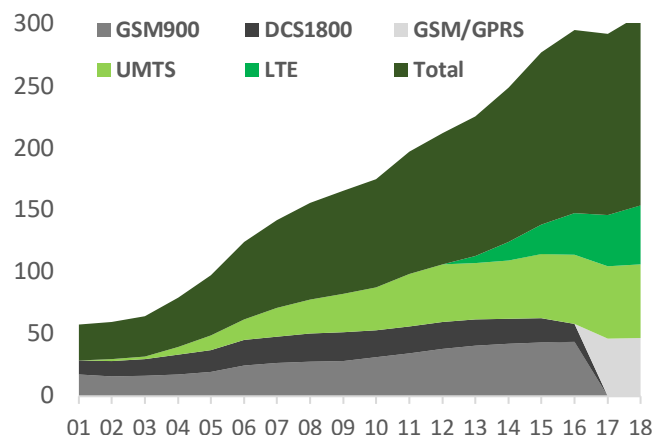


Figura 2. Acceso redes móviles–Estaciones base por tecnología ('000)

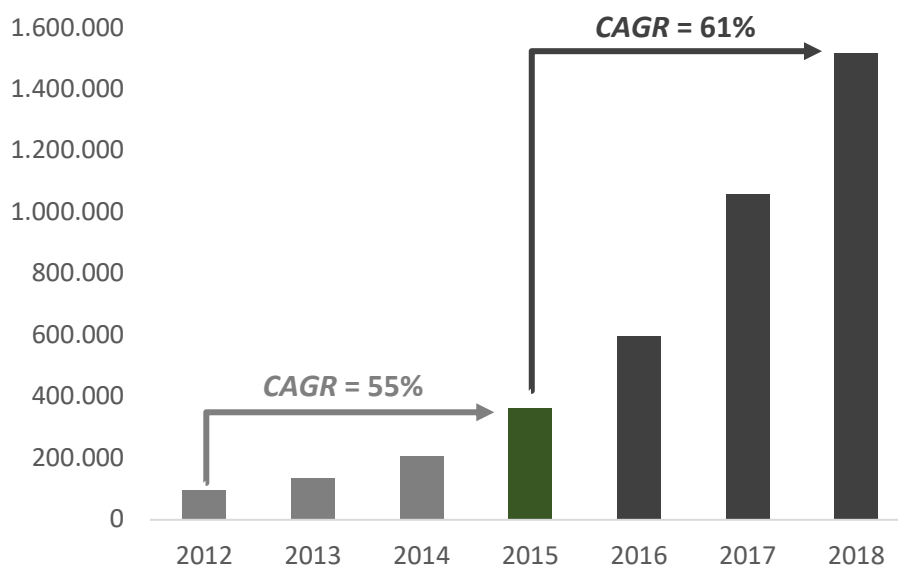


Figura 3. Tráfico de los servicios de banda ancha móviles (Terabytes)⁴

No obstante, ciertos aspectos hacen que el panorama actual sea distinto. 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

⁴ CAGR, del inglés: *Compound Annual Growth Rate*.



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*: la mejora de conectividad, la explosión de los datos y el desarrollo de aplicaciones de tratamiento de la información, elementos de una cadena cerrada como muestra la Figura 4.

- La mejora de la conectividad a través del despliegue del *Internet of Things (IoT)* extiende el concepto de conectividad de personas a cosas. Además, su combinación con el 5G permite superar barreras de movimiento, volumen y tiempo.
- La explosión de los datos impulsada por el desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) o la tecnología *IoT* trae consigo un cambio en cómo se obtiene, analiza y emplea la información, además de nuevos roles fundamentales en las empresas, como el *Chief Data Owner (CDO)* o los *Data Scientists*.
- La gestión de la información mediante algoritmos permite responder a las necesidades de personalización y toma de decisiones en tiempo real que requieren los nuevos consumidores. Tecnologías como el *Cloud*, la Inteligencia Artificial (en inglés, *Artificial Intelligence – AI*), el Aprendizaje Automático (en inglés, *Machine Learning – ML*) o el *blockchain*, que se definirán y analizarán en el marco de este Trabajo de Fin de Máster, se presentan como palancas fundamentales para la transformación de las industrias.

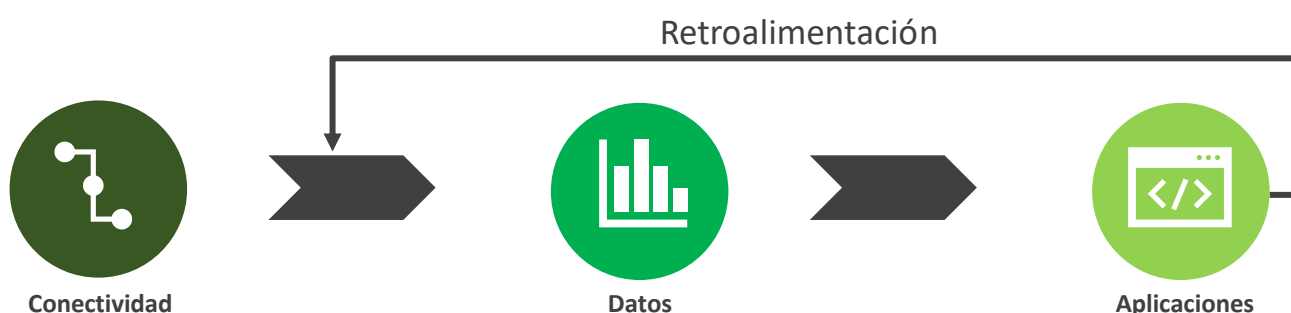


Figura 4. Flujo cerrado de la información

Es precisamente en este contexto de explosión de la información en el que el sector eléctrico tiene que apalancarse para ofrecer un servicio adaptado al nuevo tipo de consumidores. En los últimos años, el sector eléctrico ha llevado a cabo un gran proceso de transformación



digital, pero las nuevas tecnologías continúan irrumpiendo en el sector a un ritmo superior al de transformación de éste, por lo que todavía hay margen para aumentar la eficiencia del suministro eléctrico, especialmente en el sector de la distribución. Ésta es la razón por la que se ha decidido realizar este trabajo.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En este Trabajo de Fin de Máster se persigue la consecución de dos clases de objetivos: de tipo general y de tipo específico.

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Máster es analizar el impacto de la digitalización en el sector de la distribución eléctrica en España. Para ello,

- Se hará una introducción al contexto actual y se analizarán las principales cifras del sector eléctrico y de la distribución de la energía eléctrica en España. Se discutirá también la red eléctrica del futuro, presentando a alto nivel las principales características de ésta.
- Se analizará el contexto actual de la digitalización en España. Se dará una idea del grado de digitalización de la industria española en general y se particularizará en el sector eléctrico. Se analizará a alto nivel el impacto que tiene la digitalización en las cadenas de valor de las empresas del sector de la distribución, especialmente en las organizaciones, los procesos y la gestión de activos, y en el cliente.
- Se identificarán los principales retos que plantea la digitalización al sector.
- Se realizará un análisis del estado de la tecnología, presentando las tecnologías clave en la digitalización del sector, en concreto:
 - Conectividad: *IoT* y *5G*
 - *Cloud Computing*
 - Analítica avanzada: *Machine Learning* y *Deep Learning*
 - *Big Data*
 - *Blockchain*



- Tecnologías de inspección: *UAV* (del inglés, *Unmanned Aerial Vehicle*), *LIDAR* (del inglés, *Laser Imaging Detection and Ranging*) e imagen satelital
- Tecnologías inmersivas: Realidad Aumentada (en inglés, *Augmented Reality - AR*), Realidad Virtual (en inglés, *Virtual Reality - VR*) y gemelo digital
- Se discutirá el papel de la digitalización en el proceso de la transición energética y en la integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con los objetivos de tipo específico se busca concretar el impacto que tiene la digitalización en la gestión de los activos de la distribución eléctrica. Así, se busca:

- Realizar un análisis del impacto de las tecnologías clave en los retos identificados del sector. Se analizará reto a reto la integración de dichas tecnologías en los mismos.
- Analizar el ecosistema de ciberseguridad necesario para alcanzar la resiliencia del sistema eléctrico.
- Se analizarán dos casos de uso siguiendo una estructura similar. Primero se estudiará el impacto de las tecnologías clave y después se realizará un análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) con el objetivo de identificar los factores que las empresas del sector de la distribución deben tener en cuenta para obtener ventajas estratégicas. Los casos de uso seleccionados son:
 - Mejora de las actividades de operación, planificación y mantenimiento, basada en la adopción de una estrategia de mantenimiento digital. En este caso de uso se analizará la mejora de la productividad y la reducción en costes que puede experimentar una empresa con la integración del mantenimiento predictivo, la analítica avanzada, la automatización de la cadena de suministro y la digitalización de la fuerza de campo mediante tecnologías inmersivas y de inspección.
 - Integración de los *Distributed Energy Resources (DER)* en la red eléctrica. En este caso de uso se discutirá el papel de las tecnologías digitales en la integración progresiva de este tipo de recursos, cuya proliferación



compromete la estabilidad de las redes si no se lleva a cabo un plan de adopción responsable.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO Y PLANIFICACIÓN

La metodología de trabajo se organiza de manera deductiva, es decir, se parte del contexto general del sector eléctrico y del contexto digital de la industria española, para particularizar después en el sector de la distribución y aterrizar finalmente en la gestión de activos a través de dos casos de uso. La Figura 5 muestra el diagrama de *Gantt* con la planificación del trabajo.

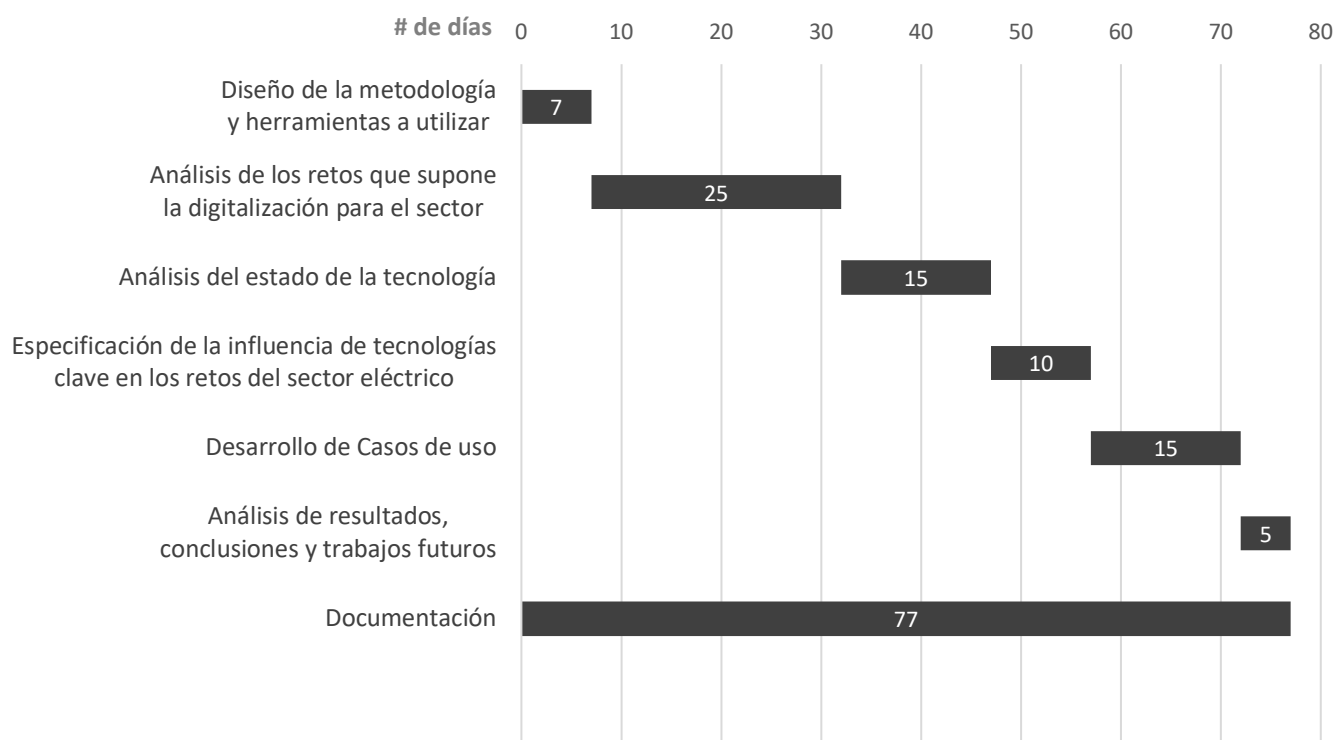


Figura 5. Diagrama de Gantt del proyecto



1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se divide en 8 capítulos y un anexo que se ajustan a la metodología deductiva descrita en el apartado 1.3:

- Capítulo 1. : Introducción. En este capítulo se realiza la introducción al proyecto, describiendo la motivación que lleva a la realización del mismo, los objetivos que se pretenden alcanzar, así como la metodología adoptada.
- Capítulo 2. : Contexto del sector eléctrico. Aquí se realiza una aproximación al contexto actual del sector y al de la distribución eléctrica más concretamente, analizando sus principales magnitudes.
- Capítulo 3. : Análisis del contexto digital. En esta sección se discute sobre el estado de la digitalización de la industria en España y se presenta el contexto digital del sector eléctrico, sus retos y los factores necesarios para alcanzar la ciber-resiliencia del ecosistema eléctrico. En este capítulo se aborda también la presentación de características fundamentales de la red eléctrica del futuro (*Smart Grids*)
- Capítulo 4. : Análisis del estado de la tecnología. Se presentan las tecnologías clave, descritas anteriormente, en el proceso de digitalización del sector de la distribución.
- Capítulo 5. : Impacto de las tecnologías clave en los retos del sector. En este capítulo se analiza la influencia e integración de las tecnologías consideradas en el Capítulo 4. en los retos del sector identificados en el Capítulo 3.
- Capítulo 6. : Análisis de casos de uso. En este capítulo se particulariza el análisis en los dos casos de uso explicados con anterioridad, incluyendo la integración de las tecnologías clave y un análisis DAFO para cada caso.
- Capítulo 7. : Conclusiones y trabajos futuros. Aquí se resumen las principales aportaciones y conclusiones del trabajo y se plantean futuras líneas de trabajo/investigación.
- Capítulo 8. : Bibliografía. En este capítulo se recogen las referencias empleadas para la redacción del trabajo por orden de aparición.
- Anexo: El papel de la digitalización en la transición energética y en los objetivos de sostenibilidad. En este anexo se describe la relación entre este TFM y los ODS.



Capítulo 2. CONTEXTO DEL SECTOR ELÉCTRICO

La energía es un bien fundamental para el desarrollo social y económico de nuestro país. Es por ello por lo que la correlación con el Producto Interior Bruto (PIB) es prácticamente lineal. De hecho, según un análisis llevado a cabo por el Consejo Económico y Social, la relación entre el consumo de electricidad per cápita y PIB per cápita en los últimos 25 años tiene una correlación de 0,81⁵. Más concretamente, la energía eléctrica constituye un bienpreciado para el desarrollo ecológico, tecnológico y digital que España está atravesando.

En las últimas décadas, el sector ha llevado a cabo un proceso de liberalización que ha obligado a las grandes corporaciones eléctricas a desintegrarse verticalmente y ha permitido la entrada de nuevas empresas en las actividades relacionadas con la producción y la comercialización de la electricidad. El transporte y la distribución de la electricidad, sin embargo, al ser monopolios naturales, no han entrado a formar parte del proceso de liberalización. La Figura 6 muestra la configuración básica del sistema eléctrico español, mientras que la Tabla 1 muestra el proceso de liberalización que ha habido desde 1996.

FASE	1996	2013
GENERACIÓN	80 empresas	Régimen ordinario • Grandes (5) • Otros (300)
	580 autoprodutores, asociados a los diferentes sistemas	Régimen especial • Eólica (41) • FV (75) • Otros (600)
TRANSPORTE	12 empresas	1 empresa (Red Eléctrica de España, REE)
DISTRIBUCIÓN	400 empresas	340 empresas
COMERCIALIZACIÓN	-	260 empresas
OTROS	-	• Gestores de carga (10) • Operador del mercado (1) • Otros

Tabla 1. Evolución del número de agentes involucrados en el suministro eléctrico⁶

⁵ Consejo Económico y Social, 'Informe del sector eléctrico', 2017.

⁶ Orkestra-Instituto Vasco de Competencia, 'Cuadernos Orkestra núm. 10', 2015.

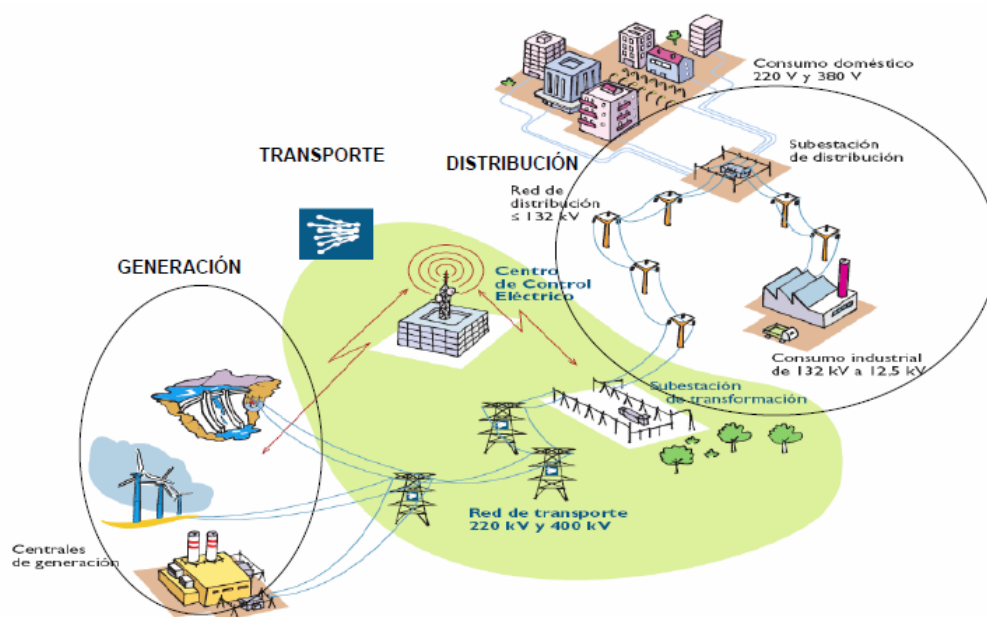


Figura 6. Configuración básica del sistema eléctrico español⁷

En la actualidad, el sector eléctrico está afrontando un proceso de transformación brutal enmarcado en la estrategia nacional de sostenibilidad y transición energética. Se encuentra inmerso en un proceso de descarbonización europeo que tiene como objetivo en 2050 una reducción del 80% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de la Unión Europea con respecto a las de 1990. Como paso intermedio y con objeto de materializar los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París de 2015, la Unión Europea (UE) ha establecido unos objetivos para 2030⁸:

- 40% de reducción de GEI con respecto a las emisiones del año 1990.
- 32% de participación de energías renovables en el consumo energético total.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética respecto al escenario tendencial.

Con este objetivo en el horizonte, el sector eléctrico debe asumir un proceso de transformación manteniendo un suministro seguro, sostenible, asequible y competitivo.

⁷ Energía y Sociedad, 'Manual de la Energía'.

⁸ Club Español de la Energía, 'Digitalización en el sector energético español', 2019.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

CONTEXTO DEL SECTOR ELÉCTRICO

Dentro de este proceso de transición, la digitalización acumula un potencial transformador enorme, haciendo obligatoria la inversión en ella para cumplir con los objetivos marcados por la UE (ver Figura 7 y Anexo). Además, según un informe del Club Español de la Energía (CEE)⁹, la digitalización se presenta como una palanca fundamental pues:

- Incrementa la eficiencia energética de las plantas a través de simulación y optimización de operaciones con analítica avanzada,
- Fomenta la economía circular prolongando la vida de los activos a través de mantenimiento optimizado y gestión avanzada de residuos, y
- Favorece aspectos como la transparencia, la conciliación, la seguridad de las operaciones, o la innovación y generación de nuevas ideas.

El gasto necesario en digitalización de las redes eléctricas durante la transición representa alrededor del 18% del total de la inversión necesaria

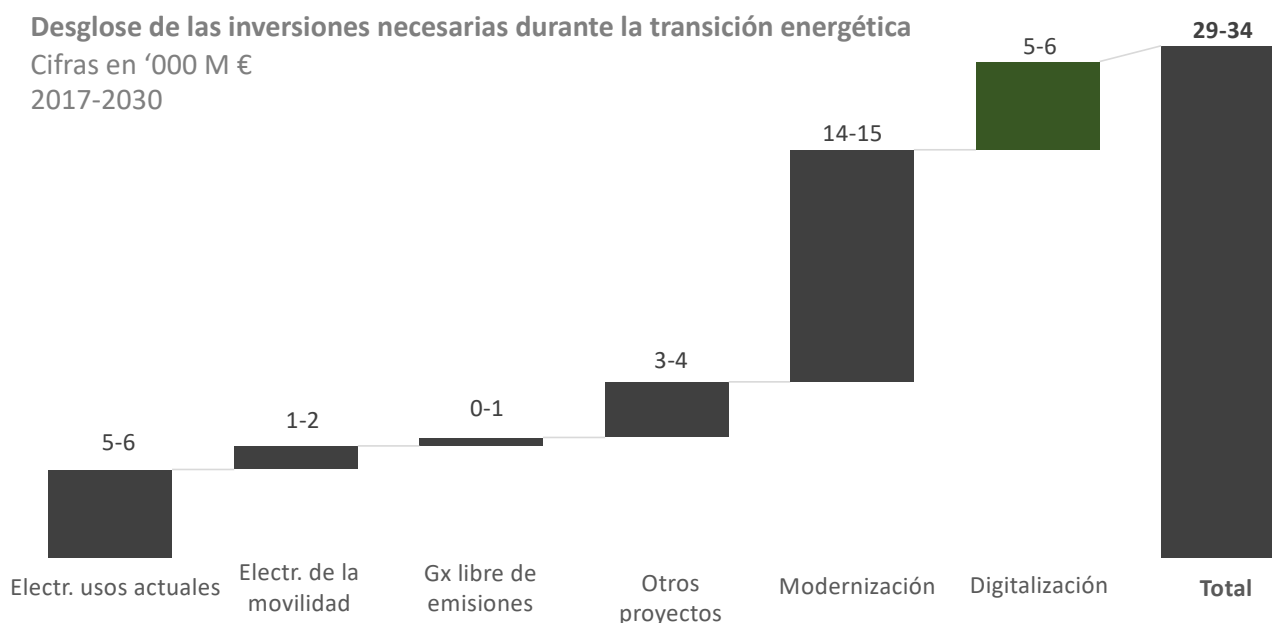


Figura 7. Desglose de inversiones en instalaciones de la red eléctrica durante la transición. 2017-2030¹⁰

⁹ Club Español de la Energía, 'Digitalización en el sector energético español', 2019.

¹⁰ Deloitte, 'Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes eléctricas a la transición energética', 2018.



2.1 CIFRAS CLAVE

Como se adelantaba anteriormente, el sector eléctrico es un bien fundamental para el desarrollo social y económico de nuestro país. La Figura 8 muestra las principales cifras económicas del sector en 2018 derivadas de las actividades de generación, distribución y comercialización¹¹.



Figura 8. Principales magnitudes económicas del sector eléctrico en España

En el plano operativo, la demanda de energía eléctrica peninsular se ha mantenido en el rango de los 240-260 TWh en los últimos 10 años. Las variaciones interanuales se deben principalmente a ciclos económicos y a variables que intervienen de manera directa, como la temperatura media anual y ciclos de precipitaciones. En cuanto al mix de generación eléctrica, España se caracteriza por tener un alto nivel de diversificación. Esta diversificación es esencial para dotar al sistema eléctrico de flexibilidad antes los picos de demanda. Así, la generación no renovable, de costes fijos más altos, es la encargada de cubrir la demanda base e intermedia de electricidad. Por otro lado, la energía renovable, de costes variables más altos, es la que se ocupa de hacer frente a la demanda intermedia, a los últimos niveles de demanda y a esos picos mencionados anteriormente.

No obstante, la Figura 9 y la Figura 10¹² muestran como, envuelto el sistema en el proceso de descarbonización discutido con anterioridad, el parque de generación incluye cada vez

¹¹ Naturgy, 'Situación económico-financiera de las principales empresas del sector eléctrico en España, 2016-2018', Diciembre de 2019.

¹² Fuente: Red Eléctrica de España.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

CONTEXTO DEL SECTOR ELÉCTRICO

más a las energías renovables en la base de la curva de suministro eléctrico en España, así como un cambio en el mix de la potencia instalada.

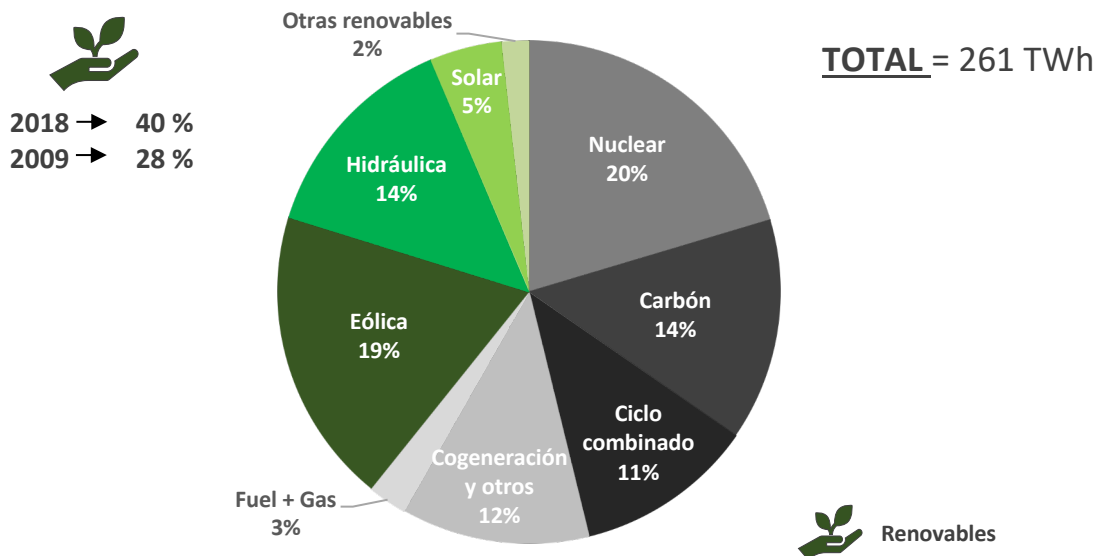


Figura 9. Generación eléctrica por fuente en España en 2018

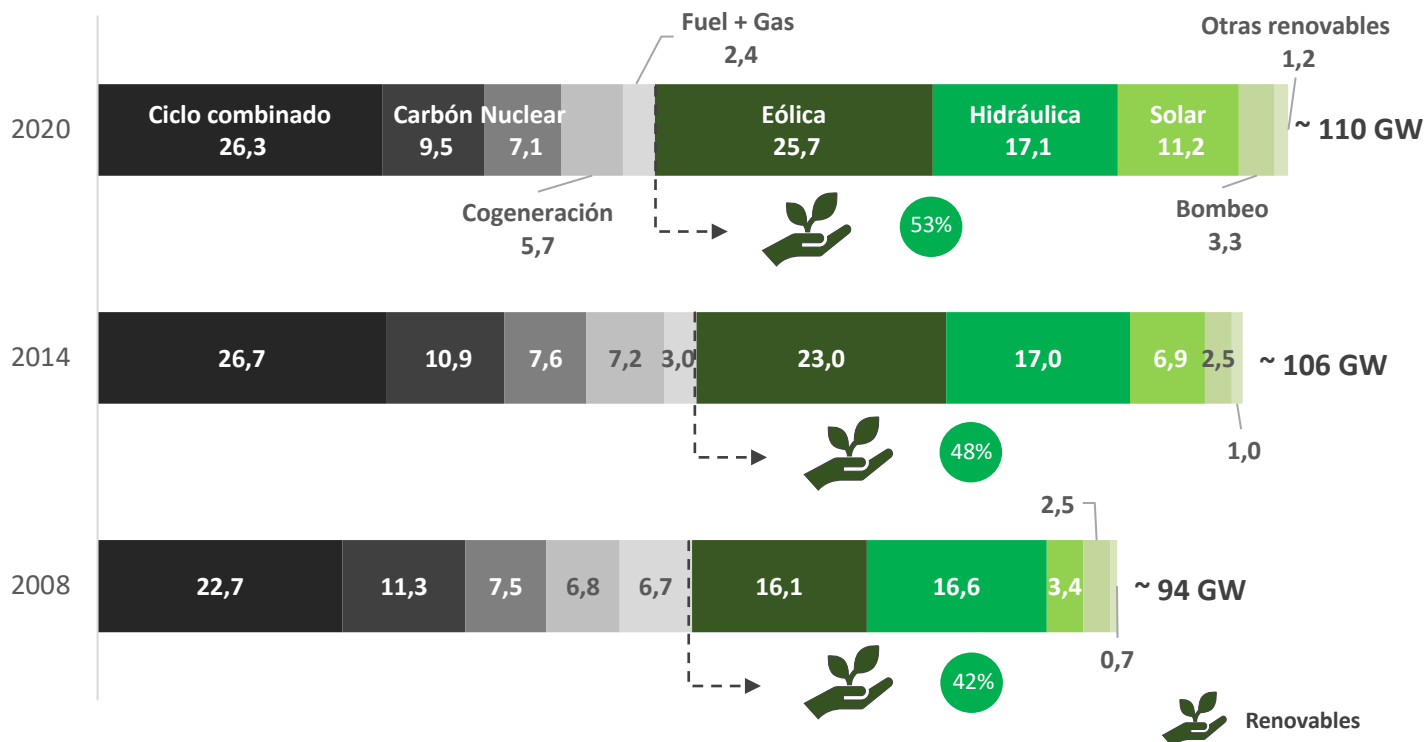


Figura 10. Evolución de la potencia instalada en España



2.2 INTRODUCCIÓN A LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

El objetivo de la distribución eléctrica es la transmisión de la energía hasta los consumidores finales. Esta actividad de transmisión se realiza a través de una compleja red estructural que comprende líneas, parques y otros elementos de transformación y tensión menores a 220 kV. Presenta una longitud total de líneas de unos 800.000 km, y un número total de conexiones con la red de transporte superior al millar¹³.

Actualmente, las redes eléctricas cuentan con más de 28 millones de consumidores, de los cuales cerca del 85% son de tipo residencial. La Figura 11 muestra la descomposición del consumo por tipo de actividad y la composición del Índice Red Eléctrica (IRE), que hace referencia a los grandes consumidores¹⁴.

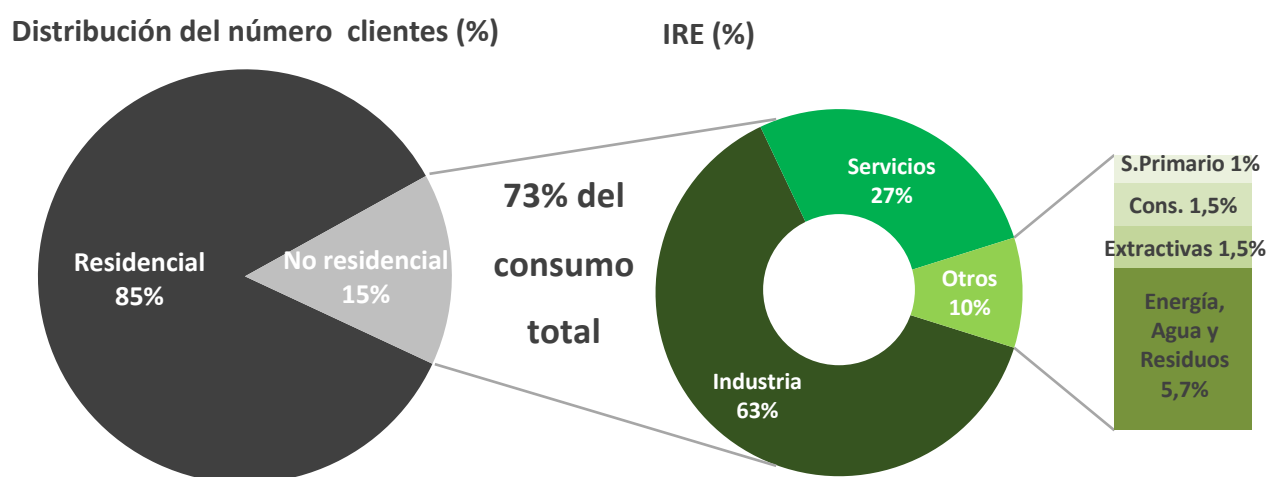


Figura 11. Distribución del consumo de energía eléctrica

Tradicionalmente, a la función de conectar la red de transporte con los consumidores finales se le sumaba la de facturar la electricidad que estos consumían. No obstante, las empresas distribuidoras han visto como el proceso de liberalización explicado anteriormente, y más

¹³ Consejo Económico y Social, 'Informe del sector eléctrico en España', 2017.

¹⁴ Fuente: Red Eléctrica de España.



en concreto la creación del Suministro de Último Recurso en 2009, ha segmentado la distribución en las actividades de distribución y comercialización. En la actualidad, en España hay en torno a 350 empresas distribuidoras, de las cuales 5 son de gran tamaño (ver Figura 12) y el resto son empresas con menos de 100.000 clientes.

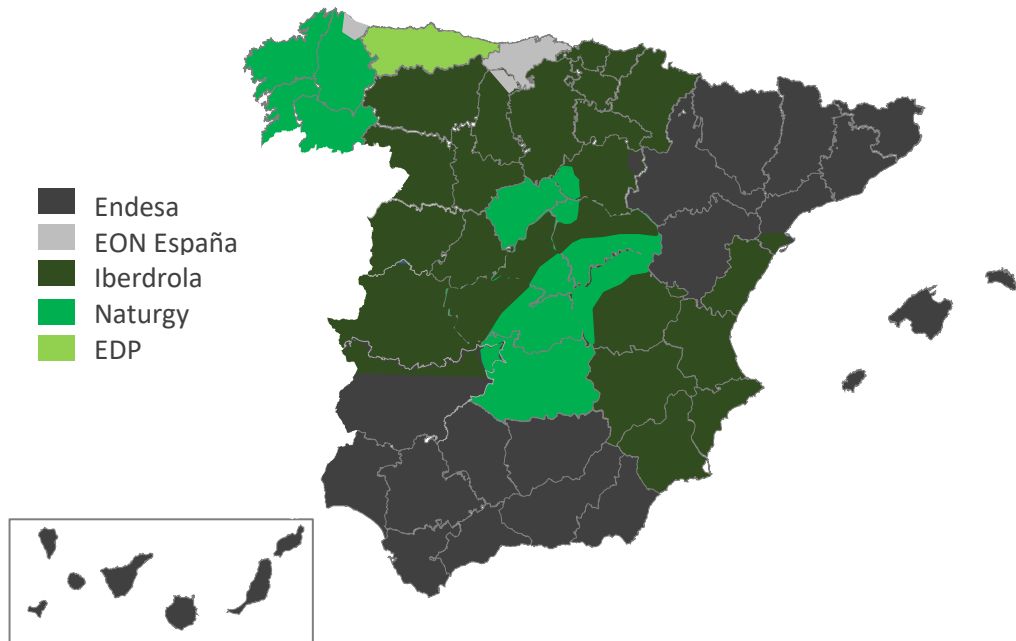


Figura 12. Mapa de las zonas de distribución¹⁵

Según la normativa vigente, las funciones de las organizaciones distribuidoras son:

- Construir, mantener y operar las redes de distribución
- Ampliar las instalaciones para satisfacer las nuevas necesidades de energía
- Asegurar una calidad de servicio adecuada y óptima
- Responder por igual a todas las solicitudes de acceso y conexión
- Medir el consumo
- Aplicar las tarifas de acceso a los consumidores finales
- Mantener actualizada la base de datos de puntos de suministro
- Presentar anualmente a las CCAA sus planes de inversión

¹⁵Elaboración propia. Fuente: Energía y Sociedad.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

CONTEXTO DEL SECTOR ELÉCTRICO

Este proceso de liberalización ha transformado el modelo de negocio de las empresas distribuidoras de manera integral, al mismo tiempo que ha cambiado el papel del consumidor en el ecosistema eléctrico. Los consumidores han pasado de ser pasivos a ser clientes activos, con la capacidad de elegir el comercializador sin la necesidad de contratar el servicio a la distribuidora de su zona. Por otro lado, el modelo de negocio de las distribuidoras ya no se basa solo en asegurar la calidad del suministro y facturar correctamente. Actualmente, estas dos características se consideran algo estrictamente necesario por parte de las distribuidoras. Además, los consumidores comienzan a valorar servicios de valor añadido que contribuyan a simplificar su vida y a conocer datos relativos a sus niveles y formas de consumo.

Pero este proceso de empoderamiento del consumidor no se detiene ahí. De la misma forma que el proceso de liberalización fue el facilitador del cambio de abonado a cliente activo, la digitalización se presenta como la facilitadora para el paso del cliente activo al cliente participativo, en donde podrá generar su propia energía, almacenarla y después venderla, entre otras muchas posibilidades. Este cambio traerá consigo una enorme transformación en los modelos de negocio de las distribuidoras, como veremos más adelante en la sección 3.2.



Capítulo 3. ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

En este capítulo se analiza el contexto digital actual de España. Se comienza dando una idea del grado de digitalización de la industria española en general, para particularizar después en el sector eléctrico. De este último, se analiza a alto nivel el impacto de la digitalización en la cadena de valor de las empresas del sector de la distribución (organización, cliente, y cadena de suministro y gestión de activos) para identificar los retos principales del sector en materia de digitalización. Por último, se discute sobre el ecosistema de ciberseguridad necesario para alcanzar la resiliencia del sistema eléctrico y se da una visión general de la configuración a la que tiende la red eléctrica.

3.1 ESTADO DE DIGITALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA

Para analizar el estado de digitalización de la industria española, parece lógico partir primero de índices más generales que muestren la posición relativa de España respecto a otras economías en cuanto a integración de las tecnologías digitales. Para ello, existen dos métricas oficiales de carácter internacional.

En primer lugar, a nivel global, se encuentra el *Network Readiness Index (NRI)* del *World Economic Forum (WEF)*. Éste consiste en un índice que emplea un enfoque holístico que abarca cuestiones que van desde las tecnologías del futuro, como la *AI* o el *IoT*, hasta el papel de la economía digital en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se trata de un estudio que puntúa el desempeño de 121 economías en 62 variables distintas, agrupadas en 4 pilares: Tecnología, Personas, Gobernanza e Impacto.

La Tabla 2 y la Figura 13 muestran el desempeño de España en este estudio¹⁶. El estudio se rediseñó en el año 2019, por lo que no se ha podido hacer un seguimiento de la evolución de la puntuación de España en los 4 pilares actuales del estudio.

¹⁶ Fuente: *World Economic Forum; NRI index*.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

PAÍS	PTOS.	POS.	TECNOLOGÍA	PERSONAS	GOBERNANZA	IMPACTO
SUECIA	82,65	1	82,28	78,17	87,43	82,73
SINGAPUR	82,13	2	78,45	73,55	88,19	88,33
...	...	...	...	...	...	...
HONG KONG	68,14	24	69,12	57,06	79,64	66,74
ESPAÑA	68,01	25	65,30	62,52	79,33	64,90
MALTA	66,94	26	63,86	58,98	73,58	71,32
...	...	...	...	...	...	...

ESPAÑA	2013	2016	2019
POSICIÓN	38	35	25

Tabla 2. Desempeño de España en el análisis NRI

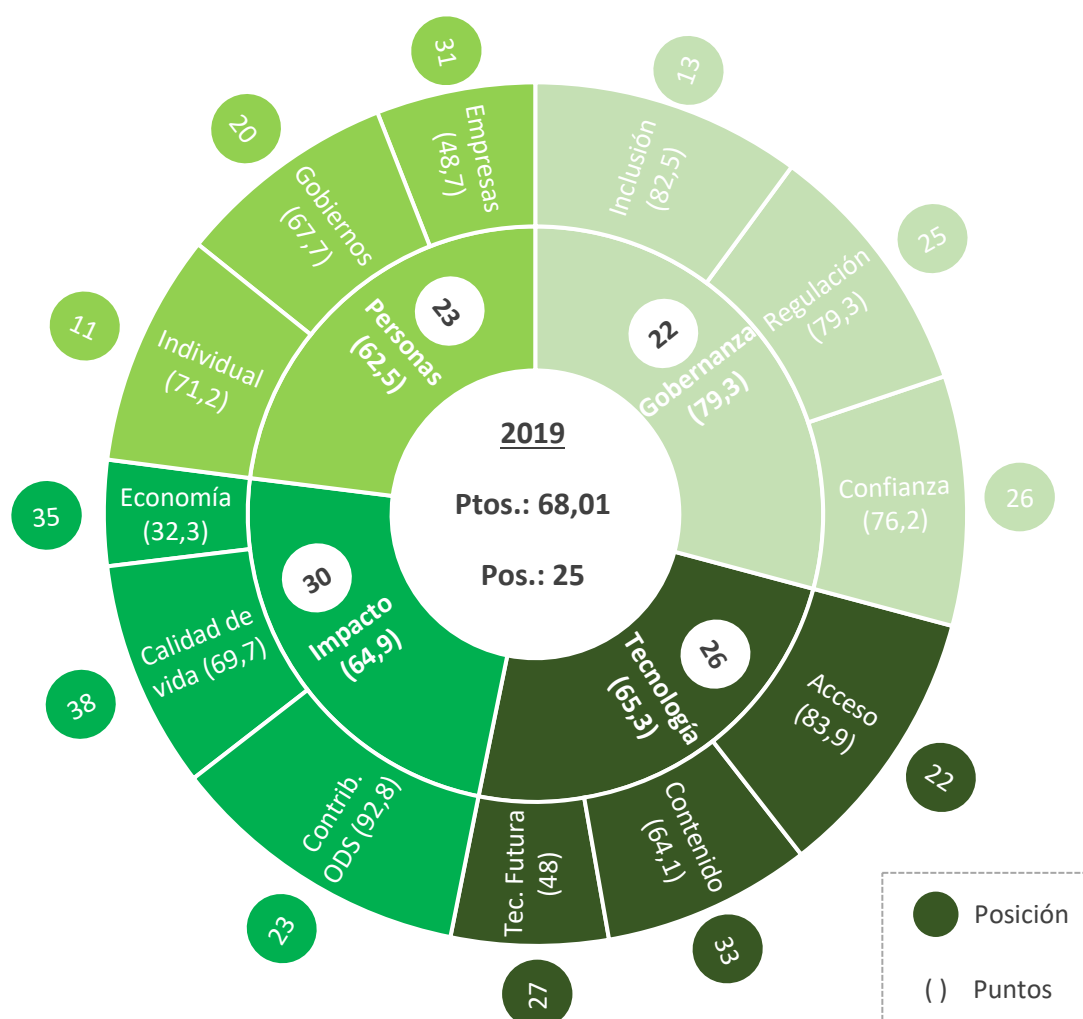


Figura 13. Desglose en pilares y subpilares del desempeño de España en el NRI (2019)

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

Por otro lado, a nivel europeo, el *Digital Economy and Society Index (DESI)* de la Comisión Europea consiste en un índice compuesto que resume los principales indicadores del rendimiento digital de Europa y hace un seguimiento de la evolución de los estados miembros en materia de competitividad digital. La Figura 14 y la Figura 15 muestran el *DESI* de 2019 y la evolución por categoría del desempeño de España, respectivamente¹⁷.

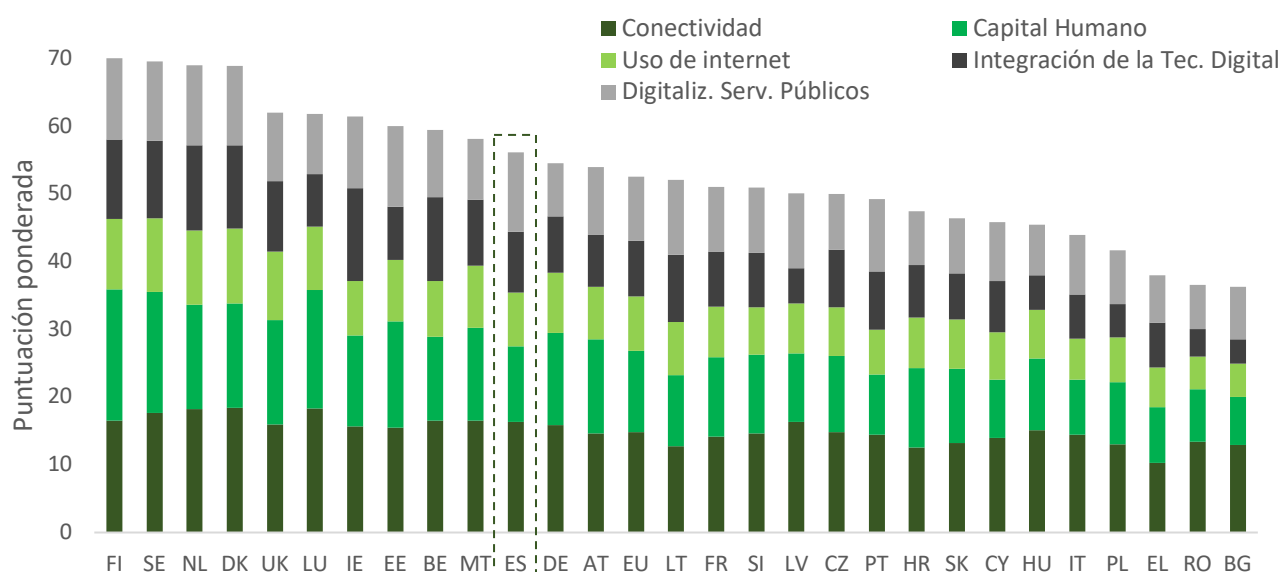


Figura 14. Análisis DESI de 2019

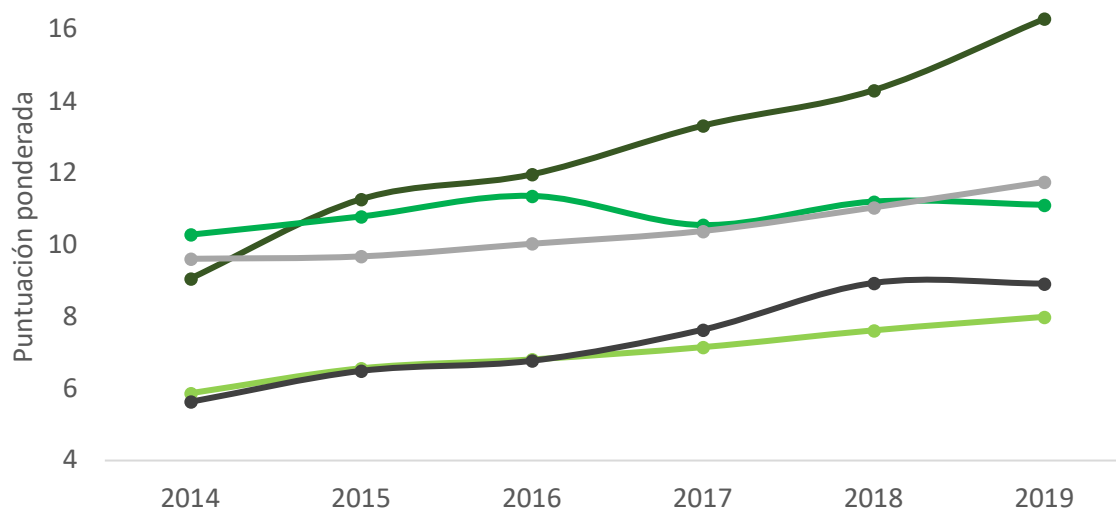


Figura 15. Desempeño de España en las categorías del DESI (2014-2019)

¹⁷ Fuente: Comisión Europea; Índice *DESI*.



De los análisis presentados se puede extraer una conclusión muy positiva: España ha mejorado considerablemente su infraestructura digital en los últimos años. El análisis *NRI* muestra como España ha escalado posiciones en los últimos 5 años, pasando de la 38 a la 25. No obstante, la ausencia de métricas iguales en los estudios anteriores por la reestructuración del análisis en 2019 hace que no se pueda ver la evolución desglosada por pilares. Sin embargo, el análisis *DESI* sí que permite ver el desempeño descompuesto en las 5 variables del estudio. Se puede observar como el principal *driver* de la mejora de la disposición digital y posición competitiva en esta materia es la conectividad. Se trata de una conclusión que concuerda con lo comentado en la sección 1.1, dónde se veía que, en los últimos años, indicadores que hacen referencia al nivel de acceso y a la capacidad de la red móvil han aumentado espectacularmente, mejorando así sustancialmente la conectividad de nuestro país y acelerando el crecimiento en el volumen del tráfico de datos.

El hecho de que la digitalización se haya convertido en un proceso imprescindible al que se han de someter las empresas es algo conocido y aceptado por todos los directivos de nuestro país. Se trata de un fenómeno que impacta vertical y horizontalmente en prácticamente todos los aspectos de nuestra economía. Pero es importante recordar que no se trata de un proceso nuevo. Como puede observarse en la Figura 16, los principales sectores económicos de nuestro país ya han iniciado sus procesos de digitalización¹⁸, y algunos de ellos como el sector de las telecomunicaciones o turístico presentan ‘ganadores’ de categoría mundial. Otros, entre los que se encuentra el sector energético, tienen todavía gran margen de mejora en cuanto a apalancamiento en las tecnologías digitales se refiere.

Según un estudio realizado por la Cátedra de Industria Conectada del ICAI (CIC) en el segundo trimestre del año 2018¹⁹, basado en encuestas a Presidentes Ejecutivos, Consejeros Delegados y responsables de transformación digital de empresas de una muestra aleatoria, tan solo el 55,4% de las empresas de la muestra tiene un plan específico de digitalización.

¹⁸ Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE), ‘*Plan digital 2020: La digitalización de la sociedad española*’, 2019.

¹⁹ Cátedra de Industria Conectada del ICAI, ‘*Informe sobre el nivel de digitalización de la industria en España*’, 2018.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

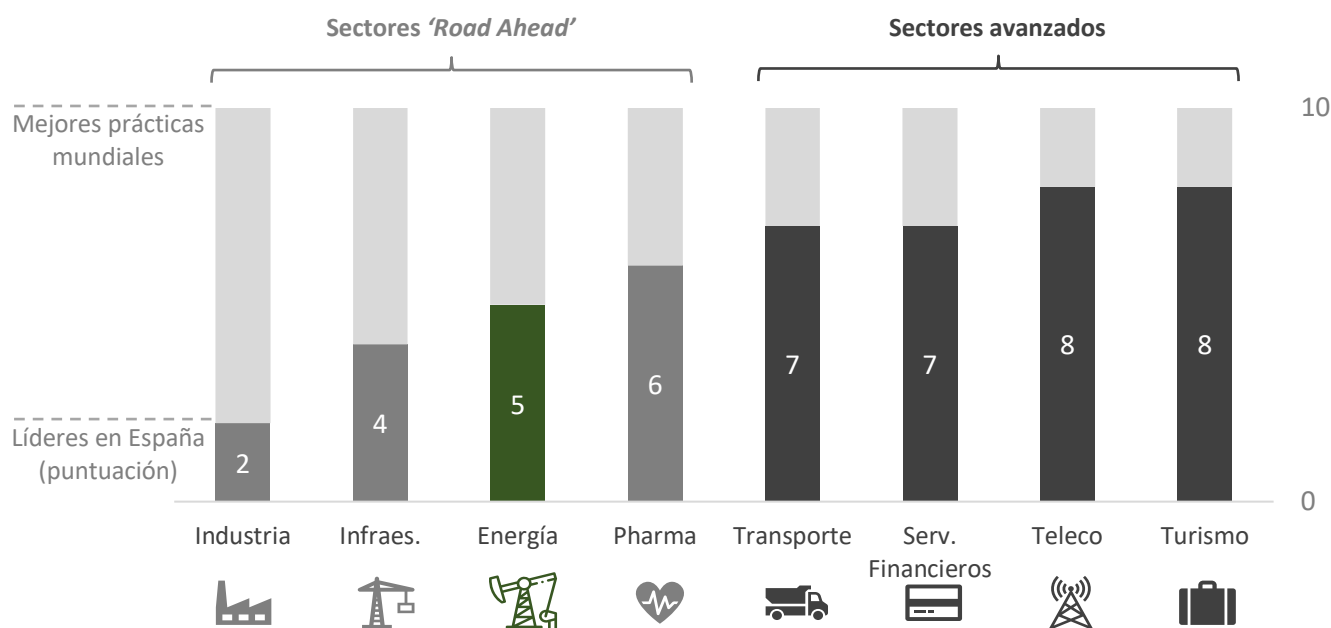


Figura 16. Barómetro del estado de digitalización de los principales sectores económicos

No obstante, el verdadero reto de la digitalización al que se enfrentan las empresas es conocer exactamente en qué tecnologías han de apalancarse y qué valor son capaces de capturar con cada una de ellas. La Figura 17 muestra el grado de implantación de las tecnologías de digitalización en las empresas incluidas en el estudio del CIC, mientras que la Figura 18 muestra las tecnologías que los directivos señalan como las de mayor impacto.

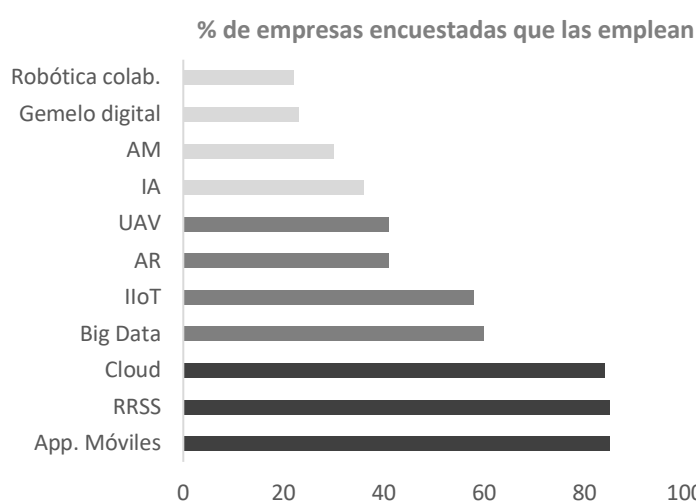


Figura 17. Grado de implantación de las tecnologías

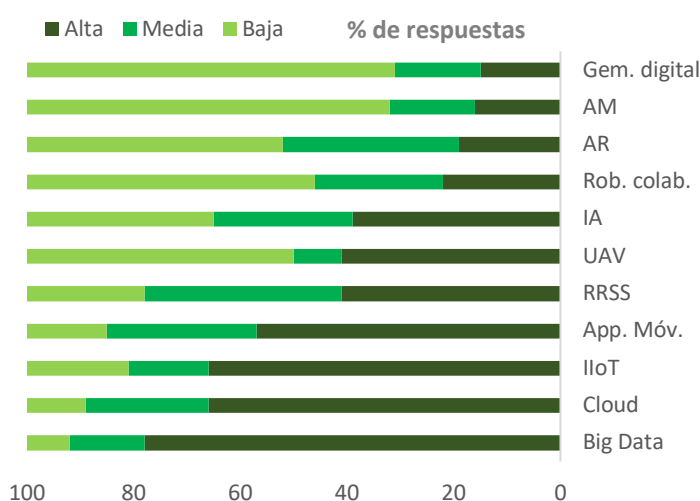


Figura 18. Niveles de importancia de las tecnologías



Cabe destacar la discrepancia que muestran respecto al empleo del *Big Data* y el *IoT*, que no hace más que resaltar la importancia que van a adquirir estas tecnologías en el futuro desarrollo digital.

Por otro lado, la Figura 19 muestra una distribución de los objetivos específicos a los que hacen referencia los procesos de digitalización del sector energético, y el porcentaje de empresas encuestadas del sector que los incluyen en sus planes de digitalización.

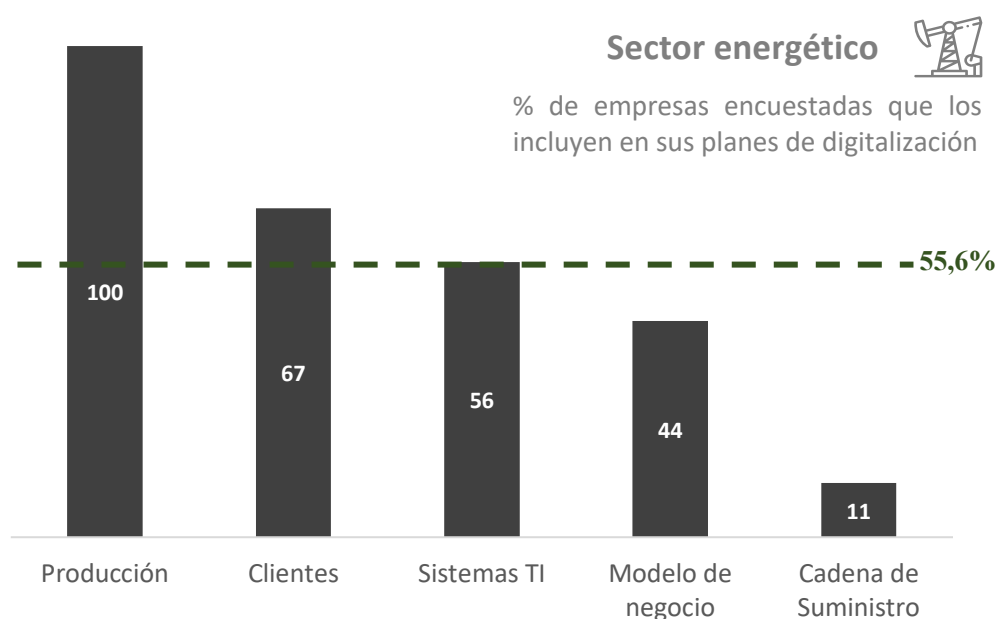


Figura 19. Objetivos específicos en los planes de digitalización. Sector energético

Como se puede observar, las empresas del sector energético focalizan su desarrollo digital en sus procesos productivos y en la interacción con sus clientes. Hay por tanto margen de mejora en aspectos como los sistemas de Tecnología de Información (del inglés, *Information Technology* – *IT*), que será fundamental analizar su convergencia con los sistemas de Tecnología de Operación (del inglés, *Operational Technology* – *OT*) en la ciber-resiliencia del ecosistema eléctrico como veremos más adelante, en la gestión de activos y cadena de suministro, y en los modelos de negocio, que en el caso del sector eléctrico deben de adaptarse a través de la digitalización a las necesidades del nuevo tipo de cliente calificado como participativo.



3.2 LA DIGITALIZACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

Al igual que cualquier otra actividad empresarial, la digitalización en el sector de la distribución eléctrica afecta a tres principales pilares de su cadena de valor: la organización, los procesos y la tecnología, y la relación con el cliente. A continuación, se presenta de forma general el impacto que tiene la digitalización en cada uno de los tres pilares.

A. ORGANIZACIONES

La transformación digital pasa por la organización de las empresas impactando en 5 ámbitos fundamentales²⁰:

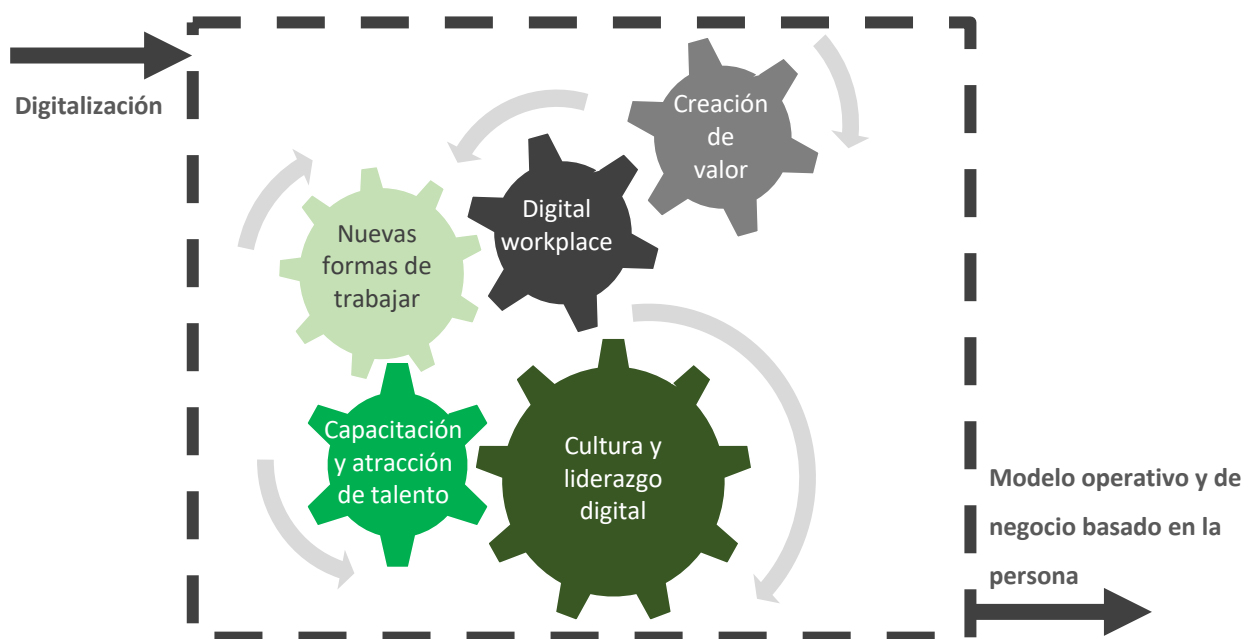


Figura 20. Impacto de la digitalización en la organización

i. Cultura y liderazgo digital

Para sacar el máximo rendimiento de la digitalización, es fundamental que las empresas comiencen por instaurar una cultura digital común en la que se desarrolle una visión centrada en el empleado. La organización debe estar centrada en las personas, alineada con la visión digital y comprometida con los esfuerzos necesarios. Pero, ¿cómo se consigue esa alineación

²⁰ Club Español de la Energía, 'Digitalización en el sector energético español', 2019.



con la estrategia digital de la empresa? Según un análisis de *Mckinsey*²¹ se necesitan tres ingredientes fundamentales:

- Apoyo desde los niveles de liderazgo: Este apoyo de arriba hacia abajo, sin embargo, tiene que ir más allá del director general. Las empresas deben empezar por nombrar un encargado de toda la agenda digital con experiencia en el ámbito para gozar de credibilidad ante los empleados. Además de esto, es imprescindible que toda la pirámide organizativa esté en sintonía con lo digital. A nivel ejecutivo, destaca el rol del líder como promotor y transmisor de la importancia de la apuesta por la transformación. A nivel de negocio, se necesita una dinamización de oportunidades digitales a través del apoyo de equipos e iniciativas. Por último, se necesita que todos los empleados de la compañía enfoquen su trabajo hacia la creación de valor y no al simple cumplimiento de objetivos personales.
- Eliminación de silos: Se necesita la creación de equipos multifuncionales, no jerárquicos y facultados para ejecutar proyectos de principio a fin. Se consigue así acercarse a una estructura de trabajo ágil alejada de la tradicional.
- Romper la aversión al riesgo: La tecnología digital abre la puerta a la realización de múltiples experimentos en pequeña escala que suponen un costo limitado en caso de fracaso pero que pueden producir descubrimientos muy valiosos.

ii. Capacitación y atracción de talento

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 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. Un estudio del *Boston Consulting Group (BCG)* responde a las 4 cuestiones fundamentales en materia de atracción de talento digital²²:

²¹ *Mckinsey*, 'Digital success requires a digital culture'.

²² *BCG*, 'How to gain and develop digital talent and skills', 2017.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

- **Quién:** Para cualquier empresa que decida llevar a cabo un proceso de captación de talento digital, es fundamental que primero comprenda plenamente los perfiles digitales que hay en el mercado. *BCG* ha desarrollado una matriz en la que agrupa 20 perfiles de trabajo digitales esenciales en seis áreas:



Figura 21. Perfiles digitales esenciales detectados por *BCG*

- **Dónde:** Una vez localizados los perfiles que se requieren, el siguiente paso es analizar cómo acceder a estos perfiles. El mundo globalizado y conectado en el que vivimos permite la captación de talento a nivel mundial. Es por ello por lo que *BCG* propone seis dimensiones que pueden ayudar a las empresas a buscar el talento digital. Se trata de indicadores que muestran si el ecosistema favorece el desarrollo de este tipo de talento:
 - **Ecosistema de start-ups:** Indicadores sobre el nivel de financiación de capital riesgo o número de *start-ups*.



- **Demanda de talento digital:** Referencias como el número de anuncios de trabajo sobre la materia *on-line* o el salario medio de los desarrolladores de *software*.
- **Suministro de talento digital:** Factores asociados al número de patentes o de perfiles digitales.
- **Evaluación cualitativa:** Estudio del nivel de competitividad tecnológica.
- **Entorno de negocio:** Indicadores sobre el crecimiento poblacional o la facilidad de crear negocios.
- **Atractivo local:** Índices de tipo medioambiental o cultural, entre otros.
- **Cómo:** La empresa tiene que asegurarse de ser atractiva para esos perfiles tanto a nivel de captación como a nivel de retención. Para ello, el estudio de *BCG* diferencia varias líneas de actuación:
 - **Ponerse en su lugar:** Las empresas deben saber que los perfiles digitales están más preocupados por los proyectos y productos que construyen que por los títulos de prestigio o las trayectorias profesionales lineales.
 - **Emplear reclutadores expertos en tecnología digital:** Los métodos de *recruiting* tradicionales no sirven en la captación de talento digital. Se necesita personal con conocimientos de redes sociales y de *networking on-line*, capacidades de *software* de recursos humanos y conocimientos digitales. Los programadores necesitan que conozcan sus términos y hablen su lenguaje.
 - **Buscar nuevos canales de adquisición del talento:** Las compañías necesitan ampliar sus canales de captación de talento pues el talento digital que buscan podría estar usando sólo plataformas de específicas, como *AngelList* para empresarios, *GitHub* y *Stack Overflow* para ingenieros, *Dribbble* y *Behance* para diseñadores, o *Kaggle* para *data scientists*.
 - **Apuntar a sus intereses:** Los empleadores también pueden llegar a un grupo más amplio de perfiles digitales apuntando a sus intereses directamente. Pueden conectarse con el talento digital en persona, por ejemplo, participando en eventos informales específicos como *CreativeMornings*, una serie de conferencias en forma de desayuno para la comunidad digital que tiene lugar



en ciudades de todo el mundo. Otros métodos incluyen el patrocinio de competiciones virtuales o de eventos en directo como *hackathons* que reúnen a grandes grupos de programadores, normalmente estudiantes.

- **Retener el nuevo talento:** Es importante no olvidar el potencial de los empleados y no recurrir de manera automatizada a captar nuevo talento siempre que se identifique un hueco que hay que cubrir. Las empresas necesitan también crear un ambiente en el que el talento digital captado quiera permanecer a largo plazo. Para ello deben considerar la realización de programas de capacitación para reforzar las capacidades de los empleados involucrados en iniciativas digitales y proporcionar oportunidades de aprendizaje continuo y trayectorias profesionales interesantes. Pueden también mantener a los empleados con programas y políticas que demuestren el aprecio personal, creando un equilibrio positivo entre el trabajo y la vida privada y cultivando un lugar de trabajo colaborativo y flexible.
- **Qué:** El talento digital, como se ha visto, es un concepto muy amplio. La Figura 21 puede servir de gran ayuda para concretar las necesidades de talento digital de la empresa, pero es necesaria su combinación con un análisis profundo sobre el nivel de experiencia necesaria (básico, intermedio o avanzado) en cada uno de los roles detectados como imprescindibles para cubrir esas necesidades de talento.

iii. 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. Según el CEE²³, esta flexibilidad se apoya en tres bases:

- **Adaptabilidad:** Necesidad de adaptarse mejor a los cambios donde aparecen nuevos entornos y agentes.

²³ Club Español de la Energía, '*Digitalización en el sector energético español*', 2019.



- Entrega rápida de valor: Maximizar el valor, mediante entrega del mismo más temprana y orientándose más a cliente
- Profesionalidad: Los trabajadores demandan colaborar de forma diferente, con culturas y formas de trabajar más innovadoras

Las nuevas metodologías de trabajo ágiles, como la *Scrum*, el *Design Thinking* o el *Lean Start-Up* permiten integrar perfectamente estas tres dimensiones en la forma de trabajo. Se basan en la entrega prematura y constante de valor a través de un producto mínimo viable (en inglés, *Minimum Viable Product - MVP*) y la iteración, pudiendo integrar así el *feedback* del cliente en cada ciclo.

iv. Digital labor and workplace

En el camino a la consecución de los objetivos digitales 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. Según un análisis de *Deloitte*²⁴, la adopción de esta estrategia supone grandes beneficios:

- Atracción de talento: El 64% de los empleados optaría por un trabajo menos remunerado si pudieran trabajar fuera de la oficina.
- Productividad: Las organizaciones con fuertes estructuras sociales *on-line* son un 7% más productivas que las que no las tienen.
- Satisfacción: Las organizaciones que instalan herramientas internas de comunicación social tienen un aumento del 20% en la satisfacción de los empleados
- Retención del talento: Cuando el compromiso y la involucración de los empleados aumenta, hay un aumento en la retención del talento de hasta un 87%.

²⁴ *Deloitte*, 'The digital workplace: think, share, do'.



v. **Creación de valor**

Como se ha ido comentado, es fundamental el desarrollo de una cultura comprometida con la creación de valor por encima de los objetivos individuales. Además, es necesaria la constante medición del avance del proceso de transformación para reforzar la credibilidad y la gestión del cambio.

B. RELACIÓN CON EL CLIENTE

La digitalización ha provocado la aparición de un nuevo tipo de consumidor empoderado con paradigmas totalmente nuevos, que se sitúa en el centro de los procesos, está más orientado a los servicios, solicita una capacidad de decisión y selección a tiempo real, y está comenzando a adoptar tecnologías que impactan en la infraestructura eléctrica (*EV*, *prosumer*). Este cambio de paradigma provoca que las empresas del sector tengan que adaptarse para ofrecer un servicio actualizado a las expectativas de los nuevos clientes. Se trata de una modificación de su relación con el cliente, para enfocarla más a la oferta de soluciones personalizadas en vez de productos, a través de herramientas digitales que sean sencillas e intuitivas y que permitan el acceso a la información completa y en tiempo real por parte de los consumidores.

En la sección 2.2 se hablaba de un proceso de empoderamiento del consumidor que evolucionaba desde el cliente tipo ‘abonado’ al cliente activo como consecuencia del proceso de liberalización y, a raíz de la aceleración digital actual, se introducía el cambio que se está produciendo hacia el cliente participativo. Se comentaba como ese cambio en el cliente iba acompañado de un cambio en los modelos de negocio de las distribuidoras, y como esa tendencia hacia el cliente participativo cambiará radicalmente el modelo de negocio de estas empresas.

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. Y todo esto se realizará en tiempo real a través de plataformas de compraventa de energía, en donde el *blockchain* desempeñará un papel fundamental como se verá más adelante. El nuevo modelo de negocio de las distribuidoras deberá proporcionar control y sencillez al cliente. A través de la



recogida de datos masiva, donde los contadores inteligentes representan un buen punto de partida, las empresas deberán trazar perfiles sobre el comportamiento de sus clientes y, a través de la *AI*, deberán tratar esa información para proporcionar motores de decisión y personalización en tiempo real a sus clientes. Pero 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 esta. Esta experiencia del consumidor deberá de ser flexible y dinámica en todos los canales para poder adaptarse al nuevo perfil de estos. La tecnología *VR* desempeña un papel fundamental en este aspecto, dando la oportunidad a los clientes de participar en innovadoras experiencias.

En general, el CEE²⁵ distingue la aparición de dos nuevos tipos de modelos de negocio:

- Los modelos de negocio basados en la importancia dada por la digitalización con foco en el cliente, donde encontramos ejemplos como la oferta digital multi-energía. Se trata de negocios basados en herramientas digitales conectadas a un servicio/producto principal.
- Los modelos de negocio basados en el apoyo a través de la digitalización a empresas para satisfacer sus necesidades internas. Las empresas que desarrollen capacidades digitales serán capaces de crear nuevas vías de ingreso a través de la comercialización de soluciones digitales. Un ejemplo claro es el desarrollo de capacidades *blockchain* para la compraventa de energía en tiempo real.

No obstante, estas nuevas vías de ingresos permitirán la entrada de nuevos competidores a causa de varios catalizadores, como el acceso a plataformas y soluciones digitales eficientes económicamente, la ausencia de regulación en este ámbito, la nueva mentalidad del cliente empoderado, o el nuevo ecosistema de *Smart Cities*, que difumina la frontera entre el mundo de las telecomunicaciones y de la energía, facilitando la entrada de competidores de otras industrias.

²⁵ Club Español de la Energía, '*Digitalización en el sector energético español*', 2019.



C. PROCESOS Y TECNOLOGÍA

Una de las características fundamentales de la distribución eléctrica es que es un sector cuyos activos se encuentran muy distribuidos geográficamente. La interconexión de estos es una tarea que se lleva realizando desde hace años. Un ejemplo indudable de éxito es el que se logró a través del despliegue de dispositivos *Power Line Communications (PLC)*, que logra la interconexión de los activos aprovechando la propia red eléctrica como medio físico para transmitir la información.

La digitalización se presenta como una palanca con un potencial enorme para lograr la completa interconexión de estos activos tan distribuidos, mejorando así las operaciones y la eficiencia en general de la gestión de los activos de la distribución eléctrica.

Según el CEE, la digitalización está afectando a las tecnologías y activos eléctricos en 3 áreas principales y una transversal a todas ellas, como se puede ver en la Figura 22:



Figura 22. Áreas de impacto en las tecnologías y activos de la distribución eléctrica

A continuación, se presenta de manera general como afectará la digitalización en cada una de estas áreas. Un análisis más detallado del impacto que suponen las tecnologías que se mencionan se realizará más adelante en el Capítulo 5.



i. Planificación e inversión

La digitalización posibilitará una mejora sustancial en la toma de decisiones de planificación e inversión. En cuanto a la adquisición de nuevos activos, el apoyo en tecnologías como el gemelo digital o las tecnologías inmersivas ayudará a optimizar resultados reduciendo costes y tiempos a través de la virtualización. En las decisiones de inversión, el empleo de la analítica avanzada y el *Big Data* permitirá disminuir de manera considerable los riesgos en los procesos de nueva inversión, pues se podrán incorporar a los análisis variables que miden el impacto de nuevos agentes y recursos 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.

En el lado de la planificación, la virtualización a través de gemelos digitales permitirá realizar simulaciones multiescenario donde se contempla la generación y almacenamiento distribuidos, así como la participación de los clientes. Estos modelos, combinados con la analítica, permitirán sistematizar, automatizar y simplificar los procesos de toma de decisiones en las actividades de planificación. Además, el seguimiento continuo de los activos existentes a través de tecnologías como el *IoT* o el *ML* permitirá conocer en todo momento el estado de estos y su confiabilidad en términos de servicio, ofreciendo así una planificación de producción óptima y una toma de decisiones ágil, segura y precisa.

ii. Operación y mantenimiento

La digitalización cambiará sin duda el desarrollo de las actividades de operación y mantenimiento (*O&M*), optimizando de manera espectacular los procesos. En el plano operativo, la interconexión de los activos a través del despliegue de dispositivos *IoT* permitirá dotar de inteligencia a los activos, logrando así una operación optimizada y eficiente en costes, además de la planificación dinámica, flexible y en tiempo real introducida anteriormente. Además, la *AI* y el *Big Data* mejorarán notablemente el análisis de contingencias, pues se logrará una operación de las redes de Media y Alta Tensión (MT y AT) mucho más autónoma a través de sistemas autónomos de toma de decisiones, reduciéndose notoriamente el tiempo de reposición ante incidencias. La red de Baja Tensión (BT) por su parte pasará de ser una red pasiva a ser una red completamente operable. Gracias



a la utilización de contadores telegestionados y la sensorización de la red, se fomentará el desarrollo de una red de comunicaciones propia. Se conseguirá, por tanto, disponer de información a tiempo real que mejorará la calidad de servicio gracias a la detección, localización y adaptación autónomas de paradas y eventos anómalos en la red.

En el plano del mantenimiento, la combinación de tecnologías como el *Big Data*, la *AI* y el *IoT* permitirá mejorar la gestión de los activos a través del mantenimiento predictivo. La constante monitorización de la red a través de Indicadores de Rendimiento (en inglés, *Key Performance Indicator - KPI*) como el Tiempo Medio entre Fallos (en inglés, *Mean Time Between Failure – MTBF*), será un factor clave para asegurar la operatividad y sostenibilidad de las instalaciones. Las herramientas digitales también desempeñarán un papel fundamental en la monitorización de trabajos de campo mediante el uso de tecnologías de inspección, como el *UAV*, la tecnología *LIDAR* y la imagen satelital, con aplicaciones como la transferencia de imágenes aéreas y datos de sensores para la detección de averías e incidentes o monitoreo del crecimiento de la vegetación en torno a las redes de electricidad.

Por último, existe margen de mejora en los procesos de *O&M* a través de la gestión integrada mediante el *Cloud Computing*, logrando una mejor coordinación entre ambas áreas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad. La nube, además de los ya conocidos beneficios en materia de reducción de costes, permite además recurrir a ella para acceder a aplicaciones de *AI*, *blockchain*, *VR* o computación cuántica, entre otras. Las empresas que mejor logren apoyarse en la herramientas y soluciones que proporciona la nube serán capaces de lograr unas actividades de *O&M* más eficientes.

iii. Nueva vida de los activos

La digitalización optimizará la rentabilidad de los activos en su etapa final gracias a la reducción de los costes y los riesgos en los procesos de abandono de activos. Según el CEE, esto se conseguirá principalmente a través de la gestión integrada e inteligente de la información generada durante la vida de los activos.



iv. Sostenibilidad

Como se ha comentado, se trata de un eje transversal a los anteriores. La digitalización permitirá el desarrollo de las operaciones en un entorno sin fallos y en unas condiciones de operación seguras. En el plano de la seguridad en las operaciones, algunos ejemplos incluyen:

- El uso de *apps* móviles que permitan a los operadores conocer en tiempo real los niveles de exposición de riesgo, monitorizar las condiciones de operación y predecir riesgos a través de la *IA*.
- El empleo de *wereables*, como gafas o relojes inteligentes, que combinados con la *AR* permiten a los operarios realizar las tareas con las manos libres al mismo tiempo que reciben las instrucciones necesarias.
- El empleo de *UAV* para la inspección de instalaciones que plantean riesgos por su localización o condiciones.
- Formación de los trabajadores en entornos virtuales seguros mediante la tecnología *VR*.
- Sistemas de geolocalización de operarios en tiempo real.
- Mantenimiento en remoto de las subestaciones eléctricas.

Desde el punto de vista del medio ambiente, se podrá predecir la ocurrencia de fenómenos meteorológicos en las instalaciones, evitando llevar a acabo operaciones de mantenimiento en periodos en los que se puedan producir daños en el entorno de las instalaciones. Además, el empleo de gemelos digitales para la virtualización de la red eléctrica y el empleo de sistemas *LIDAR* e imagen satelital permitirá el desarrollo de métodos de control de la vegetación que rodea las instalaciones. Se podrá así hacer una constante monitorización de ésta para evitar posibles situaciones de riesgo. El empleo de la *AI* constituirá también un facilitador en la elaboración de modelos de predicción de crecimiento de las masas de vegetación.



3.2.1 LA RED ELÉCTRICA DEL FUTURO DE UN VISTAZO

Aunque este trabajo se centra en la distribución eléctrica, es importante dar una idea a alto nivel de como será el panorama eléctrico futuro tras la integración de la digitalización en toda la cadena de valor. El impacto de la digitalización en el ecosistema eléctrico está siendo y será enorme. La Figura 23²⁶ y los comentarios sobre ésta muestran algunas de las muchas características que presentará la red eléctrica.

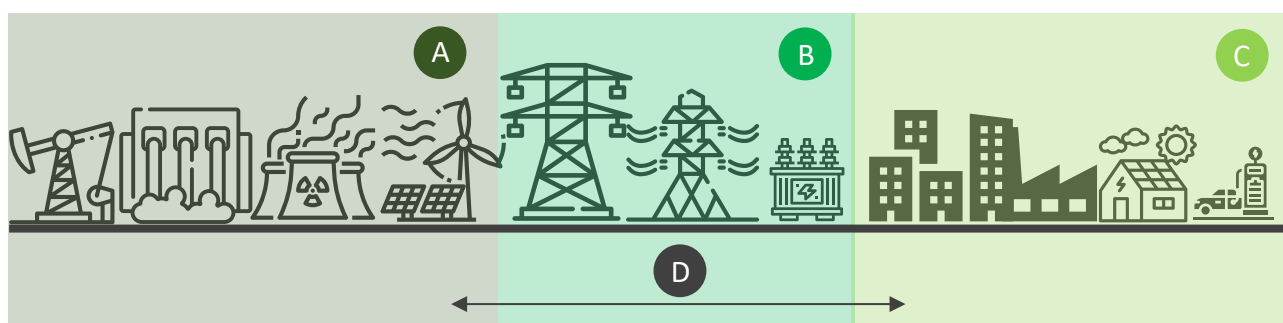


Figura 23. Esquema de la configuración de la red eléctrica futura

A Actividades de generación:

- Generación distribuida perfectamente integrada por una gran alineación de la oferta y la demanda impulsada por la analítica avanzada y el *Big Data*.
- Empleo de herramientas de analítica avanzada para la reducción del consumo energético en la generación.
- Digitalización y monitorización de las actividades de suministro para optimizar costes.
- Mantenimiento predictivo para lograr optimizar las actividades de mantenimiento.
- Motores de decisión en las actividades de planificación en tiempo real

B T&D:

- Activos de distribución completamente interconectados a través el *IoT*.
- Plataforma de gestión integrada a través del *Cloud*.

²⁶ Mckinsey, 'The digital utility: new opportunities and challenges', 2016.



- La automatización de los planes de contingencia permite que los controles automatizados mejoren la resistencia, la seguridad y la eficiencia de la red.
- Red de BT completamente operable y monitorizada.
- La energía al por mayor se comercializa a través de contratos inteligentes.
- Mantenimiento predictivo para asegurar la continuidad del servicio.
- Trabajo de campo digitalizado a través de los *UAV*, la tecnología *LIDAR* y la imagen satelital.
- Sostenibilidad y seguridad en los trabajos de campo permitiendo a los operarios el acceso a herramientas digitales y conociendo información en tiempo real.

C Comercialización y consumo:

- Las interacciones con los clientes se rigen por el análisis de los datos, la segmentación y la comunicación personalizada y multicanal.
- La plataforma apoya íntegramente los recursos energéticos distribuidos (*EV*, microgeneración), que funcionan de forma autónoma gestionando los flujos de energía y los pagos instantáneos a través del *blockchain*.
- Alto nivel de conciencia situacional por parte de los consumidores para permitir el equilibrio energético.
- Motores de personalización en tiempo real.
- Integración de *Smart Homes* y *Smart Buildings*.

D Toda la cadena:

- Optimización de las actividades de inversión a través de herramientas digitales.
- Colaboración de todo el ecosistema en el equilibrio y la ciber-resiliencia de la red eléctrica.

En la *Smart Grid* se 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 panorama eléctrico (ver Figura 24²⁷) hará que sea necesario desarrollar un ecosistema de ciberseguridad que sea resiliente y en el que, como se verá en la siguiente sección, será fundamental la colaboración de todos los agentes del sector eléctrico.

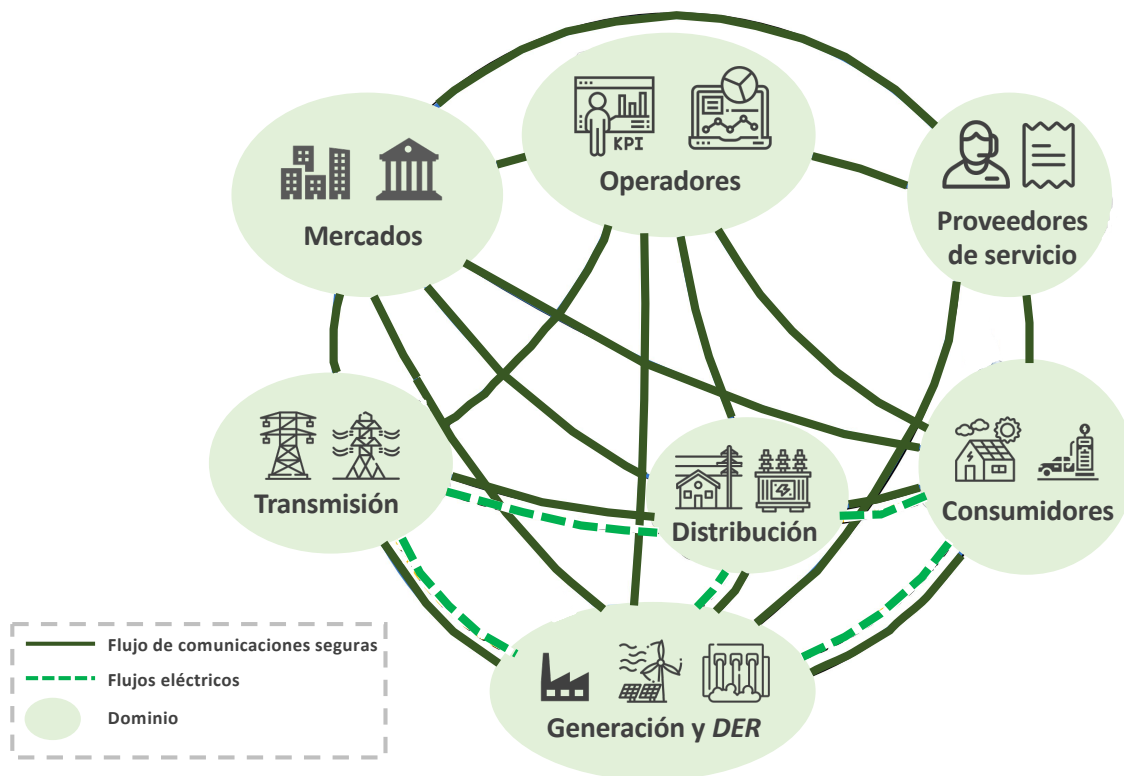


Figura 24. Diseño conceptual del NIST de la Smart Grid

3.2.2 INTRODUCCIÓN A LA CIBER-RESILIENCIA DEL ECOSISTEMA ELÉCTRICO

La ciber-resiliencia es un desafío para todos los sectores económicos, pero es de especial relevancia para el ecosistema eléctrico: un apagón a gran escala puede tener graves consecuencias socioeconómicas para los hogares, las empresas y las infraestructuras críticas. La gran interconexión de los agentes y activos involucrados en el panorama eléctrico hace que un ciberataque pueda tener un efecto en cascada en todo el ecosistema. Además, es posible que el impacto del mismo no afecte por igual a los agentes del sistema eléctrico. Este

²⁷ Elaborado a partir de: National Institute of Standards and Technology (NIST), 'Update of the NIST Smart Grid Conceptual Model (Third Discussion DRAFT)', Noviembre de 2018.

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

hecho hace que para lograr la ciber-resiliencia del ecosistema eléctrico sea necesario que todas las organizaciones incluidas en él colaboren proactivamente en la gestión del riesgo cibernético y en la elaboración de estrategias colectivas. La Figura 25 muestra el ecosistema eléctrico y los agentes involucrados en él²⁸. Ser conscientes de la complejidad e interdependencia del sistema eléctrico es el primer paso para alcanzar la ciber-resiliencia sistémica.

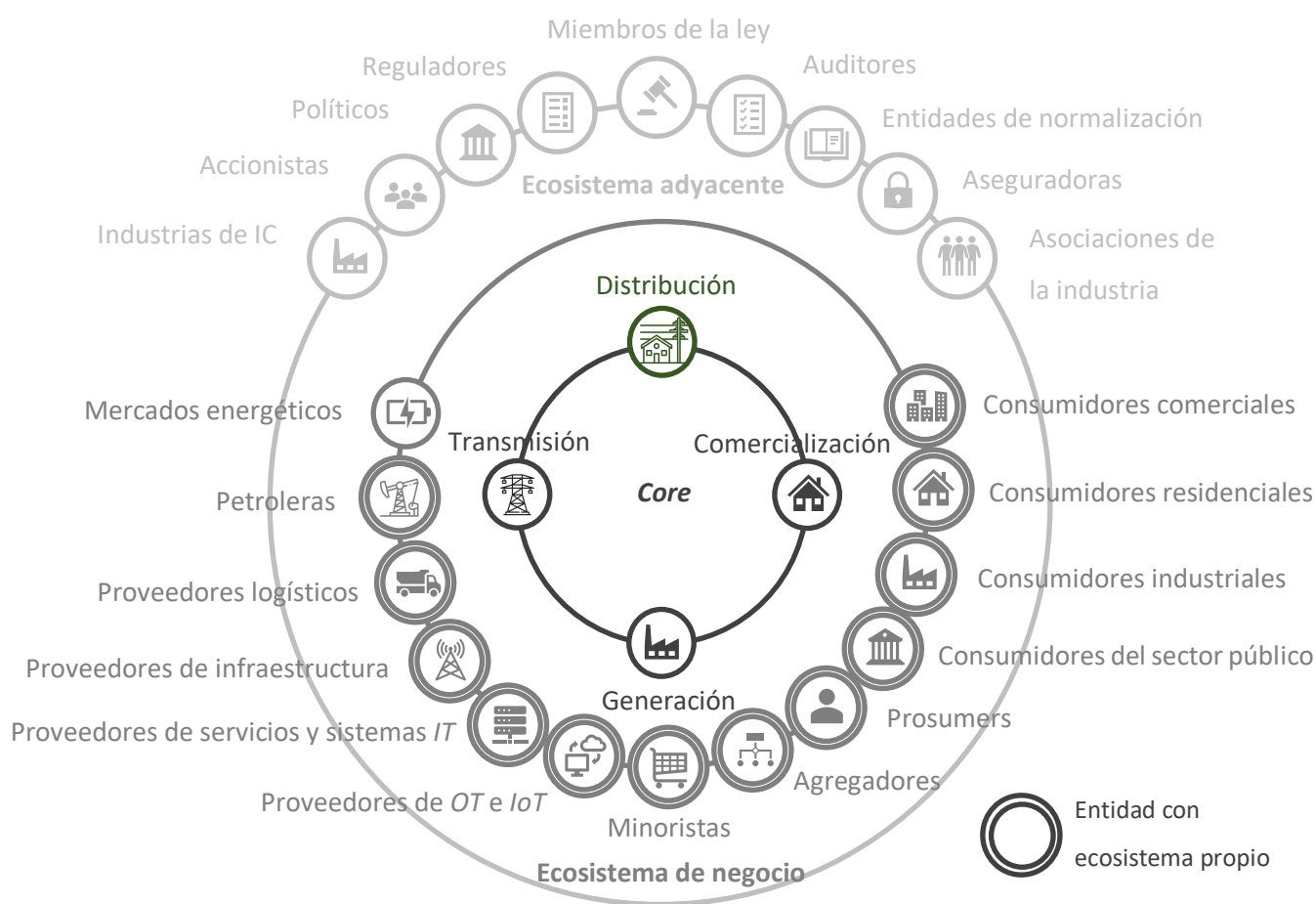


Figura 25. Representación del ecosistema eléctrico

Las interacciones de los miembros de este ecosistema tan complejo se manifiestan a través de conexiones físicas, conexiones de red (sistemas informáticos que interactúan entre sí) y conexiones estratégicas (conexiones entre los niveles de negocio y el adyacente). Además,

²⁸ WEF y BCG, 'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

la digitalización está haciendo que la complejidad de la capa de la red crezca enormemente, exponiendo nuevas vulnerabilidades para que los agentes malignos propaguen ciberataques.

Tradicionalmente, la gestión del riesgo ha supuesto tratar cuestiones como el fallo de componentes a través de planes de mitigación y recuperación. No obstante, es necesario que los planes de resiliencia del ecosistema eléctrico integren una estrategia de ciberseguridad cuidadosamente diseñada. El *WEF* junto con *BCG* ha desarrollado una serie de principios (ver Figura 26²⁹) para ayudar a las empresas de la industria eléctrica a desarrollar buenas prácticas que aseguren la ciber-resiliencia de todo el ecosistema.



Figura 26. Principios y orientación para la industria eléctrica en materia de ciberseguridad

²⁹ WEF y BCG, 'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'.



El enfoque empleado por el *WEF* y *BCG* para la elaboración de estos principios se basa en 3 pilares:

- Ecosistema interdependiente: Las organizaciones del ecosistema eléctrico dependen unas de otras para la adquisición de componentes y prestación de servicios críticos. Además, como se ha comentado, las tecnologías digitales han amplificado el nivel de interconexión e introducido una dimensión adicional de riesgo. El aumento de la conectividad de la red eléctrica, la convergencia entre la *OT* y la *IT*, el despliegue de dispositivos *IoT* y la digitalización de los modelos de negocio están ampliando el entorno cibernético del que los agentes maliciosos se aprovechan. Además, las redes cada vez más descentralizadas atraen cada vez más generadores de pequeña escala. Los ataques cibernéticos a estos generadores son iguales de críticos que los compromisos con entidades más grandes. Aparece aquí un nuevo tipo de ataque, los *Demand-Side Attacks*, de los que se hablará más adelante.
- Enfoque integrado: La ciberseguridad no suele considerarse tan sistemáticamente como otros riesgos, y suele ser responsabilidad del departamento de *IT*. En el sector de la electricidad, en el que existe una necesidad de suministro de energía en tiempo real, ya no se puede gestionar la ciberseguridad de forma aislada. Es necesario que se integre con el riesgo de negocio y en todas las partes de la organización y el ecosistema de la empresa.
- Cultura de cumplimiento: Determinados organismos públicos han intentado mejorar las capacidades de ciberseguridad de las organizaciones mediante el establecimiento de reglamentos (por ejemplo, el *NIST*). No obstante, el cumplimiento de estos no siempre significa estar completamente cubierto frente a un ciberataque. La rápida digitalización del ecosistema eléctrico hace que la regulación del sector tenga dificultades en adaptarse a los riesgos cibernéticos más recientes. En consecuencia, el ecosistema debe adoptar una mentalidad resistente y adaptativa mediante estrategias para la gestión de los riesgos cibernéticos sistémicos.



A. FACTORES DE ÉXITO

Además de los principios de buena práctica elaborados por el *WEF* y *BCG*, algunos factores de éxito, como los que se analizan a continuación, son claves en la consecución de un ecosistema ciber-resiliente:

i. Estrategias de Defense in Depth

La idea de la Defensa en Profundidad (en inglés, *Defense in Depth – DiD*) es que la compañía organice la estrategia de gestión del riesgo en diversas dimensiones, de modo que, si se consigue vulnerar una capa de defensa, otra capa de defensa evitará que se propague el ataque hasta los activos más importantes y sensibles, los datos. La Figura 27 muestra el esquema básico de esta estrategia de ciberseguridad.

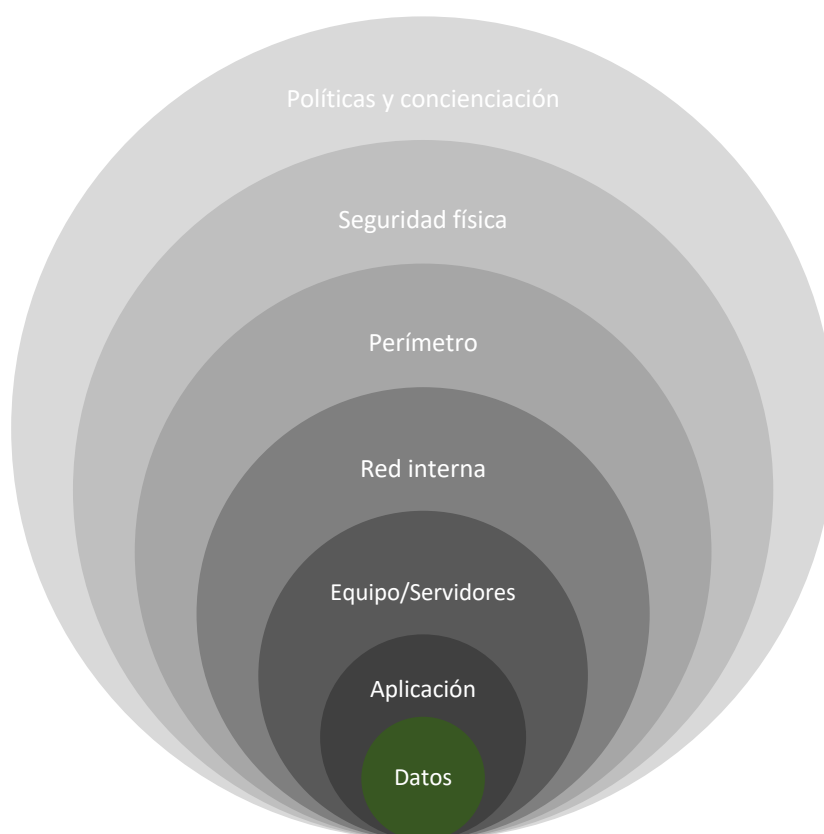


Figura 27. Estructura de la Defense in Depth

Algunas de las medidas que se pueden implementar en cada una de las dimensiones para hacer una estrategia de defensa más resiliente son:



- Políticas y concienciación: Establecimiento de reglas, obligaciones y procedimientos, y comunicación eficaz de las mismas a toda la organización. En organizaciones con una fuerte cultura de ciberseguridad esta capa es fácil de asegurar.
- Seguridad física: En esta capa se incluyen las medidas para la protección del acceso a los sistemas *IT*, como los mecanismos de control del acceso físico al personal imprescindible y la constante monitorización.
- Perímetro: La seguridad en esta capa se centra en asegurar los accesos remotos a la red. Aquí es fundamental el empleo del *firewall* en la conexión con la red interna.
- Red interna: Desarrollo de sistemas de detección y prevención de intrusiones. Implementación del *dynamic Access Control List (dACL)* para controlar los accesos.
- Equipos/servidores: Implementación de medidas como la instalación de parches de seguridad, desactivación de aplicaciones, protocolos o servicios en desuso, empleo de *softwares anti-malware*, cierre de los puertos lógicos innecesarios y protección de los puertos físicos.
- Aplicación: Implantación de métodos de autenticación, autorización y contabilidad, además de mecanismos de gestión de parches y vulnerabilidades.
- Datos: En el caso de que un agente maligno logre llegar a esta capa, medidas como la autenticación y la autorización, el cifrado de las comunicaciones y los *back-ups* cifrados son el último recurso para proteger los activos más valiosos.

ii. Cooperación de las tecnologías IT y OT

Los entornos *IT* y *OT* son fundacional y funcionalmente diferentes. Como resultado, también suelen tener requisitos de seguridad diferentes. La Tabla 3 muestra la comparativa entre ambos entornos en materia de seguridad. Tal vez la diferencia más fundamental sea que la seguridad de la *IT* se centra en la confidencialidad, mientras que la *OT* suele dar prioridad a la integridad y la disponibilidad. Los retos de seguridad creados por las diferencias en las prioridades a menudo se ven exacerbadas por una barrera de comunicación entre los grupos de *IT* y *OT*.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

Asegurar la convergencia y cooperación de ambos entornos es fundamental en términos de ciberseguridad. Para lograr la ciber-resiliencia del ecosistema eléctrico, los agentes involucrados en él deben adoptar un modelo de gestión de riesgos cibernéticos basado en una visión sistémica que integre el entorno *IT*, el *OT* y el *IoT*.

Tecnología de Información (IT)	Característica	Tecnología de Operación (OT)
Integridad, Confidencialidad, Disponibilidad	Prioridad en los objetivos de seguridad	Integridad, Disponibilidad, Confidencialidad
Medio, se aceptan retrasos	Necesidad de la disponibilidad	Muy alto
Se aceptan retrasos	Necesidad de 'real-time'	Crítico
3-5 años	Vida útil de los componentes	Hasta y por encima de 20 años
Regular / programado	Aplicación de parches	Lento / poco frecuente
Programado y ordenado	Prueba y auditoría de seguridad	Ocasional
Alto / maduro	Concienciación de seguridad	Creciendo

Tabla 3. Comparación de las características de los entornos IT-OT en materia de ciberseguridad³⁰

iii. Estrategias de ciber-resiliencia de extremo a extremo

Las empresas del sector eléctrico deben entender la ciberseguridad como una actividad continua, siempre activa y proactiva. Deben promover, por lo tanto, una estrategia de ciberseguridad por diseño y tratarla como un proceso empresarial y un principio de desarrollo tecnológico.

Es importante, como se ha comentado anteriormente, tratar la ciberseguridad con un enfoque integrado en toda la cadena de valor y niveles de la organización. Desde el nivel corporativo, debe incluirse la ciberseguridad en los planes de estrategia y en la gobernanza de las compañías. A nivel de negocio, el riesgo cibernético debe de estar incluido en la gestión de

³⁰ WEF y BCG, 'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'.



riesgos de la empresa. Además, las empresas deben apalancarse en el *Big Data* y el análisis de datos para la búsqueda de nuevas amenazas. A nivel funcional, los sistemas y arquitecturas deben de estar diseñados para la ciberseguridad, y los recursos concienciados y capacitados en la materia, por ejemplo, a través de simulaciones para la respuesta ante amenazas.

iv. Desarrollo de una fuerte cultura de ciberseguridad

De la integración de la ciberseguridad en todos los niveles y en la cadena de valor de las compañías se deriva el establecimiento de arraigadas culturas de ciberseguridad. Al igual que pasa con la digitalización, la visión y organización de la empresa debe estar alineada con la estrategia de ciber-resiliencia de la misma. Para ello, es fundamental incorporar la idea de que la ciberseguridad es responsabilidad de todos. Esta campaña de concienciación debe asegurarse que llegue a todos los niveles organizativos.

v. Colaboración y concienciación sistémica

Se ha visto que en un ecosistema tan interdependiente la colaboración activa y proactiva con el entorno es fundamental para lograr la resiliencia sistémica. Así, para construir una conciencia situacional colectiva es fundamental el intercambio de información transparente y en tiempo real. No obstante, este debe ir más allá de la suscripción a las fuentes de información. Los directivos deben promover la colaboración en todos los niveles de la organización y participar activamente en las iniciativas de intercambio de información a fin de garantizar que se adopten medidas para proteger el entorno contra las amenazas cibernéticas actuales y futuras. Un ejemplo es la creación del *Charter of Trust (CoT)* por grandes empresas industriales para definir y aplicar los principios que pueden hacer del mundo digital un lugar más seguro.

Pero la colaboración con el ecosistema debe ir más allá del intercambio de información. Por ejemplo, las empresas deben considerar fortalecer su postura de ciberseguridad ofreciendo servicios de ciberseguridad a otros agentes de su ecosistema como parte de la protección de su entorno de extremo a extremo.



vi. **Elaboración de métricas**

Para integrar eficazmente la ciberseguridad y la gestión de riesgos cibernéticos en la estrategia corporativa, es necesario medir los progresos. La monitorización de los esfuerzos de ciber-resiliencia es un reto con amplio espacio de mejora. La tarea más crítica donde se deben de centrar los esfuerzos es en la necesidad de traducir los parámetros y *KPIs* a un lenguaje empresarial que puedan entender los directivos, pues estos son los encargados de tomar las decisiones. Para ello ayuda la designación de *CISOs* con amplia experiencia en el campo de la ciberseguridad.

vii. **Adaptación a las tecnologías emergentes**

La continua evolución de la tecnología presenta un desafío permanente a la ciber-resiliencia de ecosistema eléctrico. La creciente penetración de los *DER* está ampliando la superficie de ataque. Además, la sofisticación de las herramientas cibernéticas utilizadas por los agentes maliciosos sigue aumentando. No obstante, esta evolución tecnológica también es positiva. Por ejemplo, el *ML* y la *AI*, especialmente en el entorno *OT*, permitirán medidas de defensa proactivas. Además, la computación cuántica cambiará por completo el panorama de la encriptación. Los líderes del ecosistema eléctrico deben ser conscientes de los cambios y actuar conjuntamente para asegurar la resistencia del ecosistema.

B. LA NUEVA AMENAZA: DEMAND-SIDE ATTACKS

Como se ha comentado anteriormente, la creciente descentralización de la red provocada por la generación distribuida, el almacenamiento energético, la electrificación de la movilidad o las plataformas de agregadores, entre otros *DER*, provoca la aparición de un nuevo tipo de ataque: los *Demand-Side Attacks*.

Los ataques coordinados y simultáneos contra la demanda o el suministro de energía a través de dispositivos *IoT* de consumidores plantean un reto por dos motivos principalmente, que se derivan de la naturaleza descentralizada que presentan estos activos:

- Se trata de dispositivos que carecen de insuficiente infraestructura de seguridad y, en la mayoría de los casos, de infraestructura de seguridad física alguna.



- Son más difíciles de controlar que los riesgos convencionales (*APT*s, *phishing*, ...), entre otros motivos porque en la mayoría de los casos la infraestructura es pública o privada, pero no pertenece a la distribuidora.

Según la Red Europea de Operadores de Sistemas de Transmisión de Electricidad (*ENTSO-E*)³¹, la zona sincronizada de sistemas eléctricos de Europa continental ha sido diseñada para soportar un desequilibrio de potencia máximo de 3 GW. Sin las medidas adecuadas, las consecuencias de un desequilibrio de potencia de ese calibre podrían ser enormes, incluyendo el apagón total del sistema.

Para ilustrar esto, el *WEF* propone un ejemplo con puntos de carga de vehículos eléctricos. Actualmente se distinguen cuatro tipos de puntos de recarga de *EV*, los de carga lenta (hasta 6 KW), los de carga semi-rápida (hasta 22 KW), los de carga rápida (hasta 100 KW) y los de carga ultra-rápida (más de 100 KW), siendo los primero los únicos que se encuentran en el sector residencial. La Figura 28 muestra el número de unidades a comprometer para provocar el desequilibrio comentado de 3 GW.

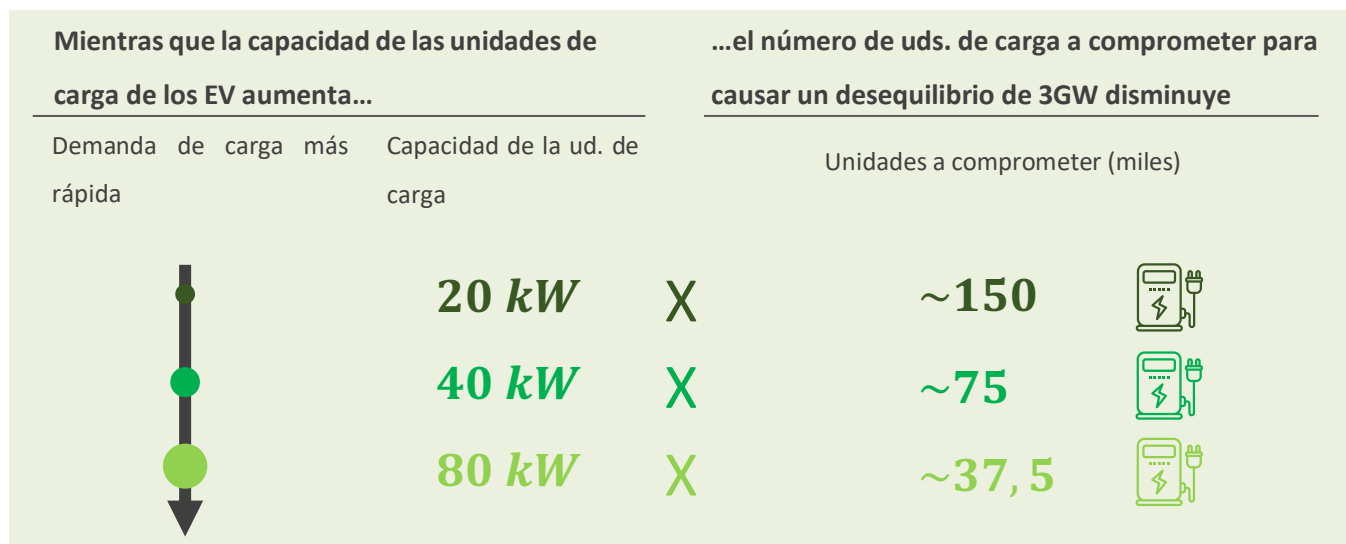


Figura 28. Estudio sobre el número de puntos de recarga de EV a comprometer para desequilibrar la red sincronizada de Europa continental³²

³¹ European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E), 'Frequency Stability Evaluation Criteria for the Synchronous Zone of Continental Europe', Marzo de 2016.

³² WEF y BCG, 'Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards'.



Aunque el despliegue de puntos de recarga ultra-rápida en Europa todavía es escaso, su capacidad está aumentando espectacularmente. Un ejemplo de esto es el hecho de que Repsol solo dispone de dos cargadores de tipo ultra-rápido en España, de los cuales uno tiene una capacidad de 700 KW configurable para ofrecer 350 KW a dos coches simultáneamente o 175 KW a cuatro³³.

Se puede pensar que la Figura 28 plantea un número de unidades a comprometer muy elevado, pero cabe destacar que dichos números se refieren a provocar un desequilibrio de 3 GW que pondría en jaque a la red eléctrica sincronizada europea, pudiéndose provocar problemas también graves con un número menor de dispositivos. Asimismo, es importante tener en cuenta que, además de la creciente penetración del *EV* y el desarrollo de mayores capacidades de recarga, los *DER* integran otros recursos como las baterías de almacenamiento eléctrico o la microgeneración. Este hecho 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.

3.2.3 RETOS Y OPORTUNIDADES IDENTIFICADOS EN EL SECTOR

A continuación, se procede a presentar los principales retos identificados como claves en la digitalización del sector. Al final de estos se incluye una tabla (Tabla 4) que los recoge todos los retos presentados.

a. Retos en la organización de las compañías

a.1 Implementación de una cultura alineada con la estrategia digital: Para sacar el máximo rendimiento de la digitalización, es fundamental que las empresas comiencen por instaurar una cultura digital común en la que se desarrolle una visión centrada en el empleado.

³³ABC, https://www.abc.es/economia/abci-repsol-inaugura-primer-punto-carga-ultrarrapida-para-coches-electricos-peninsula-201904011657_noticia.html, Abril de 2019.



a.2 Desarrollo e implementación de nuevas formas de trabajo ágiles: 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.

a.3 Desarrollo de capacidades de atracción de talento digital: 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 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.

a.4 Transición hacia el *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.

a.5 Desarrollo de capacidades de analítica avanzada e integración de estas en la gestión de Recursos Humanos (RRHH): La analítica avanzada puede aportar un enorme valor a las empresas y llevar a las organizaciones a nuevas fronteras de la eficiencia, pero sólo con el enfoque adecuado. El valor real proviene de la incorporación del análisis de datos como una capacidad básica en la organización y de su uso para detectar puntos débiles, diseñar soluciones y permitir la toma de decisiones. Con la evolución hacia modelos de trabajo centrados en la experiencia del empleado, la integración de esta tecnología en la gestión de RRHH será fundamental.

b. Retos en la relación con el cliente

b.1 Desarrollo de nuevos modelos de negocio centrados en el cliente: El proceso de empoderamiento de los clientes plantea la necesidad a las empresas de adaptarse para poder ofrecer nuevos servicios de valor añadido que prioricen la experiencia del consumidor.



b.2 Elaboración de estrategias de adaptación a las crecientes expectativas de los clientes: Las empresas del sector tienen un amplio recorrido para satisfacer las crecientes expectativas de sus clientes. Los clientes quieren productos y servicios personalizados, una mejor comunicación digital y una resolución de problemas más rápida. Además, cada vez demandan servicios más complejos, como por ejemplo la posibilidad de ofrecer paquetes de energía en función del origen de esta o la oferta digital multi-energía.

b.3 Desarrollo de motores de decisión y personalización en tiempo real: A través de la recogida de datos masiva, las empresas deberán trazar perfiles sobre el comportamiento de sus clientes y, a través de la *AI*, deberán tratar esa información para proporcionar motores de decisión y personalización en tiempo real que sean capaces de ofrecer nuevos servicios en el momento adecuado a sus clientes.

b.4 Desarrollo de nuevos canales y experiencias de atención al cliente: Esta experiencia del consumidor deberá de ser flexible y dinámica en todos los canales para poder adaptarse al nuevo perfil de estos. La tecnología *VR*, entre otras, desempeña un papel fundamental en este aspecto, dando la oportunidad a los clientes de participar en innovadoras experiencias.

c. Retos en los procesos core y la gestión de activos

c.1 Optimización de las actividades de inversión: El apoyo en tecnologías como el gemelo digital o las tecnologías inmersivas ayudará a optimizar resultados reduciendo costes y tiempos a través de la virtualización. En las decisiones de inversión, el empleo de la analítica avanzada y el *Big Data* permitirá disminuir de manera considerable los riesgos en los procesos de nueva inversión, pues se podrán incorporar a los análisis variables que miden el impacto de nuevos agentes y recursos 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.



c.2 Desarrollo de una red de comunicaciones propias y una plataforma de gestión integrada: El despliegue de dispositivos *IoT* permitirá la completa interconexión de los activos de distribución eléctrica. Su combinación con tecnologías como la *AI* y el *Big Data* permitirá la constante monitorización de la red a través de *KPI* como el *MTBF*, factor clave para asegurar la operatividad y sostenibilidad de las instalaciones. Además, la gestión integrada de la red mediante el *Cloud Computing* logrará una mejor coordinación entre las áreas de *O&M* para mejorar la eficiencia y sostenibilidad.

c.3 Monitorización de la red de BT: Gracias a la utilización de contadores telegestionados y la sensorización de la red, se conseguirá disponer de información a tiempo real que mejorará la calidad de servicio gracias a la detección, localización y adaptación autónomas de paradas y eventos anómalos en la red.

c.4 Mantenimiento predictivo: En el plano del mantenimiento, la combinación de tecnologías como el *Big Data*, la *AI* y el *IoT* permitirá mejorar la gestión de los activos a través del mantenimiento predictivo. Los distribuidores necesitarán una estrategia de mantenimiento predictivo para tener éxito, asignando los recursos basándose en la evaluación del estado y la criticidad del equipo. Un estudio de *Mckinsey*³⁴ sugiere que una estrategia de mantenimiento digital en determinadas industrias puede aumentar la disponibilidad de activos en un 5 a 15 por ciento, y reducir los costes de mantenimiento en un 18 a 25 por ciento.

c.5 Desarrollo de una actividad de planificación dinámica, flexible y en tiempo real: La virtualización a través de gemelos digitales permitirá realizar simulaciones multiescenario donde se contempla la generación y almacenamiento distribuidos, así como la participación de los clientes. Estos modelos, combinados con la analítica, permitirán sistematizar, automatizar y simplificar los procesos de toma de decisiones

³⁴ *Mckinsey*, 'Digitally enabled reliability: Beyond predictive maintenance', 2018.



en las actividades de planificación. Su combinación con tecnologías como el *IoT* o el *ML* permitirá conocer en todo momento el estado de estos y su confiabilidad en términos de servicio, ofreciendo así una planificación de producción óptima y una toma de decisiones ágil, segura y precisa.

c.6 Automatización y optimización del análisis de contingencias y la respuesta ante incidentes: La *AI* y el *Big Data* mejorarán notablemente el análisis de contingencias, pues se logrará la transición de la red de BT hacia una red operable y una operación de las redes de MT y AT mucho más autónoma, a través de sistemas autónomos de toma de decisiones, reduciéndose notoriamente el tiempo de reposición ante incidencias.

c.7 Desarrollo de métodos de control y monitorización de las actividades en tala y poda: El empleo de gemelos digitales para la virtualización de la red eléctrica y el empleo de sistemas *UAV*, *LIDAR* e imagen satelital permitirá el desarrollo de métodos de control de la vegetación que rodea las instalaciones. Se podrá así hacer una constante monitorización de ésta para evitar posibles situaciones de riesgo. El empleo de la *AI* constituirá también un facilitador en la elaboración de modelos de predicción de crecimiento de las masas de vegetación.

c.8 Productividad y sostenibilidad laboral - *Digital field-force*: Los trabajadores de campo dependen en gran medida de la coordinación de los procesos, ya que trabajan en zonas remotas y en condiciones que cambian constantemente. Como resultado, el trabajo útil desempeñado en la jornada laboral se corresponde con un porcentaje medio-bajo en relación con la duración de esta. La digitalización permitirá incrementar esa productividad de manera espectacular. Además, supondrá el desarrollo de las operaciones en un entorno sin fallos y en unas condiciones de operación seguras. El uso de tecnologías como las *apps* móviles, la geolocalización, las tecnologías inmersivas y las tecnologías de inspección son ejemplos de como la digitalización ayudará a la consecución de una fuerza laboral digitalizada que asegure la sostenibilidad y seguridad de los trabajadores.



d. Retos en el ecosistema eléctrico

d.1 Desarrollo de la ciber-resiliencia sistémica mediante la colaboración total del ecosistema: Aunque ya se trata de un ecosistema muy interdependiente, las tecnologías digitales han amplificado el nivel de interconexión e introducido una dimensión adicional de riesgo en el ecosistema eléctrico. El aumento de la conectividad de la red eléctrica, la convergencia entre la *OT* y la *IT*, el despliegue de dispositivos *IoT* y la digitalización de los modelos de negocio están ampliando el entorno cibernético del que los agentes maliciosos se aprovechan. Además, el aumento de la penetración de los *DER* provoca la aparición de una nueva amenaza: los *Demand-Side Attacks*. Todos estos hechos plantean necesaria la colaboración de todos los agentes involucrados en el ecosistema eléctrico para alcanzar la ciber-resiliencia del mismo.

d.2 Elaboración de un nuevo marco regulatorio adaptado a las exigencias de la digitalización: Se plantea necesaria la realización de un esfuerzo político-regulatorio con la participación de todos los agentes involucrados en el ecosistema eléctrico para la elaboración de un nuevo marco regulatorio que haga que la digitalización del sector eléctrico sea posible, segura y sostenible.

Como se adelantaba anteriormente, en la siguiente página se recogen en una tabla todos los retos presentados. En el resto del trabajo se tratará de explicar las tecnologías clave para la digitalización del sector que se han ido introduciendo a lo largo del mismo, y de analizar como estas pueden integrarse en los retos identificados del sector en materia de digitalización. No obstante, aunque estas tecnologías también son relevantes para responder a los retos tipo a y tipo b, su potencial es de especial aplicación en los otros dos. Es por ello por lo que en el resto del trabajo se va a centrar principalmente en estos últimos.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL CONTEXTO DIGITAL

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>
	a.5 Desarrollo de capacidades de analítica avanzada e integración de estas en la gestión de RRHH
b. Relación con el cliente	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
	b.4 Desarrollo de nuevos canales y experiencias de atención al cliente
c. Procesos y gestión de activos	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 4. Retos identificados en materia de digitalización en el sector de la distribución eléctrica



Capítulo 4. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

En este capítulo se presentan las tecnologías clave para la digitalización del sector de la distribución eléctrica para, posteriormente en el Capítulo 5. , ver la integración de estas tecnologías en los retos fundamentales de la gestión de activos y procesos del sector. Al tratarse de conceptos muy amplios, se presentarán sus características principales con el fin de introducirlos a un nivel en el que se puedan comprender sus principios de funcionamiento y su potencial transformador en las industrias.

4.1 CONECTIVIDAD: *IoT* Y *5G*

La industria 4.0 implica una revolución en la que se combinan las técnicas existentes de operación y producción con nuevas tecnologías digitales para lograr la completa integración de las organizaciones, las personas, los activos y los procesos. En la consecución de esa integración completa de la cadena de valor de las empresas, surge el concepto de conectividad. Los nuevos activos inteligentes deben ser capaces de estar interconectados entre sí y comunicarse en tiempo real para lograr una verdadera integración de los procesos y activos de las empresas. Para ello, dos tecnologías se presentan necesarias: el *IoT* y el *5G*.

4.1.1 EL INTERNET DE LAS COSAS (*IoT*)

El *IoT*, según lo define *Gartner*, es la ‘red de objetos físicos que contienen tecnología incorporada para comunicarse y sentir o interactuar con sus estados internos o el entorno externo’³⁵. De manera más gráfica, se puede utilizar como analogía el cuerpo humano para entender el verdadero alcance de esta tecnología (ver Figura 29³⁶). Además, dentro del entorno *IoT* se distinguen dos dimensiones³⁷ (ver Figura 30).

³⁵ Glosario *Gartner*, ‘*IoT*’.

³⁶ Documentos de la universidad, ‘*IIoT and Cloud Communications: Introduction*’, 2019.

³⁷ *PwC*, ‘*Internet of Things*’, 2018.

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

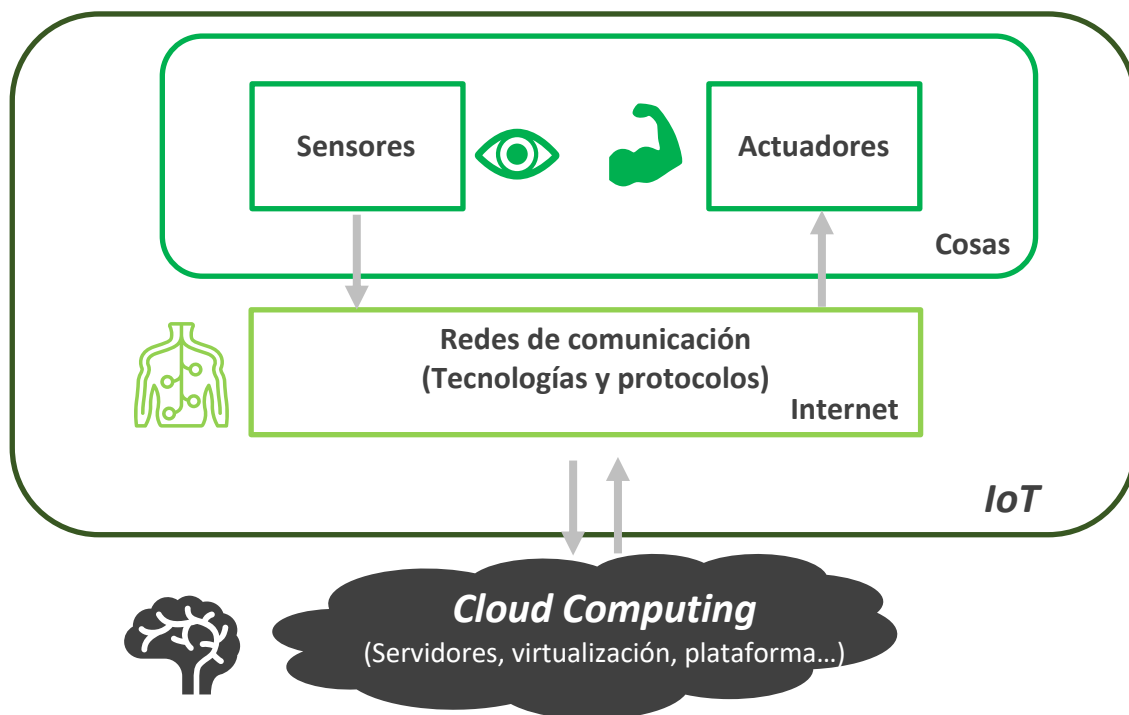


Figura 29. Entorno IoT- Analogía con el cuerpo humano

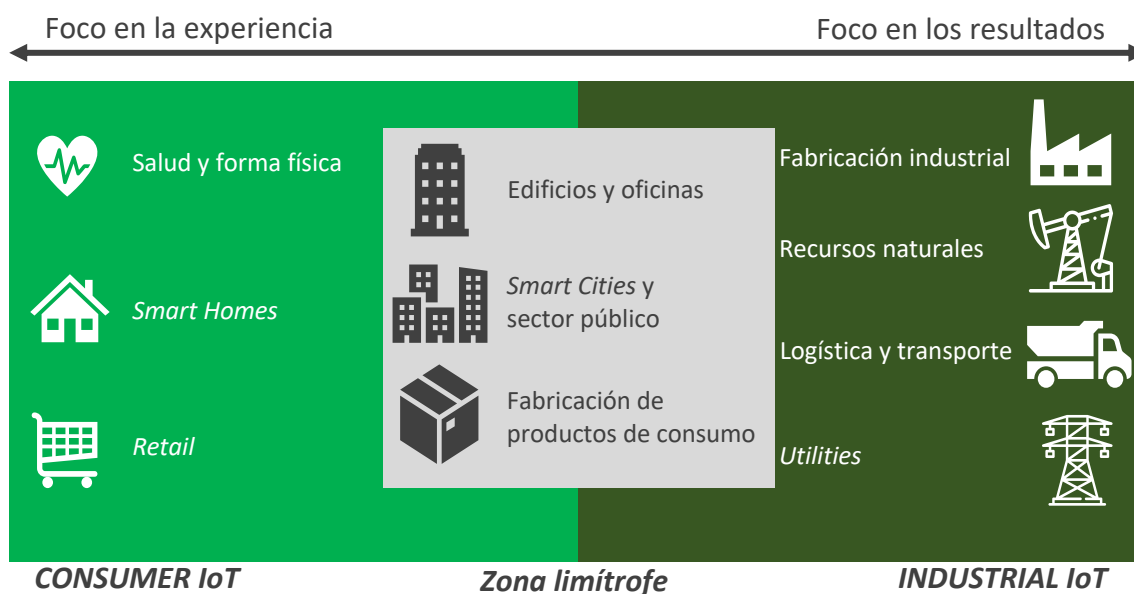


Figura 30. Dimensiones del IoT

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

Una de las características más importantes que tiene esta tecnología es la escalabilidad que ofrece a las empresas. El bajo coste, y cada vez menor, de las plataformas de *hardware* es una de las razones que hace que la adopción del *IoT* sea una de las prioridades de las empresas de todos los sectores en materia de digitalización, como indica el estudio del CIC analizado en la sección 3.1 (ver Figura 17 y 18).

Por otro lado, el *IoT* presenta una increíble versatilidad a la hora de interconectar activos en los lugares más remotos. Gracias a la amplia gama de desarrolladores de plataformas de hardware, como *Arduino*, *Raspberry Pi* o *Particle*, entre otros, se hace posible el empleo de una gran variedad de tecnologías de comunicación (ver Figura 31). Así, la posibilidad de combinar tecnologías ya conocidas como el *Bluetooth*, el *Wi-Fi*, el 4G o el protocolo 802.15 con nuevas tecnologías de comunicación como las *Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN)*, entre las que destacan el *NBIoT*, el *LTE-M*, el *LoRa* o el *SigFox*³⁸, facilita enormemente la tarea de la interconexión de esos activos que hasta ahora planteaban un reto.

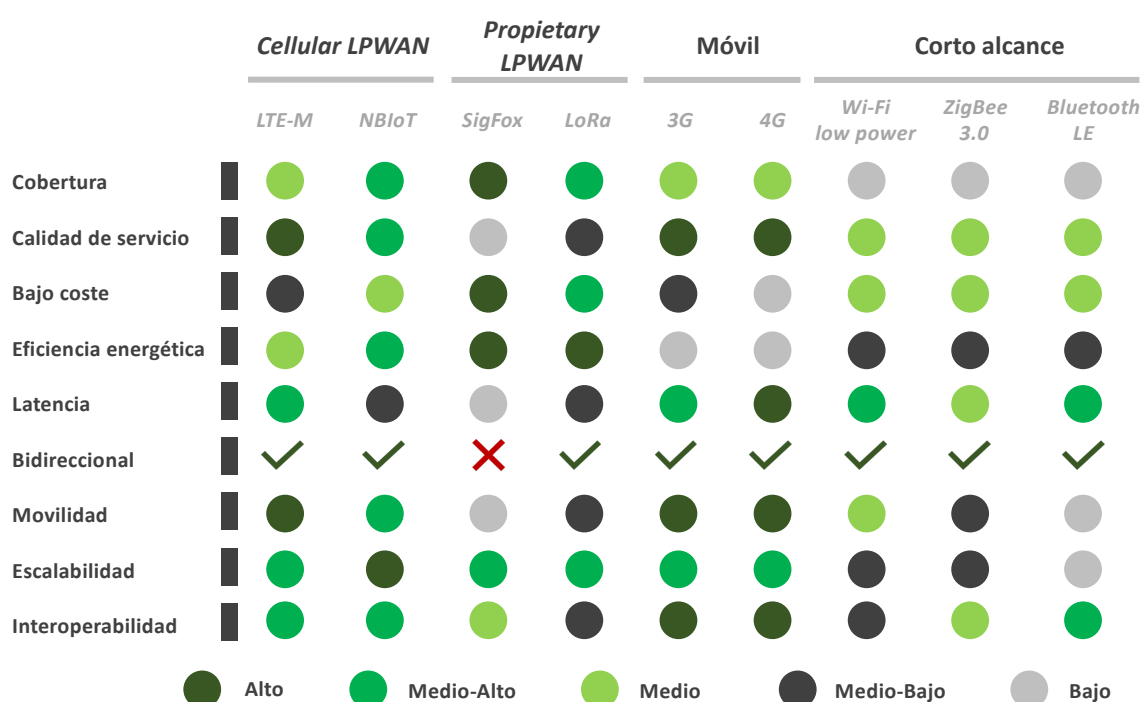


Figura 31. Benchmark de las principales tecnologías de comunicación inalámbrica del entorno IoT

³⁸ NB IoT (del inglés, *Narrowband IoT*), LTE-M (del inglés, *Long Term Evolution for Machines*), LoRa (del inglés, *Long Range*)



En resumen, el *IoT* es una tecnología que, gracias a la gran versatilidad y escalabilidad que ofrece, permite a las empresas transformar sus activos en activos inteligentes interconectándolos entre sí para lograr una completa integración de los procesos y una mejora sustancial en la eficiencia de las operaciones.

4.1.2 5G

Cuando se habla de 5G, uno fácilmente puede caer en el error de considerar esta tecnología como un paso más en la evolución natural de las generaciones de red móvil (ver Figura 32). No obstante, es mucho más que eso.

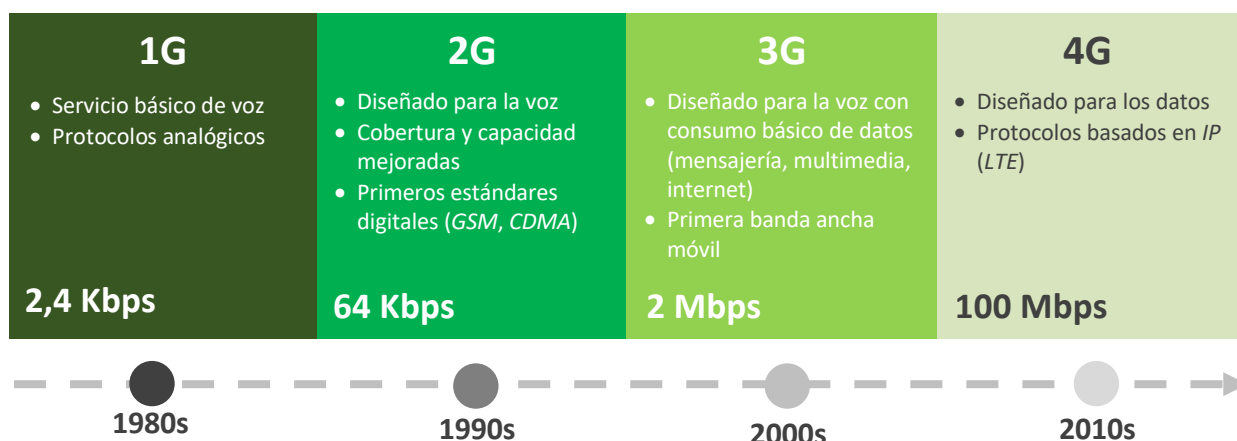


Figura 32. Evolución de las generaciones de red móvil

La tecnología 5G es el facilitador que permitirá realmente el desarrollo de todo el potencial de la industria 4.0. Para ello, esta tecnología se apoya en 5 pilares³⁹:

- Nuevo espectro de banda.
- m-MIMO y beamforming: La combinación del *beamforming*, que consiste en controlar la dirección de un frente de onda ponderando la magnitud y la fase de las señales de las antenas individuales en un conjunto de múltiples antenas, con el sistema *Massive Multiple Input Multiple Output (m-MIMO)*, que consiste en emplear simultáneamente un gran número de antenas en el emisor y el receptor, llevará a aumentar espectacularmente el volumen del tráfico de datos.

³⁹ Documentos de la Universidad; Presentación NOKIA: 'What is 5G and why it will change it all', 2020.



- Nueva interfaz de aire flexible: Esta nueva interfaz aérea basada en tres tecnologías⁴⁰, la *Filtered - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (F-OFDM)*, la *Sparse Code Multiple Access (SCMA)* y la *Polar Code*, facilitará el despliegue de escenarios personalizados aplicados al entorno *IoT* y de escenarios de gran consumo de ancho de banda como la *VR*. La primera será la encargada de crear una base flexible para adaptarse a los distintos escenarios y soportar la transmisión asíncrona de diferentes usuarios. La segunda permitirá el empleo de más conexiones por enlace, mejorando así la conexión y la latencia. Por último, la tecnología *Polar Code* aumentará la fiabilidad a través de un nuevo sistema de codificación.
- Connectionless-mode communication: El empleo de este tipo de comunicación (*CL-mode*) facilitará el despliegue masivo de dispositivos *IoT*. En este tipo de comunicación, no es necesario que emisor y receptor establezcan una conexión lógica o física para intercambiar datos.
- Network slicing: Se trata de un pilar clave en el desarrollo del 5G, y supondrá un cambio radical respecto a las generaciones anteriores. Consiste en una arquitectura dinámica a través de la creación de una o más redes lógicas encima de una misma red física, basándose en conceptos como la virtualización, el *Cloud*, los *Software Defined Networks (SDN)* y la *Network Function Virtualization (NFV)*. Esta nueva arquitectura permitirá a los operadores de telefonía móvil crear redes virtuales específicas que atiendan a clientes y casos de uso particulares. La creación de múltiples capas mejorará sustancialmente la capacidad de las redes, pues el tráfico se distribuirá entre las distintas capas. La Figura 33 muestra una representación de la configuración de esta novedosa arquitectura⁴¹.

⁴⁰ Huawei, '5G New Air Interface and Radio Access Virtualization'.

⁴¹ ORDONEZ-LUCENA, J.; et al., 'Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges' en *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, Mayo 2017

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

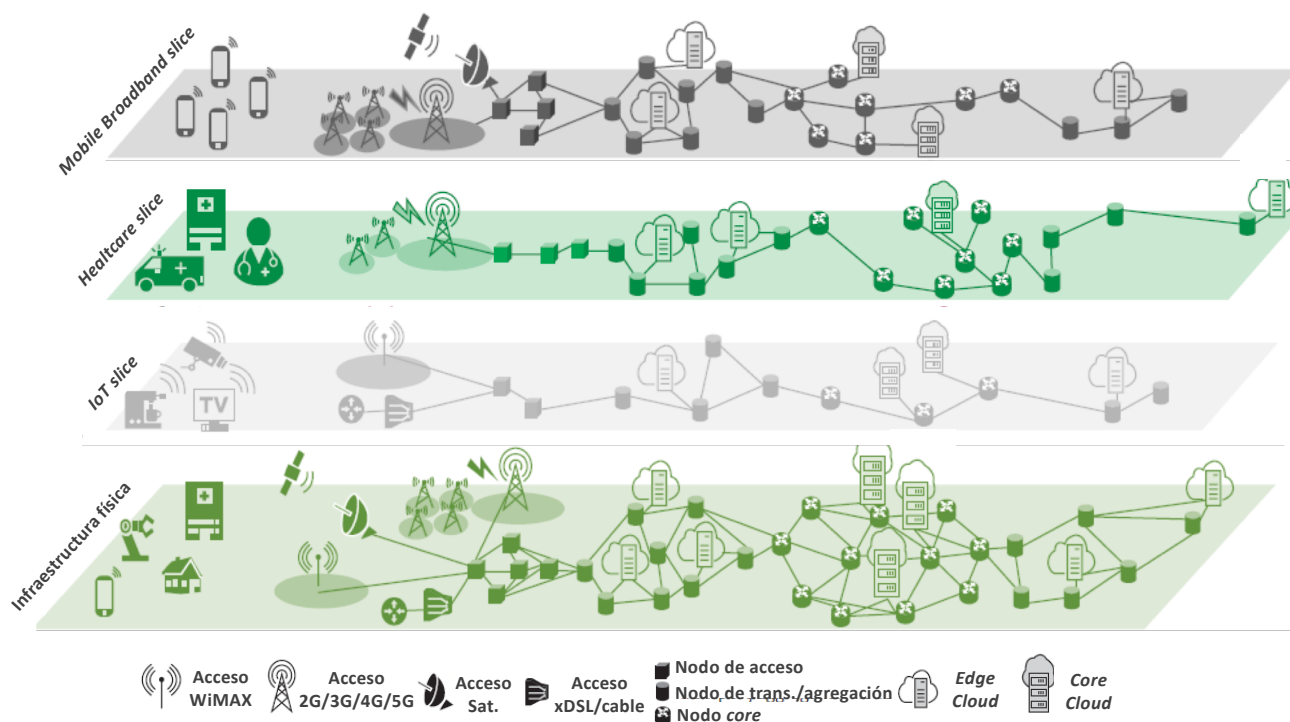


Figura 33. Ejemplo de una arquitectura basada en el network slicing

Gracias a estos 5 pilares, el 5G supondrá un salto enorme respecto a su generación predecesora en indicadores clave como los que muestra la Tabla 5. Pero estos indicadores no son aleatorios: el aumento de la velocidad será el necesario para impulsar el desarrollo de tecnologías como la *VR*, el espectacular descenso de la latencia permitirá convertir el vehículo autónomo en una realidad, y el gran aumento de la capacidad de la red facilitará el despliegue masivo de dispositivos *IoT*.

4G	Característica	5G
100 Mbps	Velocidad	1-10 Gbps (hacia abajo) 30 Mbps (hacia arriba)
>> 10 ms	Latencia	1-5 ms
10 M de personas	Capacidad	1 M de dispositivos/km ²
1	Nº de redes lógicas	Muchas (<i>slices</i>)

Tabla 5. Comparativa de indicadores clave entre el 5G y el 4G



En general, las aplicaciones del 5G se agrupan en tres campos distintos:

- *enhanced Mobile Broadband(eMBB)*: Aplicaciones que requieren gran ancho de banda y capacidad, como las aplicaciones de *AR/VR*, audio y vídeo en 8k, trenes digitalizados, etc.
- *Ultra-Reliable and Low Latency communications (UR-LLC)*: Aplicaciones que requieren una fiabilidad muy alta y una latencia baja, además de permitir la movilidad. Aquí encontramos ejemplos como los *UAV*, los coches autónomos, el *Smart Manufacturing* o aplicaciones críticas, como la cirugía en remoto.
- *massive Machine-Type Communications (mMTC)*: Aplicaciones incluidas en los entornos *IoT*, *Smart Homes*, *Smart Cities*, *wereables*, etc.

En resumen, la tecnología 5G se presenta como la facilitadora del desarrollo tecnológico en esta cuarta revolución industrial.

4.2 CLOUD COMPUTING

Cuando se realizaba una analogía con el cuerpo humano para explicar el *IoT* (Figura 29), se veía como éste comprendía los distintos sensores y actuadores del cuerpo, como los ojos o las extremidades, así como la red de comunicaciones comparable al sistema nervioso. Sin embargo, el alcance de este no recogía el cerebro, pues se trata de una función reservada para el *Cloud Computing*. Se habla, por tanto, de un controlador centralizado de la infraestructura virtual de una empresa y donde se integran todos los recursos de la misma.

Se distinguen tres tipos de *Cloud Computing* principalmente. En primer lugar, se distingue la nube pública. Las nubes públicas son propiedad de proveedores de servicios en la nube, como *Microsoft Azure* o *Amazon Web Services*, que las administran y ofrecen sus recursos informáticos a través de Internet. Con una nube pública, todo el *hardware*, *software* y demás componentes de la infraestructura subyacente son propiedad del proveedor de servicios en la nube, que también los administra. Seguidamente, se encuentra la nube privada. Una nube privada hace referencia a recursos informáticos en la nube que utiliza exclusivamente una empresa u organización. En ella, los servicios e infraestructura se mantienen en una red privada. La nube privada puede ubicarse físicamente en el centro de datos local de la



compañía, aunque algunas compañías también pagan a proveedores de servicios externos para alojar sus nubes privadas. Por último, se encuentra la nube híbrida. Ésta consiste en una combinación de las dos anteriores, que se encuentran enlazadas mediante tecnología que permite compartir datos y aplicaciones entre ellas.

Centrándose en la nube pública, y volviendo a la definición del *Cloud Computing*, éste consiste en el suministro de servicios informáticos (incluidos servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis de datos e inteligencia) a través de Internet, con el objetivo de ofrecer una innovación más rápida, recursos flexibles y economías de escala a las empresas. Esta tecnología supone un gran cambio respecto a la forma tradicional en la que las empresas veían y empleaban los recursos de *IT*. *Microsoft Azure*, uno de los principales proveedores de servicios en la nube, identifica 7 principales motivos por los que las organizaciones recurren a este servicio⁴²:

- Coste: Uno de los aspectos más populares de la nube y una de las principales razones para su adopción es que constituye una poderosa palanca para la reducción de los costes de las empresas: elimina el *CAPEX* necesario en adquisición de *hardware* y *software*, y en la inversión, operación y mantenimiento de los centros de datos, donde se requieren importantes desembolsos en infraestructura, expertos en *IT* y suministro eléctrico para alimentación y refrigeración.
- Velocidad: La mayoría de los servicios en la nube se proporcionan como autoservicio y *on-demand*, de forma que incluso cantidades enormes de recursos informáticos pueden suministrarse en cuestión de minutos, aportando a las empresas una gran flexibilidad.
- Escalabilidad: Es sin duda otra de las características más populares que ofrece la nube. Las empresas son capaces de obtener los recursos *IT* que necesitan en el momento necesario y desde cualquier lugar, haciendo que sus negocios sean completamente dinámicos y escalables.

⁴² *Microsoft Azure, 'What is Cloud Computing? A beginner's Guide'.*

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

- Productividad: El *Cloud Computing* ayuda a las empresas a centrarse exclusivamente en aquellas actividades que les aportan valor, pues se elimina la necesidad de muchas tareas relacionadas con la operación y el mantenimiento de los centros de datos.
- Rendimiento: Los servicios informáticos que aporta la nube se ejecutan en una red mundial de centros de datos seguros, donde se llevan a cabo de forma periódica actualizaciones de *hardware* para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los servicios, lo que aporta a las empresas una latencia más baja que la que se obtendría con un único centro de datos propio.
- Confiabilidad: El *Cloud Computing* facilita y abarata la creación de *back-ups*, la recuperación ante posibles ataques y la continuidad empresarial, ya que, a través de la replicación, los datos se reflejan en varios sitios redundantes de la red del proveedor de servicios en la nube.
- Seguridad: Muchos proveedores de servicios en la nube ofrecen un conjunto completo de directivas, tecnologías y controles que refuerzan la situación general de seguridad. Además, los servicios tipo *PaaS* y *SaaS*, que a continuación se presentan, tienen la ventaja de aprovecharse de la infraestructura de ciberseguridad del proveedor, siendo solo necesario el desarrollo de ésta por parte de la empresa en el caso de los servicios tipo *IaaS*.

De forma más general, los servicios que ofrece la nube a las empresas se agrupan en 3 grandes categorías:

- Infraestructura como servicio (*IaaS*): Se trata de la categoría más básica de todas. Con ella, las empresas alquilan infraestructura de *IT* como servidores, máquinas virtuales, almacenamiento, redes o sistemas operativos a un proveedor de servicios en la nube.
- Plataforma como servicio (*PaaS*): En este servicio en la nube, la empresa se encarga desplegar en la nube aplicaciones propias o adquiridas creadas con lenguajes de programación, bibliotecas, servicios y herramientas apoyadas por el proveedor. Consiste por tanto en el suministro de un entorno *on-demand* para desarrollar, probar, entregar y administrar aplicaciones de software. Está diseñado para facilitar a los desarrolladores la creación rápida de aplicaciones web o móviles, sin necesidad



de preocuparse por la configuración o administración de la infraestructura de servidores subyacente, el almacenamiento, la red y las bases de datos necesarias para el desarrollo. Un ejemplo de concreto e interesante de este tipo de servicio es el *IoT Hub* que ofrece *Microsoft Azure*, que consiste en un centro de mensajes para la comunicación bidireccional entre la aplicación de *IoT* de una empresa y los dispositivos que maneja.

- Software como servicio (SaaS): Este servicio consiste en un método de entrega *on-demand* de aplicaciones a través de Internet y, normalmente, con una suscripción. Con el *SaaS*, los proveedores de nube hospedan y administran las aplicaciones y la infraestructura subyacente, y se encargan del mantenimiento, como la aplicación de actualizaciones de software y revisiones de seguridad. Los usuarios se conectan a las aplicaciones a través de Internet.

La Figura 34 mostrada a continuación recoge una comparativa de los diferentes servicios en la nube en cuanto a división de responsabilidades entre proveedor y cliente⁴³.

<i>On premise</i>	<i>IaaS</i>	<i>PaaS</i>	<i>SaaS</i>
Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones	Aplicaciones
Datos	Datos	Datos	Datos
<i>Runtime</i>	<i>Runtime</i>	<i>Runtime</i>	<i>Runtime</i>
<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>
<i>O/S</i>	<i>O/S</i>	<i>O/S</i>	<i>O/S</i>
Virtualización	Virtualización	Virtualización	Virtualización
Servidores	Servidores	Servidores	Servidores
Almacenamiento	Almacenamiento	Almacenamiento	Almacenamiento
<i>Networking</i>	<i>Networking</i>	<i>Networking</i>	<i>Networking</i>
Tarea de la empresa		Tarea del vendedor	

Figura 34. Comparativa de los distintos tipos de servicio en la nube

⁴³ Documentos de la universidad, *IIoT and Cloud Communications: Introduction to Virtualization, Docker & Cloud*, 2019.



4.3 BIG DATA

El *Big Data* es un término que hace referencia al gran volumen de datos, tanto estructurados como no estructurados, que inundan los negocios cada día. Pero, ¿por qué la computación tradicional no vale y es necesario hablar del *Big Data* ahora?

La respuesta a esta pregunta se encuentra en lo que se denominan las 4 V's⁴⁴ y en el concepto de escalabilidad lineal:

- **Volumen:** En el Capítulo 1. se mencionaba la explosión de datos que se viene produciendo en los últimos años, impulsada entre otros factores por el cambio en los hábitos de los consumidores, el desarrollo de las TIC o la proliferación de la tecnología *IoT*. Hoy en día, las organizaciones recopilan datos de diversas fuentes, como transacciones comerciales, dispositivos *IoT*, equipos industriales, vídeos o redes sociales (ver Figura 35). En el pasado, su almacenamiento habría sido un problema, pero gracias al *Big Data* y a plataformas como *Hadoop*, de la que se hablará más adelante, el almacenamiento y procesamiento de estos datos se ha hecho más eficiente.

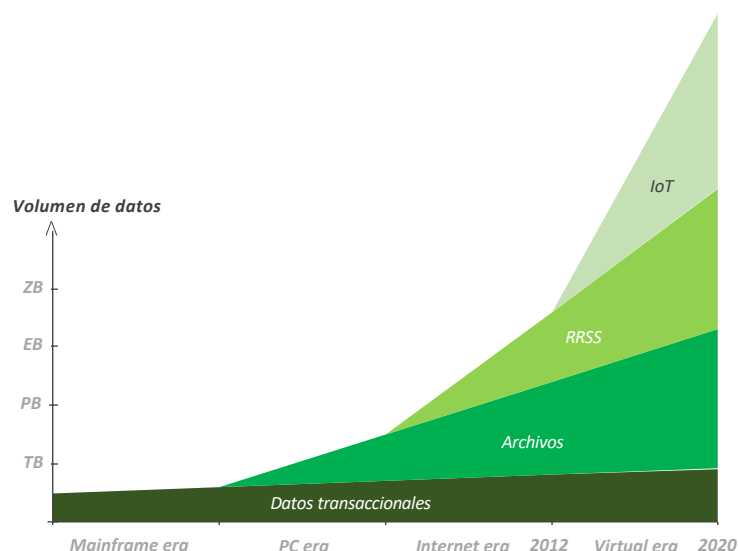


Figura 35. Evolución del volumen de generación de datos

⁴⁴ SAS, 'Big Data: What it is and why it matters?'

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

- Velocidad: Con el despliegue de dispositivos *IoT*, las etiquetas *RFID*, los sensores y los medidores inteligentes u otros equipos industriales, los datos llegan a las empresas a una velocidad sin precedentes, impulsando la necesidad de manejar estos datos en tiempo casi real.
- Variedad: Además, los datos se presentan en todo tipo de formatos: desde datos numéricos estructurados en bases de datos tradicionales hasta documentos de texto no estructurados, correos electrónicos, vídeos, audios, o transacciones financieras.
- Veracidad: Debido a que los datos provienen de tantas fuentes diferentes, es difícil vincular, comparar, limpiar y transformar los datos a través de los sistemas. Las empresas necesitan analizar las relaciones, jerarquías y los múltiples vínculos de datos. De lo contrario, sus datos pueden salirse de control rápidamente.
- Escalabilidad lineal: Con la computación tradicional, la relación capacidad computacional – coste tiene un perfil no lineal, haciendo que el incremento marginal del coste sea cada vez mayor. No obstante, el *Big Data* ofrece a una escalabilidad lineal en costes, haciendo que con una inversión relativamente baja se puedan afrontar nuevos retos y problemáticas que antes no se podían afrontar.

La combinación de estas características hace que sea necesario una nueva metodología del manejo de la información. Es aquí donde surge la novedosa arquitectura del *Big Data*, que consigue tratar y analizar grandes volúmenes de datos que no pueden ser gestionados de manera convencional, basándose en el almacenamiento y procesamiento distribuidos. Un sistema distribuido es un conjunto de equipos independientes que actúan de forma transparente como un único equipo de cara al usuario final, es decir, una gran cantidad de ordenadores pequeños que procesan paralelamente pequeñas porciones de información. Para lograr esto, este sistema se basa en el almacenamiento de los datos solo allí donde van a ser procesados y en la redundancia de los mismos, reduciendo así al máximo la comunicación y haciendo robusto el sistema ante el fallo de nodos respectivamente. Así, a través de esta descentralización del almacenamiento y del procesamiento, se consigue una mayor flexibilidad y rendimiento en el manejo de datos.

Anteriormente se mencionaba la plataforma *Hadoop*, una solución de *Big Data* basada en el Sistema de Archivos Distribuidos (en inglés, *Distributed File System - DFS*) explicado



anteriormente y nacida en el momento en que *Google* se veía incapaz de indexar la web al nivel que le exigía el mercado. Se trata de una colección de utilidades de *software open-source* que se utiliza para almacenar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos de una forma escalable. A continuación, se procede a explicar de forma breve los módulos y herramientas principales del ecosistema *Hadoop*⁴⁵, cuyo esquema general puede verse en la Figura 36.

i. **Módulos:**

- **Hadoop Common:** Colección de librerías y utilidades
- **Hadoop Yarn:** Marco de procesamiento distribuido responsable de la gestión de los recursos computacionales.
- **Hadoop DFS:** Sistema de archivos distribuidos.
- **Hadoop MapReduce:** Implementación del modelo *MapReduce*, que consiste en un modelo de programación paralelo y distribuido para procesar y generar conjuntos de *Big Data* en un grupo de nodos u ordenadores (*cluster*).

ii. **Herramientas y lenguajes:**

- **Lenguaje R:** Paquete estadístico que contiene infinidad de algoritmos estadísticos. Se añaden a partir de extensiones de librerías públicas.
- **Lenguaje Python:** Lenguaje orientado al manejo de datos.
- **Hive:** Interfaz basada en el *Structured Query Language (SQL)* para acceder a los archivos *HDFS*.
- **Hbase:** Base de datos distribuida para *Big Data*.
- **Sqoop:** Herramienta para leer bases de datos *SQL*.
- **Flume:** Herramienta para recolectar archivos de fuentes distintas y cargar los datos.
- **Kafka:** Herramienta para la manipulación en tiempo real de bases de datos.

⁴⁵ Documentos de la universidad, '*Big Data: Hadoop*', 2020.

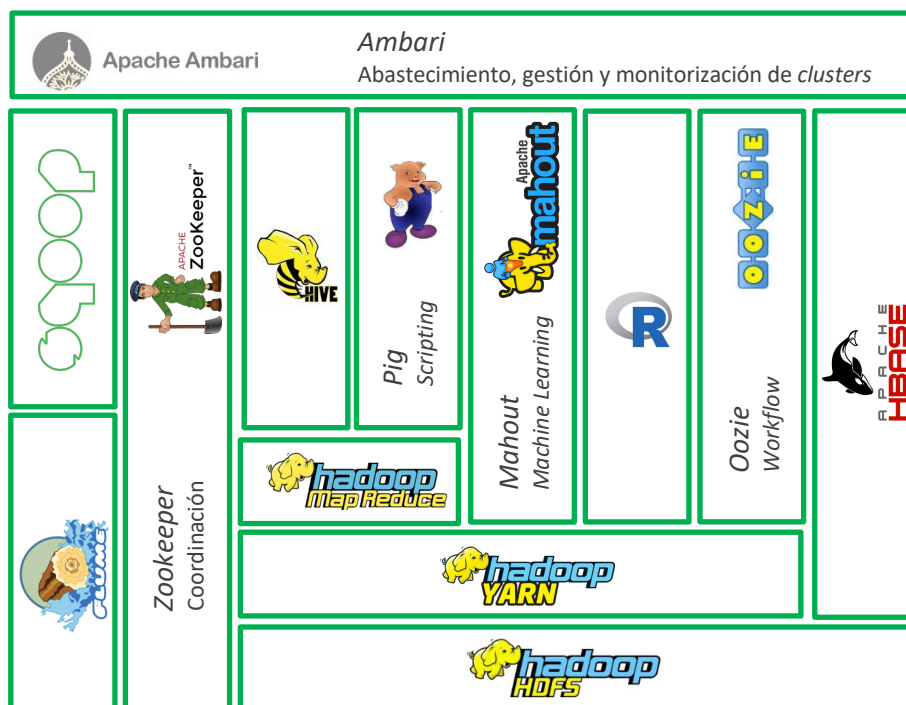


Figura 36. Ecosistema Apache Hadoop de Big Data

En resumen, la adopción del *Big Data* y la integración con plataformas como Apache Hadoop está transformando, según IBM⁴⁶, la economía y la dinámica de las empresas al dar soporte a nuevos procesos y arquitecturas que pueden ayudar a reducir costes, aumentar los ingresos y crear ventajas competitivas. Así, a través de esta tecnología, es posible acceder a una analítica más profunda, mayores conocimientos, nuevos productos y servicios, y mayores niveles de servicio.

⁴⁶ International Business Machines (IBM), 'Integración Big Data y Hadoop', 2014.



4.4 ANALÍTICA AVANZADA: MACHINE Y DEEP LEARNING

El *ML* y *DL* son técnicas de aprendizaje automático enfocadas a dotar a los sistemas computacionales de capacidades de aprendizaje de datos, identificación de patrones y toma de decisiones con una mínima intervención humana⁴⁷. Se trata campos incluidos en el concepto de la inteligencia artificial (ver Figura 37) y son los responsables de numerosos aspectos del día a día de las personas, como la recomendación de la siguiente serie que ver en *Netflix* o los anuncios personalizados que aparecen en las distintas redes sociales.

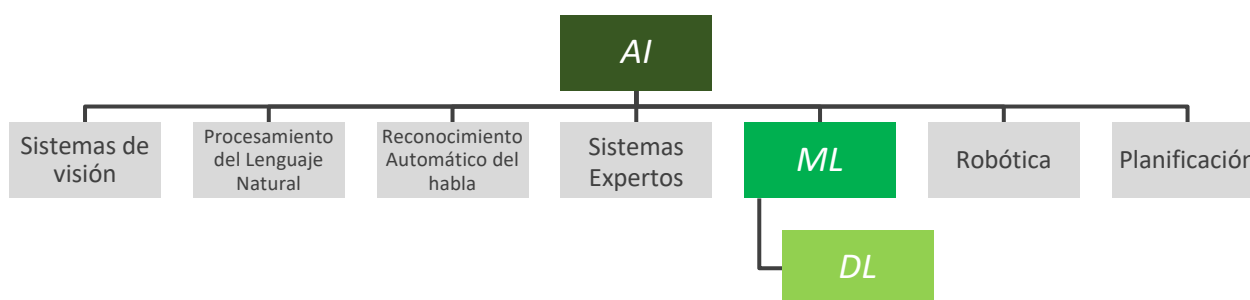


Figura 37. Esquema simplificado del ecosistema de la AI

No obstante, si la *AI* es un concepto ya conocido y nacido en los años 50 (ver Figura 38⁴⁸), ¿por qué se han vuelto tan populares estos términos en los últimos años? La respuesta a esta pregunta está ligada a la tecnología introducida en la sección anterior, el *Big Data*. La explosión de la información de los últimos años, combinada con las técnicas y algoritmos estadísticos ya conocidos, permite llevar la *AI* a un nuevo nivel. La gran cantidad y variedad de datos a los que se puede acceder actualmente permite un aprendizaje mucho más automático y preciso.

⁴⁷ SAS, 'Machine Learning: What it is and why it matters?'

⁴⁸ Nvidia, blogs.nvidia.com: 'What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning?'

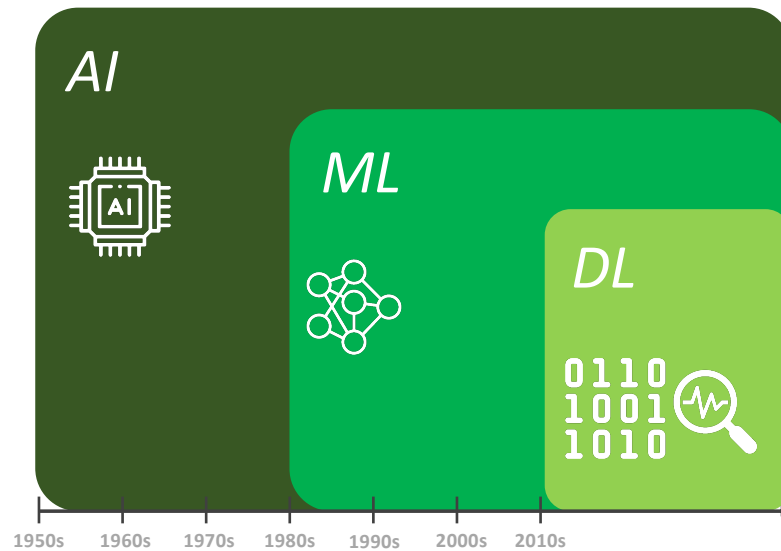


Figura 38. Cronología AI-ML-DL

En general, el proceso de aprendizaje automático se divide en tres etapas⁴⁹:

- Obtención y preparación de datos: Es la base de los modelos de aprendizaje. La calidad de éstos influye directamente en la calidad de la respuesta final del sistema. El objetivo de este paso la extracción de las características (variables en el lenguaje del aprendizaje automático) de los datos de entrada que sirven de *input* en la siguiente etapa.
- Abstracción o aprendizaje: Consiste en la traducción de los datos en representaciones y conceptos más amplios, asignando un significado a los datos mediante ecuaciones, diagramas, reglas lógicas o agrupaciones. Surge aquí el concepto de entrenamiento, que consiste en aplicar un modelo particular a un set de datos concreto.
- Generalización: El objetivo final de un modelo es poder generalizar a partir de un *input* finito de datos. Un sistema está generalizado cuando genera resultados correctos para casos que no están incluidos en el set de datos del entrenamiento. Medir y evaluar las capacidades de generalización es una tarea fundamental en cualquier modelo de aprendizaje automático.

⁴⁹ Documentos de la universidad, '*Machine Learning: Introduction*', 2019.



A su vez, en el *ML* se distinguen principalmente tres tipos de aprendizaje automático (ver Figura 39):

- Aprendizaje Supervisado: En este tipo de aprendizaje la fase de entrenamiento se realiza con datos etiquetados, por ejemplo, fotos con descripciones de las cosas que aparecen en ellas. Es decir, el *input* del entrenamiento se acompaña del *output* que se espera obtener. Tras la generalización, el algoritmo desarrollado es capaz de seleccionar esas etiquetas en otros sets de datos. Se emplea en aplicaciones de regresión, clasificación o predicción aplicadas a campos en las que los datos históricos predicen probables eventos futuros, por ejemplo, la previsión del tiempo o aspectos de tipo demográfico.
- Aprendizaje No Supervisado: El objetivo es encontrar patrones y regularidades en los datos de entrada. Los algoritmos no están programados para detectar un tipo específico de datos, sino para buscar ejemplos que sean similares y puedan ser agrupados. Es una técnica que funciona bien con datos transaccionales, por ejemplo, identificar segmentos de clientes para desarrollar campañas de *marketing* personalizadas. Entre las aplicaciones incluidas en este tipo de aprendizaje destacan el *clustering* o la reducción de la dimensionalidad.
- Aprendizaje Por Refuerzo: En el aprendizaje por refuerzo, la máquina es un agente de toma de decisiones, que realiza acciones en un entorno y que recibe recompensas o penalizaciones por sus acciones al tratar de resolver un problema. Se trata de una técnica basada en la prueba y el error con amplias aplicaciones en robótica, por ejemplo.

Existen adicionalmente otros dos tipos de aprendizaje, el semisupervisado y el evolutivo. No obstante, no están tan extendidos como los que se han explicado.

El *DL* consiste en la evolución natural del *ML*. La principal diferencia entre ambos es que el primero extrae automáticamente las características que necesita utilizar en la fase de abstracción del modelo, mientras que en *ML* tradicional este paso es manual como se explicó anteriormente. Un ejemplo ilustrativo de la diferencia entre ambos puede observarse en la Figura 40.

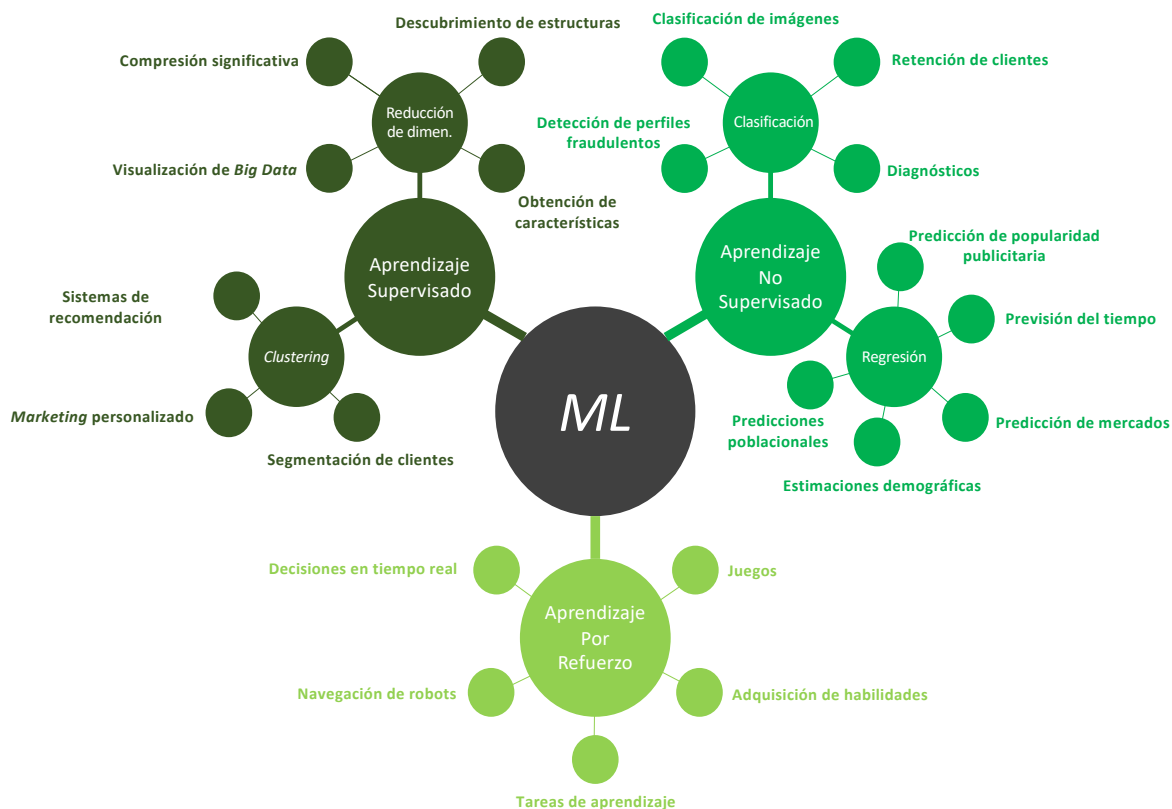


Figura 39. Tipos de aprendizaje automático y algunas aplicaciones⁵⁰

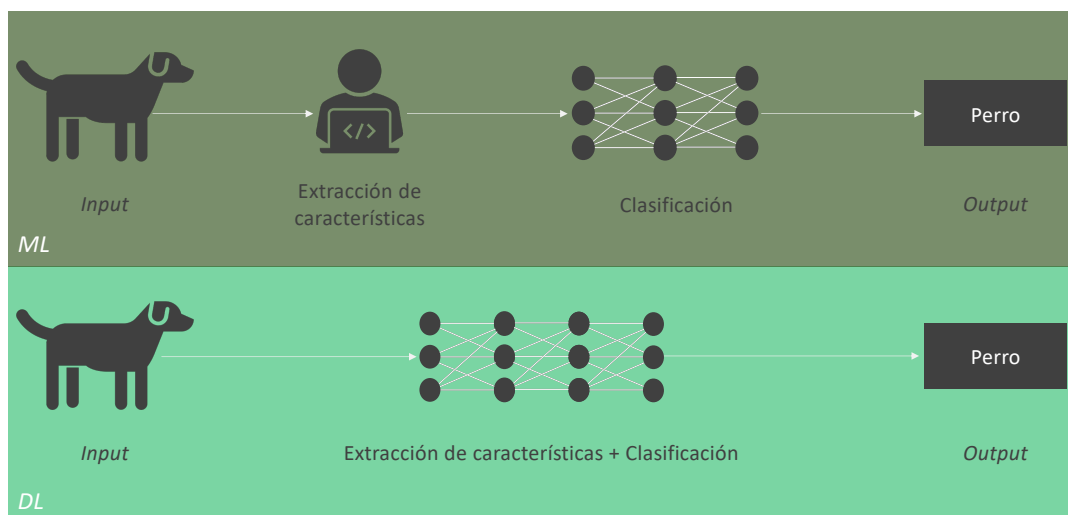


Figura 40. Comparativa ML-DL con un ejemplo básico de clasificación con red neuronal

⁵⁰ Imagen de Armando Arroyo Geekstyle, a través de los documentos de la universidad: 'IIoT & Cloud Communications: Cloud Computing Overview', 2019.



4.5 BLOCKCHAIN

Literalmente, *blockchain* significa cadena de bloques, pues consiste en la simple concatenación de bloques en un orden cronológico. Se trata de una tecnología nacida en 2008 como un libro de contabilidad de las transacciones con la criptomoneda *Bitcoin*⁵¹ y cuyas infinitas aplicaciones no son tan triviales como su nombre indica. Funcionalmente, y parafraseando a *Don y Alex Tapscott*⁵², el *blockchain* consiste en un libro de contabilidad distribuido y descentralizado (en inglés, *Distributed Ledger Technology – DLT*), guardado, mantenido y actualizado por cada nodo – ordenador – de la red, y basado en un sistema *Peer-to-Peer (P2P)* donde ninguna autoridad central gestiona el flujo de transacciones.

Atendiendo solo a la definición de *blockchain*, ya surgen algunos conceptos que necesitan explicación. Pero, antes de entrar en detalles, en la Figura 41 se propone un ejemplo del funcionamiento para entender el concepto mejor:

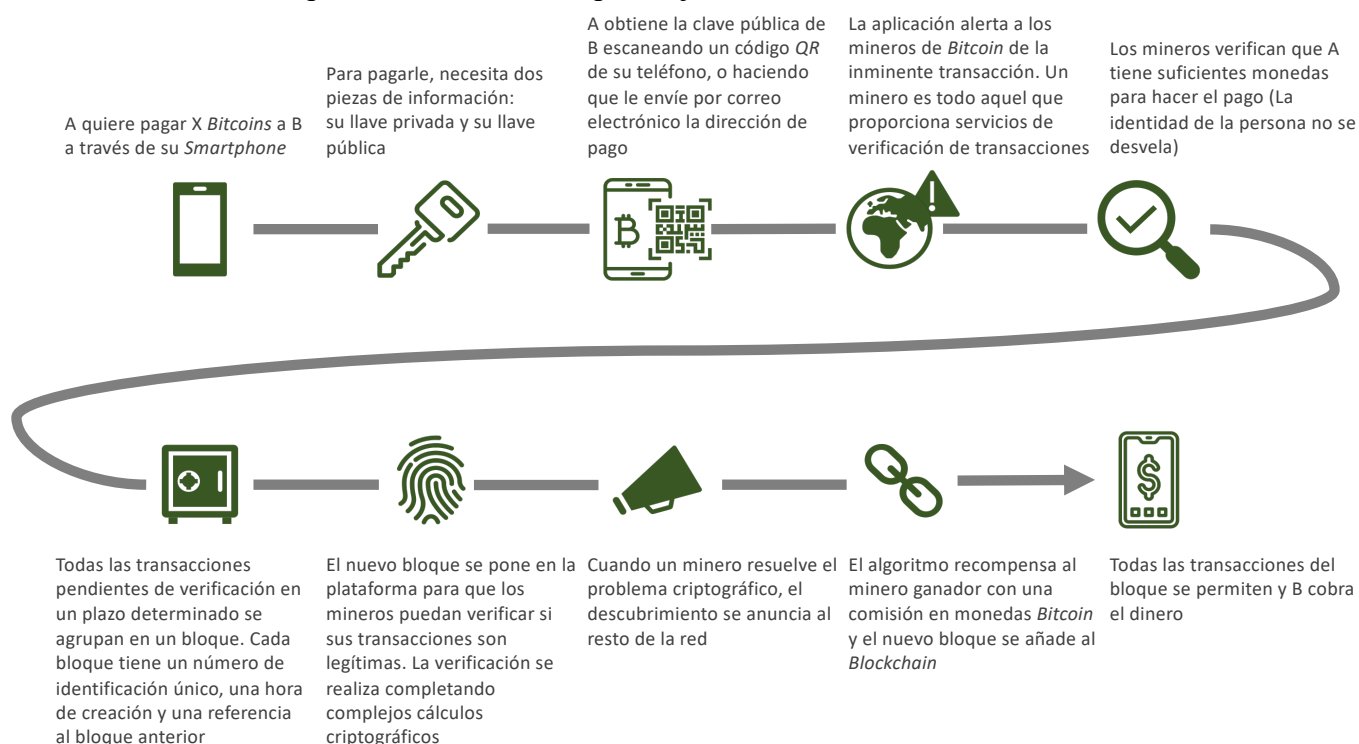


Figura 41. Ejemplo simplificado del funcionamiento de una transacción con Bitcoins

⁵¹ NAKAMOTO, SATOSHI; 'A Peer-to-Peer Electronic Cash System', 2008.

⁵² TAPSCOTT, DON & TAPSCOTT, ALEX; 'Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world', 2016.



Vayamos por partes. ¿Qué es una llave? En un proceso de cifrado se distinguen dos elementos principalmente, el algoritmo de cifrado y la llave. Así, mientras que el primero es el encargado de cifrar/descifrar un mensaje entre transmisor (Tx) y receptor (Rx) el segundo es el que habilita al primero su tarea. Se distinguen principalmente dos mecanismos de criptografía⁵³, la simétrica y la asimétrica. En el primero, el Tx envía la llave al Rx para poder descifrar el mensaje. En los sistemas de cifrado simétrico los esfuerzos de seguridad se centran en asegurar la transmisión segura de la llave. En el segundo mecanismo, cada usuario tiene una llave pública y una privada (esta se mantiene secreta), y lo que cifra una es descifrado por la otra, y viceversa. Así, el Tx envía públicamente el mensaje cifrado empleando la llave pública de Rx , que solo podrá ser descifrado por el usuario con la llave privada correspondiente. Este sistema es el que implementa *WhatsApp*, por ejemplo.

¿Y qué es un bloque? Los bloques son los elementos básicos en donde se almacenan y procesan lotes de transacciones y que, según la aplicación para la que se vaya a emplear la tecnología, están compuestos de unos elementos u otros. La Figura 42 muestra la arquitectura de una cadena de bloques empleado en operaciones de transacción de monedas *Bitcoin*.

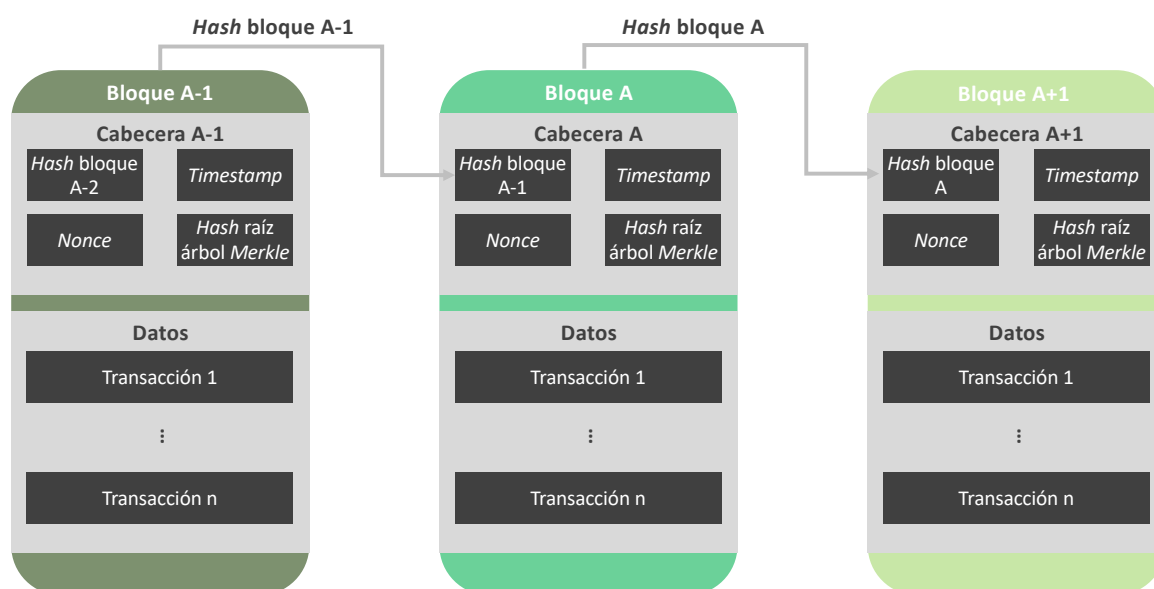


Figura 42. Estructura básica de una cadena de bloques

⁵³ Documentos de la universidad, 'Cybersecurity: Cryptography & Digital Signature Basics', 2020.



Como puede observarse, se distinguen principalmente dos módulos⁵⁴, la cabecera y los datos de las transacciones:

- **Cabecera:** Es el módulo del bloque que contiene información relacionada con la identificación y posicionamiento del bloque. Está compuesto por:
 - **Hash del bloque anterior:** El *hash* es el resultado de aplicar el algoritmo *SHA-256*⁵⁵ mediante una función *hash*, que se encarga de transformar una serie de datos en una cadena finita de caracteres, aparentemente aleatorio, pero de carácter único e irreversible. Puede considerarse como la matrícula de un bloque. Se trata de un elemento fundamental en la seguridad e integridad de esta tecnología, pues una modificación de los datos del bloque implicaría un cambio de *hash*, haciendo que este no coincida con el *hash* que el siguiente bloque tenía como referencia del bloque modificado. Obsérvese que el primer bloque de una cadena no tiene ninguna referencia al bloque anterior. A este bloque se le llama bloque génesis, y está escrito y minado por el creador de la cadena. En él se suelen definir algunos parámetros acerca del algoritmo a emplear para minar los bloques o el nivel de dificultad del problema criptográfico en caso de usar el mecanismo *Proof of Work (PoW)*, un sistema en el que los mineros compiten entre sí para ser los primeros en resolver el *hash* del bloque (los cálculos criptográficos mencionados en el ejemplo). Este sistema se explica más detalladamente más adelante.
 - **Nonce:** Se trata de un campo de 32 bits compuesto por ceros y que precede al *hash*. Cuantos más ceros contenga, más difícil será para los mineros descifrar el *hash*. Se emplea para garantizar que *hashes* antiguos no se empleen en los denominados ataques de repetición que, sin entrar en más detalle, son ataques que pueden poner en riesgo los fondos de los usuarios.
 - **Timestamp:** Representa el momento exacto en el que se minó el bloque y se añadió a la cadena.

⁵⁴ MORGAN E. PECK; 'BLOCKCHAINS. How They Work and Why They'll Change the World', 2017.

⁵⁵ Del inglés: *Secure Hash Algorithm 2*; función de 256 bits.



- **Hash raíz del árbol Merkle:** Garantiza que, si una transacción es manipulada, este *hash* cambie y, por consiguiente, cambie el *hash* del bloque.
- **Datos:** En este módulo se incluye la información que se quiere incluir en la cadena y que depende de la aplicación para la que se quiera usar el *blockchain*, como transacciones de criptomonedas en el caso del ejemplo propuesto, o *software* ejecutable – *Smart Contracts* – de los que se hablará más adelante.

En cuanto a los tipos de cadenas, se distinguen cadenas públicas y cadenas privadas. La diferencia radica en que solo en las primeras cualquiera puede tener acceso a la información, darse de alta como usuario o convertirse en un nodo. De manera natural y con la privacidad como estandarte surgieron las cadenas privadas, donde el administrador controla los accesos de los usuarios, que ya no son anónimos. Anteriormente, se mencionaba el sistema *PoW*. Éste consiste en uno de los distintos tipos de algoritmo de consenso empleados para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. El empleo de uno u otro es decisión de la plataforma *blockchain*, no obstante, el tipo de cadena limita el empleo de algunos sistemas de consenso. Entre ellos, los más empleados son⁵⁶:

- ***Proof of Work (PoW)*:** Como se ha visto, consiste en lanzar los bloques para hacer que los mineros compitan entre sí para ser los primeros en resolver el *hash* del bloque. Cuanto más difícil sea el *hash*, más capacidad computacional requerirán los mineros para resolver los cálculos criptográficos. Se trata del sistema más empleado en cadenas públicas.
- ***Proof of Stake (PoS)*:** En este caso, ya no se habla de mineros sino de validadores. El encargado de colocar y validar el bloque ya no es el que resuelva los cálculos antes, si no que se elige de forma cuasi-aleatoria entre los validadores disponibles, pues cuantas más criptomonedas posean en sus fondos más probabilidades tendrán de ser seleccionados. Los validadores seleccionados reciben una comisión de cada transacción validada. Derivados de este mecanismo, y también muy extendidos, se encuentran el *Delegated Proof of Stake (DPoS)* y el *Leased Proof of Stake (LPoS)*.

⁵⁶ 101 Blockchains, 'Algoritmos de consenso: la raíz de la tecnología blockchain', visto en: <https://101blockchains.com/es/algoritmos-de-consenso-blockchain/>, 2018.



- *Proof of Authority (PoA)*: Se trata de un algoritmo muy empleado en cadenas privadas. En este sistema, los validadores son nodos perfectamente identificados que emplean sus credenciales de validación como garantía, recibiendo una grave penalización en caso de error. La validación de bloques se realiza por turnos entre los validadores.
- *Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)*: Este algoritmo de consenso requiere que todos los nodos estén identificados y se basa en la confianza previa entre los participantes de la red. Se trata de un algoritmo seguro y muy eficiente en donde, sin entrar en detalles, la decisión se toma tras una votación entre todos los nodos y donde se requiere un alto porcentaje de consenso. Un derivado de este sistema es el *Istanbul Byzantine Fault Tolerance (IBFT)*.

Otros algoritmos de consenso son, por ejemplo, el *Proof of Capacity (PoC)* o el *Proof of Elapsed Time (PoET)*.

Además de los usos en criptomonedas y en el sector financiero, el Consejo del *Blockchain*, autodefinido como un ‘grupo autorizado de expertos y entusiastas que están promoviendo la investigación, el desarrollo, los casos de uso y el conocimiento del *blockchain* para la creación de un mundo mejor’ define 10 casos de uso futuros de esta tecnología de especial interés⁵⁷ (ver Tabla 6).

Para finalizar, conviene introducir uno de los aspectos más novedosos y con mayor potencial del *blockchain*, los denominados contratos inteligentes (en inglés, *Smart Contracts*). Conocidos como la segunda generación del *blockchain*, consisten en programas de software que ejecutan procesos automáticamente y que se sitúan junto a las transacciones tradicionales dentro de una cadena *blockchain*. Se trata de contratos escritos en lenguaje de programación (de hecho, ha traído consigo la creación de nuevos lenguajes aplicados a este tipo de contratos, como *Solidity*) donde su cumplimiento, por tanto, no está sujeto a la interpretación de ninguna de las partes: si el evento A sucede, entonces la consecuencia B se pone en marcha automáticamente. Este tipo de contratos permitirán desarrollar e

⁵⁷ Blockchain Council, ‘Top 10 promising blockchain use cases’, 2019.



implementar aplicaciones descentralizadas y reducir considerablemente los costes de transacción⁵⁸.

CASO DE USO/SECTOR	DESCRIPCIÓN
Gestión de la cadena de suministro	Verificación de la autenticidad de los bienes comprados y rastreo de productos con precisión a través de diferentes lugares y etapas de la cadena de suministro
Identidad digital	Desarrollo de un centro digital cifrado donde las personas controlen sus datos digitales y la forma en que se utilizan, así como los accesos a proveedores de servicios
Sistemas de voto	Eliminación del voto fraudulento y desarrollo de un sistema de votos telemático seguro
Fundraising	Implementación de los <i>STO</i> (<i>Security Token Offerings</i>), una evolución más madura y regulada de los <i>ICO</i> (<i>Initial Coin Offerings</i>)
Salud	Almacenamiento y gestión segura de registros de pacientes
Notario	Desarrollo de actividades de notarización en entornos libres de fraude
Alimentación	Trazabilidad de extremo a extremo para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro de alimentos
Propiedad intelectual	Desarrollo de una plataforma que gestione de manera clara y precisa la propiedad de activos de propiedad intelectual
Sector energético	Descentralización del mercado energético y compraventa de energía en tiempo real
Sector inmobiliario	Automatización de procesos e implementación de contratos inteligentes

Tabla 6. Algunos casos de uso futuros del blockchain

4.6 TECNOLOGÍA DE INSPECCIÓN: UAV, LIDAR E IMAGEN SATELITAL

Las tecnologías de inspección son aquellas que permiten realizar trabajos de reconocimiento del terreno sin la necesidad de que los empleados de campo tengan que hacer largos desplazamientos. Se trata de tecnologías muy útiles en aquellos sectores con activos muy distribuidos, donde la inspección de zonas remotas requiere de mucho tiempo de la fuerza laboral, además de representar un potencial peligro para ésta en aquellas zonas de difícil acceso o duras condiciones de operación. A continuación, se presentan tres tecnologías muy extendidas:

- UAV: Las primeras aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados fueron misiones de reconocimiento y ataque en el sector militar, distinguiéndose dos tipos

⁵⁸ Deloitte, 'Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity', 2016.



de *UAV*, los controlados remotamente y los de vuelo autónomo a partir de planes de vuelo programados. Con la aparición de los drones, el uso de este tipo de vehículos se ha extendido desde el sector militar al civil y al comercial. La versatilidad y bajo coste de éstos los hace especialmente útiles en cantidad de aplicaciones, que van desde la lucha y prevención contra incendios hasta labores de vigilancia de grandes infraestructuras industriales y de fronteras.

- LIDAR: El *LIDAR* consiste en un sensor activo (emite energía al ambiente, luz en este caso) empleado para medir distancias a superficies⁵⁹. Su funcionamiento se basa en la medición del tiempo que tarda en ir y volver un haz láser. El resultado de esta operación es la reconstrucción de un mapa 3D de la superficie a mapear. Nótese que el *LIDAR*, en sí, es únicamente un sensor. No obstante, su integración en vehículos tripulados o *UAVs* es completamente posible, lo que la convierte en una tecnología con gran variedad de aplicaciones. Entre ellas destacan el mapeo de masas de vegetación y la elaboración de modelos topográficos de suelos marinos y terrestres. Además, se trata de una tecnología de especial interés y relevancia en el sector de los vehículos autónomos.
- Imagen satelital: La imagen satelital de observación terrestre consiste en el empleo de satélites artificiales para observar la Tierra. Se dividen en dos tipos⁶⁰, según su órbita. En primer lugar, los Satélites de Órbita Baja (en inglés, *Low Earth Orbit – LEO*) se encuentran en el rango de 200-1200 km y se emplean fundamentalmente en aplicaciones de exploración de la superficie, como en la detección de incendios o en la observación de las masas de vegetación, entre otras. Por otro lado, se encuentran los Satélites de Órbita Geoestacionaria (en inglés, *Geosynchronous Equatorial Orbit – GEO*) que se encuentran a 35875 km y permanecen fijos, siendo de utilidad en aplicaciones meteorológicas.

⁵⁹ The National Ecological Observatory Network (NEON), ‘The basics of LiDAR’, visto en: <https://www.neonscience.org/lidar-basics>, 2014.

⁶⁰ Wikipedia, ‘Imagen Satelital’, visto en: https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_satelital, última edición en 2020.



4.7 TECNOLOGÍA INMERSIVA: AR, VR Y GEMELO DIGITAL

La tecnología inmersiva es aquella que intenta simular o extender el mundo físico a través del mundo digital. Para ello, se distinguen dos métodos principalmente: las tecnologías que extienden la realidad superponiendo imágenes virtuales en el mundo físico – como la *AR* – y las tecnologías que crean una nueva realidad virtual aislando al usuario completamente del mundo físico y sumergiéndolo en el mundo digital – donde se incluye la *VR*. Es importante señalar que el gemelo digital no está considerado como una tecnología inmersiva, sin embargo, a efectos prácticos, en este trabajo se incluye en esta sección.

- **AR:** Como se ha explicado, pertenece al primer grupo de tecnologías inmersivas. Se basa en el empleo de un dispositivo, normalmente un *smartphone*, una *tablet* o una lente (lentillas o gafas inteligentes), combinado con un sistema de visualización para mostrar al usuario las imágenes virtuales superpuestas en el entorno físico. Los elementos básicos incluidos en los dispositivos son una cámara, un procesador, un programa de *software*, una pantalla y un activador. Se distinguen principalmente 4 niveles para clasificar las distintas aplicaciones de la *AR*⁶¹, en función del elemento activador que inicia la experiencia:
 - **Nivel 0:** Empleando hipervínculos con el mundo físico, por ejemplo, un código *QR*.
 - **Nivel 1:** Empleando los denominados marcadores, que consisten en imágenes en blanco y negro que al ser escaneados por la cámara aparecen objetos en 3D superpuestos en el marcador.
 - **Nivel 2:** En este caso los activadores pueden ser objetos o ubicaciones del mundo real.
 - **Nivel 3:** El nivel conocido como visión aumentada, con el que se consiguen experiencias donde el mundo físico y el virtual se fusionan de manera muy natural. Un ejemplo muy conocido incluido en este nivel son las *Google Glasses*.

⁶¹ LENS-FITZGERALD, M.; 'Augmented Reality Hype Cycle', 2009.



Entre las aplicaciones destacadas de esta tecnología encontramos usos muy relevantes en el sector de la educación, de la salud, del turismo y del entretenimiento. No obstante, está empezando a penetrar en el mundo de la industria en el área de *O&M* a través de usos como la asistencia técnica remota, donde el operario puede mantener conversaciones por videoconferencia y proyectar planos, documentos o instrucciones, la inspección de equipos o la visión aumentada de las plantas de producción, donde mediante el empleo de gafas se pueden ver *KPIs* en tiempo real, entre otras muchas aplicaciones que están comenzando a proliferar (ver Figura 43⁶²).

- **VR:** Con esta tecnología, a diferencia de con la anterior, se consigue una experiencia 100% inmersiva recreando espacios tridimensional virtuales. Para la consecución de esa experiencia, es necesario el empleo de las denominadas gafas o casco de *VR*, que pueden combinarse con otros elementos como guantes o trajes especiales para lograr experiencias más reales. Al igual que el *AR*, también tiene amplios usos en los sectores de la educación, la medicina y del entretenimiento, y se está expandiendo por el mundo de la industria, sobretodo en el ámbito de la capacitación a través de la realización de simulaciones de operaciones arriesgadas en entornos completamente seguros.



Figura 43. Algunas aplicaciones de la AR y la VR en las actividades industriales

⁶² Documentos de la universidad, Presentación ABB: 'Writing the digital future takes ability', 2020.



- **Gemelo digital:** Un gemelo digital consiste en una réplica virtual de un producto o sistema real que, a través de la monitorización y simulación del comportamiento de su gemelo físico, es capaz de aportar grandes beneficios en términos de tiempo, riesgo y eficiencia. Se trata de una tecnología con un potencial transformador enorme que se está expandiendo rápidamente en el ecosistema industrial. Con la creación de gemelos digitales de plantas industriales, se pueden realizar simulaciones y ensayos de todo tipo, además de solucionar incidencias, proponer optimizaciones y predecir operaciones en tiempo real. Para ello, esta tecnología requiere de su combinación con otras tecnologías explicadas en este capítulo. En concreto, es necesaria una previa sensorización masiva de los activos y procesos a través de dispositivos *IoT* y el desarrollo y empleo de capacidades de *Big Data* y de *AI* y el uso del *Cloud Computing* para almacenar, gestionar, procesar y analizar el gran volumen de datos proveniente de los sensores en tiempo real.

Un análisis realizado por *Deloitte* (ver Tabla 7⁶³) resume las ventajas que puede aportar a las empresas la de adopción de esta tecnología.

CATEGORÍA	VALOR APORTADO
Calidad	• Mejora de la calidad en general • Predicción y detección de defectos de calidad • Control de desvíos de calidad
Costes de garantía y servicios posventa	• Comprensión de los equipos desplegados para ofrecer mejores servicios • Determinación proactiva y precisa de las reclamaciones para reducir los gastos en garantía y mejorar los servicios
Costes de operación	• Mejora en el diseño de producto • Mejora del rendimiento de los equipos • Reducción de la variabilidad de las operaciones y los procesos
Time & Cost-To-Market	• Reducción el tiempo de comercialización de un nuevo producto • Reducción el coste total para producir un nuevo producto • Mejora de la localización de los cuellos de botella y de la comprensión de su impacto en la cadena de suministro
Oportunidades de incrementar ingresos	• Identificación los productos en el mercado que están listos para ser actualizados

Tabla 7. Valor aportado por la adopción del gemelo digital

⁶³ *Deloitte, 'Industry 4.0 and the digital twin', 2017.*



Capítulo 5. IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS CLAVE EN LOS RETOS DEL SECTOR

En este capítulo se procede a analizar como las tecnologías introducidas en el Capítulo 4. pueden integrarse en los retos de los procesos y de la gestión de activos del sector de la distribución (retos tipo c) identificados en el Capítulo 3. Para ello, se realiza una breve introducción a cada reto y después se analiza el papel de las tecnologías relevantes en cada uno de ellos. Al final del capítulo se muestra, a modo de resumen, una matriz que indica el impacto y relevancia de cada tecnología en cada uno de los retos (ver Figura 44).

c.1 Optimización de las actividades de inversión

Las actividades de inversión hacen referencia tanto a los procesos de adquisición de nuevos activos para la renovación de los equipos como a las decisiones de inversión. En este primer reto, se consideran claves las siguientes tecnologías:

- Gemelo digital: El empleo de gemelos digitales posibilita el control de la calidad de los equipos a través de la monitorización en tiempo real de éstos. Esta tecnología ofrece la oportunidad de ver dentro de los activos y procesos y percibir cosas que no se están midiendo directamente, presentándose fundamental para identificar proactivamente cuando los equipos desplegados necesitan actualizarse o cuando los procesos tienen margen de mejora. Constituye por tanto una palanca en la optimización de los procesos de adquisición de nuevos activos, consiguiendo importantes reducciones de costes y tiempo a través de la virtualización.
- Tecnologías inmersivas: Al igual que el gemelo digital, estas tecnologías nos permiten ver dentro de los activos, dando una idea del estado y rendimiento de los equipos y haciendo más fácil las decisiones de actualización y sustitución de los mismos.
- Big Data y analítica avanzada: La computación a través del *Big Data* permite incorporar a los análisis y modelos de inversión variables que antes no podían considerarse de manera cuantitativa, como variables relacionadas con el impacto de



nuevos agentes y recursos en la red de distribución o variables que hacen referencia a aspectos relacionados con la seguridad del entorno, como los crecimientos de las masas de vegetación. Por otro lado, el empleo de la información histórica y de modelos de analítica avanzada permite mejorar estimaciones de los tiempos de tramitación administrativa para la actividad de construcción y de los costes de ésta. En resumen, la combinación de estas tecnologías permite reducir de manera considerable los riesgos en los procesos de nueva inversión.

- Tecnologías de inspección: El empleo de estas tecnologías es de especial interés en las labores de nueva inversión. Su uso permite conocer aspectos relacionados con las características del terreno sin necesidad de realizar visitas, reduciendo de forma relevante tiempo y trabajo administrativo.

c.2 Desarrollo de una red de comunicaciones propias y una plataforma de gestión integrada

Este reto se corresponde con la consecución de una interconexión completa y eficaz de todos los activos de distribución eléctrica, cuya naturaleza hace que se encuentren ampliamente distribuidos, y con la gestión integrada de los mismos para conseguir una mejor eficiencia de los procesos. Para ello, son fundamentales:

- IoT y 5G: El *IoT* constituye un paso más en la interconexión de los activos más remotos y en el desarrollo de una red de comunicaciones propia y en tiempo real. Para ello, el potencial de esta tecnología radica en la versatilidad y escalabilidad que se ha visto que ofrece a través de la combinación de una amplia gama de tecnologías de comunicación y medios físicos. Esta combinación va desde el empleo de la propia red eléctrica con los ya conocidos *PLC* hasta el empleo de la tecnología 5G en los activos más críticos para lograr latencias increíblemente bajas, pasando por el uso de las *LPWAN* para llegar a los activos más remotos y localizados en zonas más rurales que, además, minimizan las tareas de mantenimiento en estos sitios de difícil acceso gracias a su característica de bajo consumo. Para aprovechar de verdad esta tecnología y las oportunidades que ofrece, se hace necesario el desarrollo de un equipo de comunicación *router* enfocado en los servicios eléctricos.



- Cloud Computing: Con el *Cloud Computing* se consigue una gestión integrada de la red para lograr una mejor coordinación entre las áreas de *O&M* y para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las mismas. A través del *Cloud Computing* y de servicios tipo *PaaS* como el *IoT Hub* que ofrece *Microsoft Azure*, se consigue integrar de forma eficaz toda la información que proviene de los sensores *IoT* en tiempo real, facilitando así una monitorización constante de la red a través de *KPIs* claves en la gestión de la misma. Uno de ellos, el *MTBF*, está relacionado con el mantenimiento predictivo (reto c.4) y constituye un factor clave para asegurar la operatividad y disponibilidad de las instalaciones y equipos. Además, como se ha visto, el empleo de esta tecnología trae consigo otras importantes ventajas como una importante reducción de los costes, ventajas sustanciales en materia de seguridad y una mejor escalabilidad de los procesos y de la infraestructura virtual a medida que ésta aumenta.
- Big Data: Se trata de una tecnología fundamental para conseguir la integración de las dos anteriores. La gran cantidad de información procesada por los dispositivos *IoT* requiere del empleo del *Big Data* para poder procesar esa información en tiempo real.

c.3 Monitorización de la red de BT

Este reto hace referencia a la monitorización y teleoperación de la red de BT. Se trata de un reto que podría considerarse integrado en el anterior, pero que se separa por ser la red de BT una red considerada pasiva hasta ahora, y porque en ella es donde más dispositivos de interconexión son necesarios desplegar.

- Cloud Computing e IoT y 5G: Al igual que en el reto anterior, la amplia gama de tecnologías de comunicación permite dotar de inteligencia a los activos a través del *IoT*. Gracias a la utilización de contadores telegestionados y la sensorización de la red mediante estos dispositivos se consigue monitorizar en tiempo real esta red. Por otro lado, con el *Cloud Computing* se posibilita la gestión integrada de la red de BT.
- Gemelo digital y tecnologías de inspección: Este tipo de tecnologías permite aumentar el nivel de monitorización de esta red, además de constituir una ayuda extra en las labores de detección de eventos anómalos e inspección de los mismos. Un



ejemplo concreto es el empleo de los *UAVs* para confirmar las tareas de mantenimiento de activos desplegados, sin necesidad del desplazamiento de la fuerza laboral. De este tipo de aplicación se hablará más adelante en los retos c.7 y c.8.

- *Big Data* y analítica avanzada: El empleo combinado de estas tecnologías se convierte en fundamental para la detección, localización y respuesta autónomas de paradas y eventos anómalos en la red: mediante algoritmos de *ML* y *DL* se consiguen automatizar las respuestas ante estos eventos además de prevenir fallos mediante algoritmos de predicción.
- *Blockchain*: El empleo del *blockchain* puede permitir una vigilancia y un mantenimiento más eficientes de la infraestructura de la red de distribución. Si se detecta una anomalía, el mantenimiento puede facilitarse y pagarse inmediata y automáticamente por medio de *Smart Contracts*, lo que permite tiempos de respuesta más rápidos como se verá en el reto c.8.

c.4 *Mantenimiento predictivo*

Este reto se refiere a la integración del mantenimiento predictivo en la gestión de los activos de la red de distribución. Se trata de un tipo de mantenimiento que predice cuando los activos son susceptibles de fallar, aumentando así la productividad y disponibilidad de los activos y disminuyendo los costes de mantenimiento de los mismos sustancialmente. Según un análisis de Deloitte⁶⁴, la adopción de una estrategia de mantenimiento predictivo es capaz de aumentar el uso de los equipos en un 20-50% y la disponibilidad de los mismos en un 10-20%, elevando el *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* a niveles por encima del 90%. Para implantar con éxito una estrategia de mantenimiento digital predictivo, es necesario el empleo de:

- *IoT*: Mediante la sensorización de los activos con el *IoT* se habilita la obtención en tiempo real de información relevante a variables que definen el estado de funcionamiento de esos activos. Así, a través de la medición de variables como la temperatura, la humedad, la vibración, la potencia o el estado de la batería, y la

⁶⁴ Deloitte, 'Making maintenance smarter', 2017.



transmisión de las mismas en tiempo real a la nube, se obtiene una idea de la confiabilidad de los equipos desplegados.

- *Big Data y analítica avanzada*: Para ser capaces de procesar el gran volumen de información que proviene de los sensores, es necesario el empleo de la computación distribuida. Además, con el *Big Data* se posibilita el empleo de datos provenientes de otras fuentes, como datos históricos o informes, que permiten, por un lado, conocer cuál es el comportamiento normal de las variables y, por otro lado, calcular cuál es el riesgo de variabilidad del comportamiento establecido como normal. Estos datos se alimentan en tiempo real al algoritmo de aprendizaje automático, que es el encargado de predecir los cambios de estado de los activos en función del cambio de estado de las variables analizadas y provenientes de los sensores, y de automatizar la toma de decisiones en base al histórico de cambios de estado.
- *Cloud Computing*: A través de esta tecnología se consigue acceder a algoritmos de *ML* y *DL*. Pero, sobretodo, se consigue una gestión integrada de toda la información a través de *KPIs*, como el *MBTF* mencionado anteriormente, posibilitando así el control centralizado de todos los activos desplegados. De esta manera, se consigue una estrategia de mantenimiento basado en el lema ‘arréglalo cuando vaya a fallar’, ahorrando así considerablemente en tiempo y costes.
- *Gemelo digital*: El gemelo digital constituye una ayuda en el desarrollo de estrategias de mantenimiento predictivo a través de la realización de simulaciones y de la obtención de datos de los mismos. Estas simulaciones se pueden emplear como entrenamientos de los algoritmos de aprendizaje automático para que éstos predigan mejor los fallos de los componentes.

c.5 Desarrollo de una actividad de planificación dinámica, flexible y en tiempo real

La planificación del sector de la distribución eléctrica hace referencia a cómo plantear el desarrollo de la nueva infraestructura de distribución para hacer frente a las nuevas demandas de potencia, los cambios de comportamiento de los consumidores o la proliferación de prácticas descentralizadas como los *DER*. Este reto busca la creación de una actividad de planificación con una capacidad de adaptación y pivotación dinámica para hacer frente a las nuevas tendencias y que sea capaz de gestionar la incertidumbre mediante ejercicios de



predicción de escenarios futuros. Para ello, 2 tecnologías se presentan especialmente relevantes:

- Gemelo digital: Mediante la virtualización a través de gemelos digitales se puede realizar simulaciones multiescenario donde se contemplan mayores niveles de penetración de recursos distribuidos, como la generación y almacenamiento distribuidos, la participación de los clientes en el mercado de compraventa de energía o la proliferación del *EV*. La realización de estas simulaciones permite identificar los puntos débiles del sistema de distribución ayudando a crear planes resilientes.
- Big Data y analítica avanzada: Estos modelos y simulaciones, combinados con la analítica avanzada, permiten sistematizar, automatizar y simplificar los procesos de toma de decisiones en las actividades de planificación.

c.6 Automatización y optimización del análisis de contingencias y la respuesta ante incidentes

Este reto plantea la necesidad de apalancarse en las nuevas tecnologías de digitalización para lograr una mejora sustancial en la calidad del servicio a los clientes. Mediante la automatización de la respuesta a incidentes y contingencias, se busca disminuir las consecuencias que se derivan de problemas de desconexión de cargas, trafos o líneas – en el caso de la red de distribución – y que se traducen en variaciones de los flujos de carga y de las tensiones. 3 tecnologías destacan en la consecución de este reto:

- IoT y 5G: Es fundamental la completa interconexión y sensorización de todos los activos de la red mediante dispositivos *IoT* y el empleo del 5G como tecnología de comunicación, siempre que se pueda, para conseguir una conexión entre ellos en tiempo real.
- Big Data y analítica avanzada: Con la ‘activación’ de la red de BT a través del *IoT* y la aplicación del *Big Data* y de algoritmos de aprendizaje automático se consigue una transición de ésta y de la red de MT a una operación mucho más autónoma. La combinación de sistemas autónomos de toma de decisiones con la red de comunicaciones en tiempo real desplegada permite mejorar notablemente el análisis de contingencias con una detección más rápida de incidentes y una respuesta



autónoma ante los mismos, reduciendo así notoriamente el tiempo de reposición ante incidencias. Idealmente, se puede conseguir desarrollar algoritmos de predicción de incidentes, consiguiendo proporcionar un suministro prácticamente ininterrumpido.

- Blockchain: La penetración de las energías renovables y de los *DER* está provocando un aumento de las fluctuaciones y, por consiguiente, poniendo en peligro la estabilidad de las redes. La tecnología *blockchain* puede utilizarse para asegurar el equilibrio entre la oferta y la demanda a través de transacciones en tiempo real.

c.7 Desarrollo de métodos de control y monitorización en las actividades de tala y poda

Con este reto se propone el empleo de las tecnologías de digitalización en las actividades de tala y poda. El desarrollo de métodos de control y monitorización del crecimiento de las masas vegetales constituye ganancias notables en términos de eficiencia, debido a la naturaleza distribuida de los activos del sector, y de seguridad, pues se consigue hacer un seguimiento más preciso y optimizado del crecimiento de la vegetación alrededor de los equipos de distribución eléctrica, limitando así posibles incidentes. Para ello, destacan:

- Tecnologías de inspección: Por un lado, el empleo de sistemas *LIDAR* y su combinación con la imagen satelital a través de satélites *LEO* permite la elaboración de modelos 3D de la vegetación que rodea a las instalaciones de la red de distribución, contribuyendo así a la elaboración de un sistema de monitorización eficiente y preciso que reduce considerablemente los accidentes derivados de masas vegetales no controladas a tiempo. Por otro lado, el empleo de *UAV* constituye una tecnología fundamental en la automatización de las visitas de campo y de la ejecución de las tareas de control de la vegetación, eliminando la necesidad del desplazamiento de la fuerza de campo. Este hecho no solo significa un importante incremento de la productividad, si no que también ayuda a reducir los accidentes derivados de las tareas de ejecución de las actividades tala y poda.
- Tecnologías inmersivas: En aquellas visitas de campo donde el empleo de *UAV* no es suficiente, estas tecnologías se presentan como una forma de dotar de mayor seguridad a los procesos a través del soporte en remoto y el guiado paso a paso de la fuerza laboral.



- Big Data y analítica avanzada: Por último, mediante el empleo del *Big Data* se consigue procesar la información necesaria proveniente de fuentes como los modelos reconstruidos mediante tecnología *LIDAR* o la información histórica, para conseguir mediante algoritmos de *AI* la elaboración de modelos de predicción de crecimiento de las masas de vegetación.

c.8 Productividad y sostenibilidad laboral - Digital field-force

Los trabajadores de campo dependen en gran medida de la coordinación de los procesos, ya que trabajan en zonas remotas y en condiciones que cambian constantemente. Como resultado, el trabajo útil desempeñado en la jornada laboral se corresponde con un porcentaje medio-bajo en relación con la duración de ésta. Este reto busca la creación de una fuerza laboral digitalizada – *digital field-force* – apoyándose en las tecnologías de digitalización para conseguir una mejor productividad de la fuerza de campo, así como un desarrollo de las operaciones en un entorno sin fallos y en unas condiciones de operación seguras. Entre esas tecnologías destacan:

- Tecnologías inmersivas: Estas tecnologías presentan una gran variedad de casos de uso para mejorar la productividad y sostenibilidad de las operaciones de la fuerza de campo. En lo que respecta a la tecnología *AR*, ésta presenta oportunidades a todos sus niveles, que van desde el escaneo de códigos *QR* mediante *Smartphone* para la obtención de instrucciones en tareas de mantenimiento al empleo de la visión aumentada mediante *wereables* con capacidades *AR* de nivel 3, como lentes inteligentes, con los que los operarios tienen la posibilidad de realizar tareas con las manos libres al mismo tiempo que reciben soporte en remoto, minimizando así el riesgo en las tareas más comprometidas. Además, mediante la instalación de sistemas de geolocalización en esos dispositivos, los operarios pueden ser localizados en tiempo real cuando realicen tareas en lugares remotos. En cuanto a la tecnología *VR*, ésta presenta grandes oportunidades a través de la formación de los trabajadores en entornos virtuales seguros donde no existen problemas de exposición a sobreintensidades, sobretensiones o caídas desde alturas elevadas.
- Tecnologías de inspección: Este tipo de tecnologías es especialmente relevante para mejorar la productividad de la fuerza laboral, pues limita el desplazamiento de ésta



a situaciones de extrema necesidad. Mediante el empleo de *UAV*, como se ha visto en el reto anterior, se consigue automatizar visitas de simple inspección de activos, pero con ella también se consigue aumentar la sostenibilidad de los trabajadores mediante su uso en la inspección de instalaciones que plantean riesgos por su localización o condiciones de operación.

- *Cloud Computing, Big Data y analítica avanzada*: A través de la computación en la nube se consigue gestionar desde un único sitio toda la fuerza laboral. Su combinación con el *Big Data* y la analítica avanzada se traduce en una gestión optimizada e integrada de los recursos de campo. Por un lado, el empleo de la analítica avanzada permite predecir riesgos en tiempo real que, una vez identificados, son notificados a los trabajadores de campo vía *Smartphone* o lentes inteligentes. Además, el empleo de los sistemas de geolocalización comentado anteriormente permite conocer en tiempo real la posición de todos los recursos que, combinados con la analítica avanzada, hace posible una asignación dinámica y eficiente de tareas a los trabajadores y la optimización de las rutas para conseguir una mayor productividad de los recursos y minimizar los desplazamientos. Por otro lado, mediante el *Big Data*, se puede recoger información en tiempo real de todos los trabajadores, procesarla y mostrarla a través de *KPIs*, permitiendo así una constante monitorización de la productividad de las tareas de campo.
- *Blockchain*: Como se mencionaba en el reto c.3, el *blockchain* posibilita un mantenimiento más eficiente de la infraestructura de distribución. A través de los *Smart Contracts* puede automatizarse la cadena de suministro de equipamiento de recambio y mantenimiento. Así, cuando el algoritmo de mantenimiento predictivo detecta el fallo inminente de un activo, mediante esta tecnología puede comprarse de manera instantánea y automática el equipamiento necesario para su mantenimiento. De esta forma, se consiguen tiempos de respuesta mucho más rápidos y se consigue un aumento espectacular de la productividad en las tareas de mantenimiento pues, al mismo tiempo que se compra este material, el algoritmo de asignación dinámica de tareas puede notificar a la fuerza laboral del inminente fallo.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS CLAVE EN LOS RETOS DEL SECTOR

En resumen, y observando la Figura 44, se extraen las siguientes conclusiones:

- Tecnologías como el *IoT*, *Big Data*, analítica avanzada y *Cloud Computing* son fundamentales en la digitalización del sector de la distribución.
- Las tecnologías de inspección e inmersivas son de especial relevancia en la mejora de la productividad de las tareas de campo.
- La integración del *blockchain* y de los gemelos digitales debe ser a través de casos de uso muy concretos.

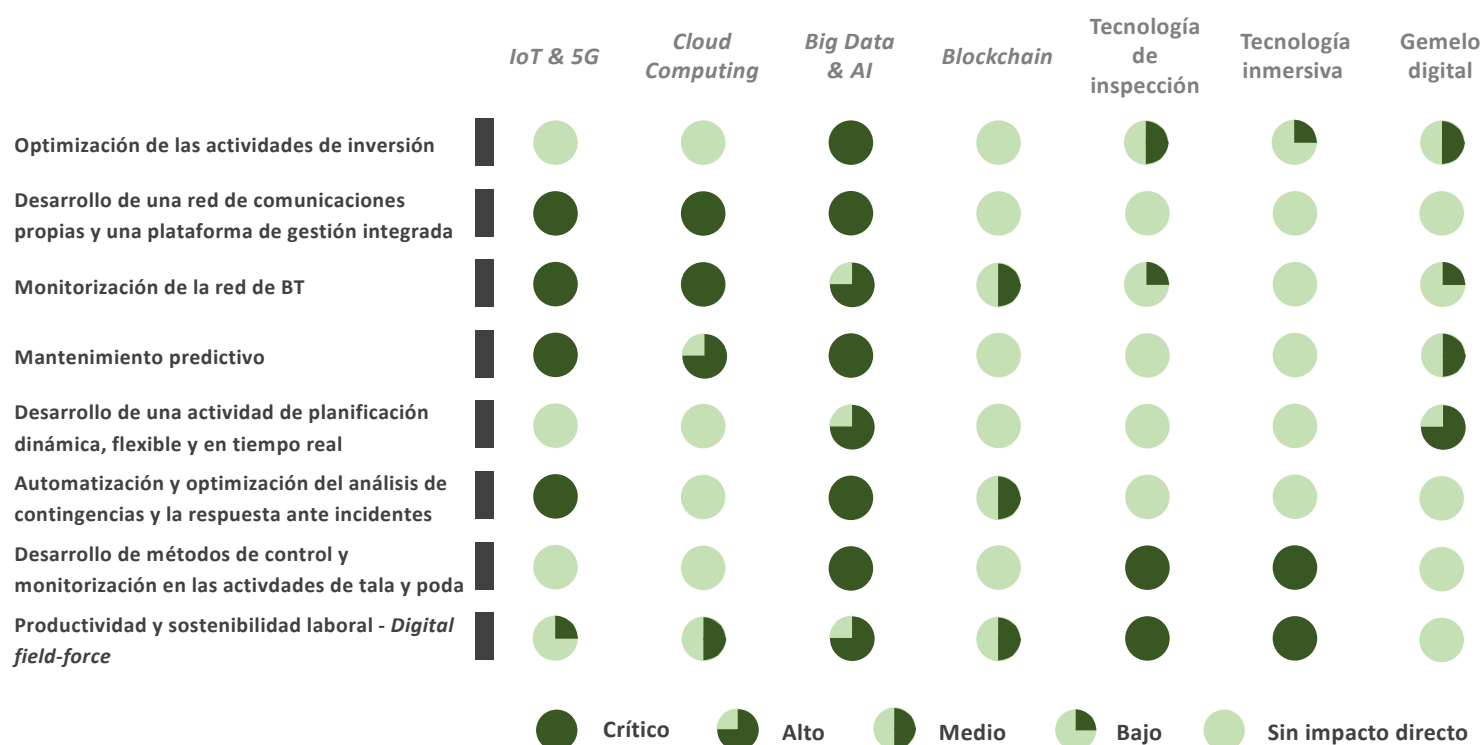


Figura 44. Matriz de impacto de las tecnologías de digitalización en los retos de la gestión de procesos y activos de distribución eléctrica



Capítulo 6. ANÁLISIS DE CASOS DE USO

En este capítulo se presentan dos casos de uso de las tecnologías digitales en el sector de la distribución eléctrica. En el primero, se aborda la cuestión del mantenimiento digital como palanca de reducción de los costes de mantenimiento y de aumento de la productividad. En él, se describe primero el modelo de operación de una estrategia de mantenimiento digital, después se realiza un análisis más cuantitativo con el fin de conocer mejor las implicaciones en los modelos de negocio de las distribuidoras y, por último, se realiza un análisis DAFO con el objetivo de identificar los factores que las empresas del sector deben tener en cuenta para obtener ventajas estratégicas.

Por otro lado, en el segundo caso de uso se analiza el papel que tienen las tecnologías digitales en la integración de los *DER*. Para ello, primero se hace una introducción a este tipo de recursos distribuidos y a los nuevos roles del sector eléctrico, después se discuten qué tecnologías digitales son necesarias y el papel de éstas en la adopción responsable de los *DER* y, por último, se realiza un análisis DAFO con el objetivo de ver qué aspectos fundamentales deben considerar las distribuidoras en lo que respecta a la integración de estos recursos.

6.1 ADOPCIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DIGITAL

Las nuevas herramientas digitales están transformando la forma en la que las empresas planifican y gestionan la ejecución de las actividades de mantenimiento. En este caso de uso se analiza la mejora de la productividad y la reducción en costes de las tareas de mantenimiento que puede experimentar una empresa con la adopción de una estrategia de mantenimiento digital. Para ello, se distinguen 4 palancas digitales: la integración del mantenimiento predictivo, la gestión integrada y automatizada, la automatización de la cadena de suministro y la digitalización de la fuerza de campo mediante tecnologías inmersivas y de inspección.

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

Si se desglosa la cadena de valor de las tareas de mantenimiento, se distinguen cinco procesos fundamentales:

- A** Monitorización del estado de los activos
- B** Asignación de tareas y optimización de rutas
- C** Adquisición de piezas de repuesto y materiales
- D** Ejecución de las tareas de mantenimiento
- E** Evaluación del rendimiento

En la Figura 45 se puede ver como se integran estos procesos a través de las palancas digitales mencionadas anteriormente.

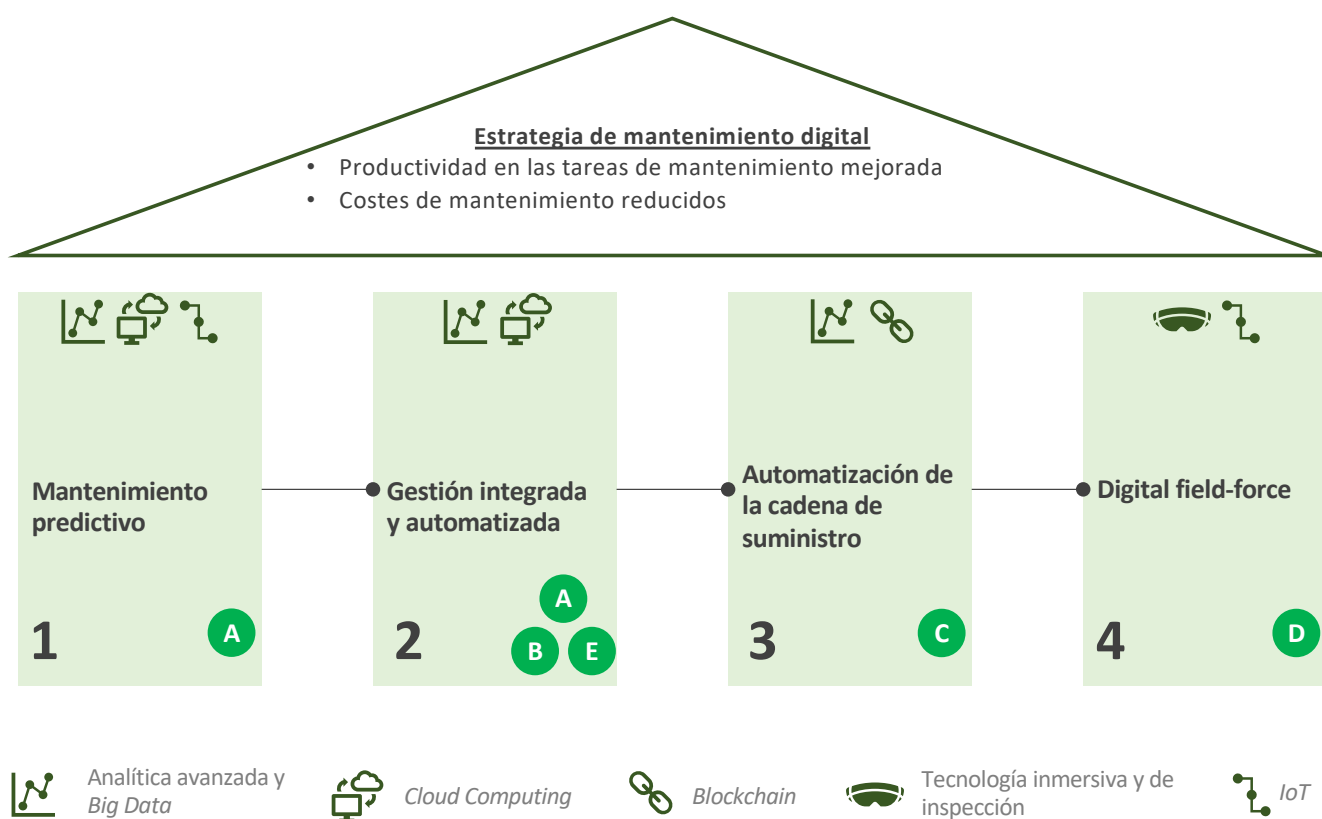


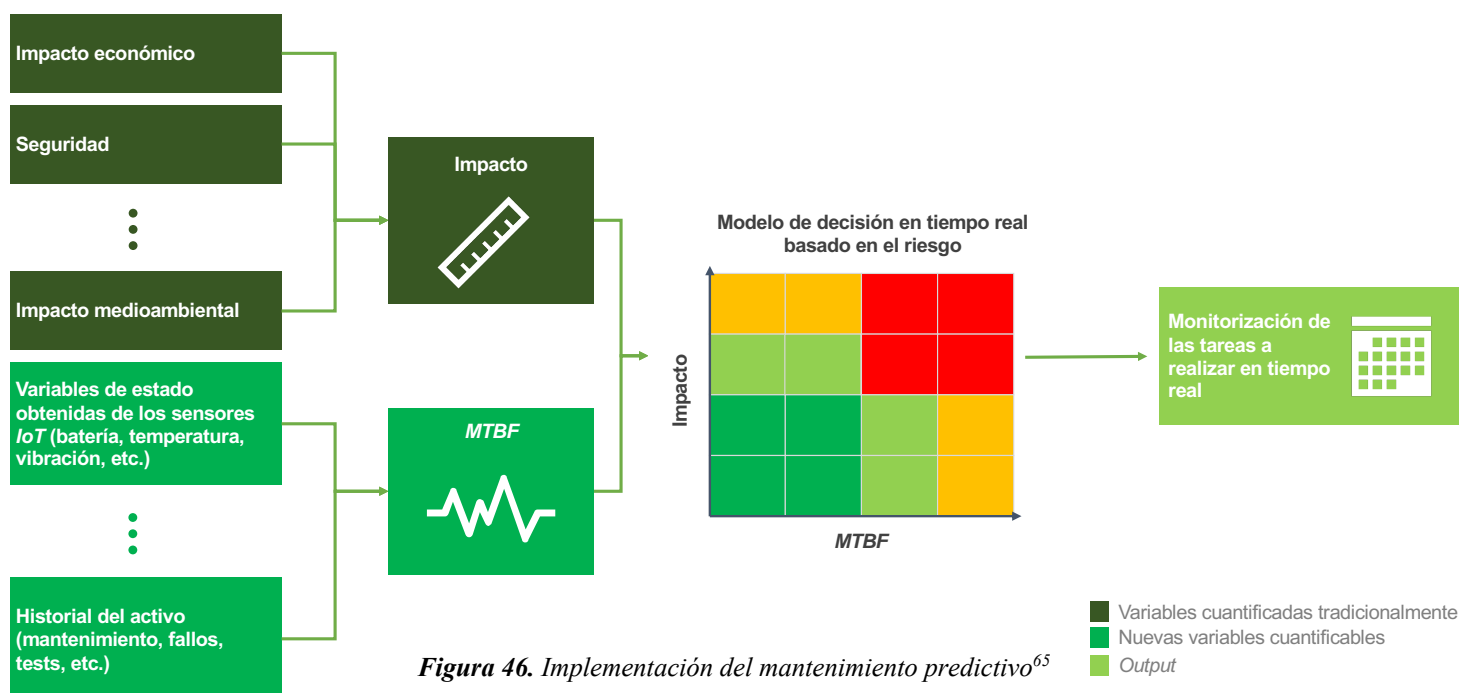
Figura 45. Palancas digitales para la adopción de una estrategia de mantenimiento digital



i. Integración del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo constituye la base de la estrategia de mantenimiento digital y es la principal palanca en la reducción de los costes de mantenimiento. Como se ha visto en el capítulo anterior, el mantenimiento predictivo depende de tecnologías como el *Big Data*, la analítica avanzada, el *Cloud Computing* y el *IoT*.

La idea que se persigue con el mantenimiento predictivo es el establecimiento de un sistema de monitorización del estado de los activos en tiempo real basado en un algoritmo de aprendizaje automático. Se trata de la evolución natural de los análisis de riesgos tradicionales que, apoyándose en el *IoT* y el *Big Data*, permite añadir de manera cuantitativa y en tiempo real a los análisis variables relevantes a las condiciones técnicas de los activos que antes solo podían considerarse de forma cualitativa. Así, la información extraída de los sensores *IoT* y de la información histórica es alimentada a un algoritmo de aprendizaje automático capaz de estimar cuándo va a producirse el fallo de los activos en tiempo real (el *KPI* ya presentado como *MTBF*). En la Figura 46 se puede observar un diagrama que representa el funcionamiento del mantenimiento predictivo.



⁶⁵ Fuente: Mckinsey.



ii. Gestión integrada y automatizada

Mediante la gestión integrada de la información proveniente del algoritmo de *Machine Learning*, así como de la posición de los trabajadores de campo mediante sistemas de geolocalización, con el empleo del *Cloud Computing* se consigue completar el proceso de monitorización de las tareas a realizar gracias la constante actualización y visualización de la matriz de decisión (ver Figura 47).

En el capítulo anterior se mencionaba que, mediante el empleo de la analítica avanzada, se habilita una asignación dinámica y automática de las tareas de mantenimiento. Volviendo a la matriz de riesgo, esto significa que cuando un activo se desplaza a la zona crítica de la matriz, automáticamente, el algoritmo de *Machine Learning* podría enviar una notificación a los trabajadores de campo en función de su posición y optimizar así los desplazamientos.

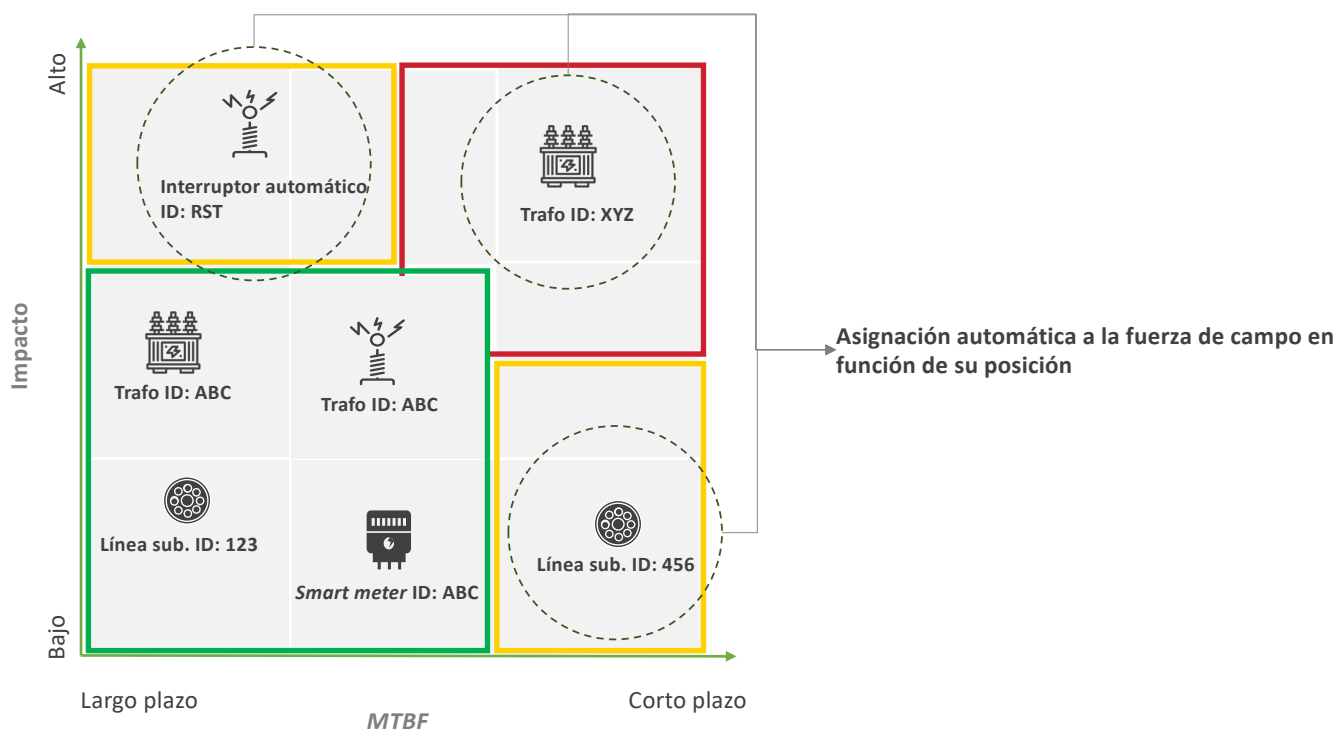


Figura 47. Matriz de riesgo en tiempo real

Además de la asignación de tareas, mediante el *Big Data* se consigue recoger información en tiempo real de todos los trabajadores, procesarla y mostrarla a través de *KPIs*, permitiendo así una constante monitorización y evaluación del rendimiento de las tareas de campo para conseguir identificar cuellos de botella más fácilmente.



iii. **Automatización de la cadena de suministro**

La automatización de la cadena de suministro constituye una forma más de aumentar la productividad en las actividades de mantenimiento. Como veremos más adelante, las ineficiencias en la gestión de los recambios y los materiales necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento representan la principal pérdida de productividad en éstas. Mediante el *Big Data* y la analítica avanzada es posible revertir esta situación a través de:

- Modelos de predicción y optimización del inventario en tiempo real: A medida que el algoritmo de aprendizaje automático actualiza los estados de los activos, un modelo paralelo se encarga de optimizar la gestión del inventario, prediciendo aquellos recambios que no estarían disponibles y necesitan encargarse.
- Automatización de las actividades de compra de material: Cuando se detecta el fallo inminente de un activo crítico, una notificación es enviada a los almacenes para que suministren los materiales necesarios a los trabajadores de campo. Si estos no están disponibles, el equipo de abastecimiento es notificado inmediatamente para que se ponga en contacto con el proveedor. Como se adelantaba en el capítulo anterior, el *blockchain* y más en concreto, los *Smart Contracts*, tiene especial aplicación en la automatización de las tareas de suministro. Mediante esta tecnología, además de posibilitar compras instantáneas con los proveedores, es posible reducir considerablemente las ineficiencias derivadas de compras erróneas pues es posible asegurar la trazabilidad de las transacciones.

iv. **Digital Field-Force**

Finalmente, el empleo de tecnologías de inspección e inmersivas en las tareas de campo constituye la última palanca de reducción de costes y aumento de la productividad. Como ya se analizaba en el capítulo anterior, el empleo de *UAVs* para la inspección de lugares remotos, del guiado paso a paso con tecnologías como el *AR* y la capacitación de la fuerza laboral en entornos seguros mediante la *VR* son tecnologías que ayudan a la consecución de una fuerza digitalizada que, además de ser más productiva, es capaz de trabajar en entornos más sostenibles.



En la Figura 48 puede observarse un ejemplo que ilustra como sería la operación de las actividades de mantenimiento bajo una estrategia de mantenimiento digital perfectamente implementada a través de las cuatro palancas analizadas.

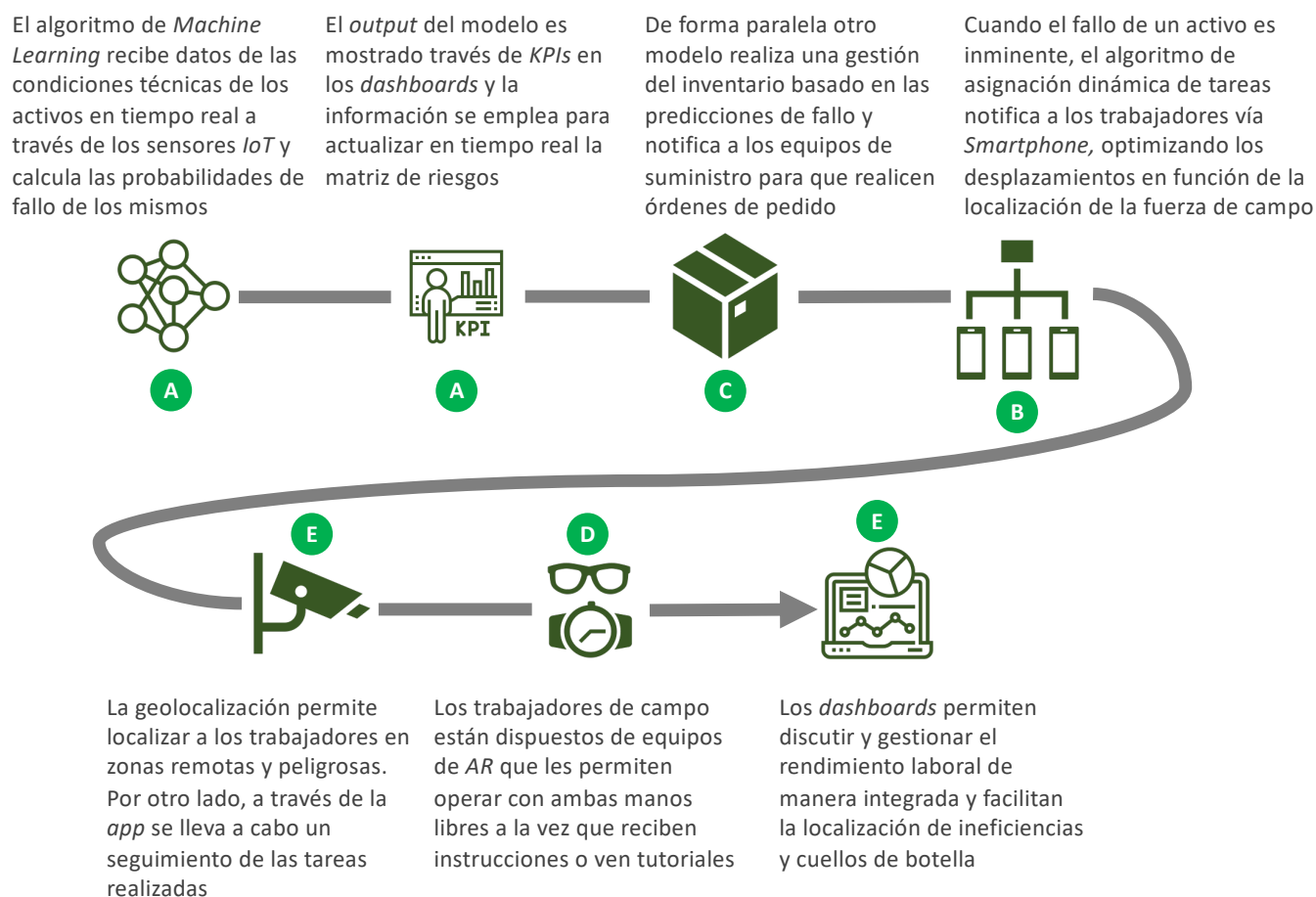


Figura 48. Ejemplo de operación mediante una estrategia de mantenimiento digital

6.1.1 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN

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. De hecho, según un análisis de *Mckinsey* basado en observaciones cada 10 min en 4 días distintos de un grupo 28 personas, las ineficiencias que se derivan de la naturaleza distribuida

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

de los activos hace que, de media, el trabajo útil producido por esta fuerza laboral se corresponda con aproximadamente el 35% de la jornada laboral (ver Figura 49⁶⁶).

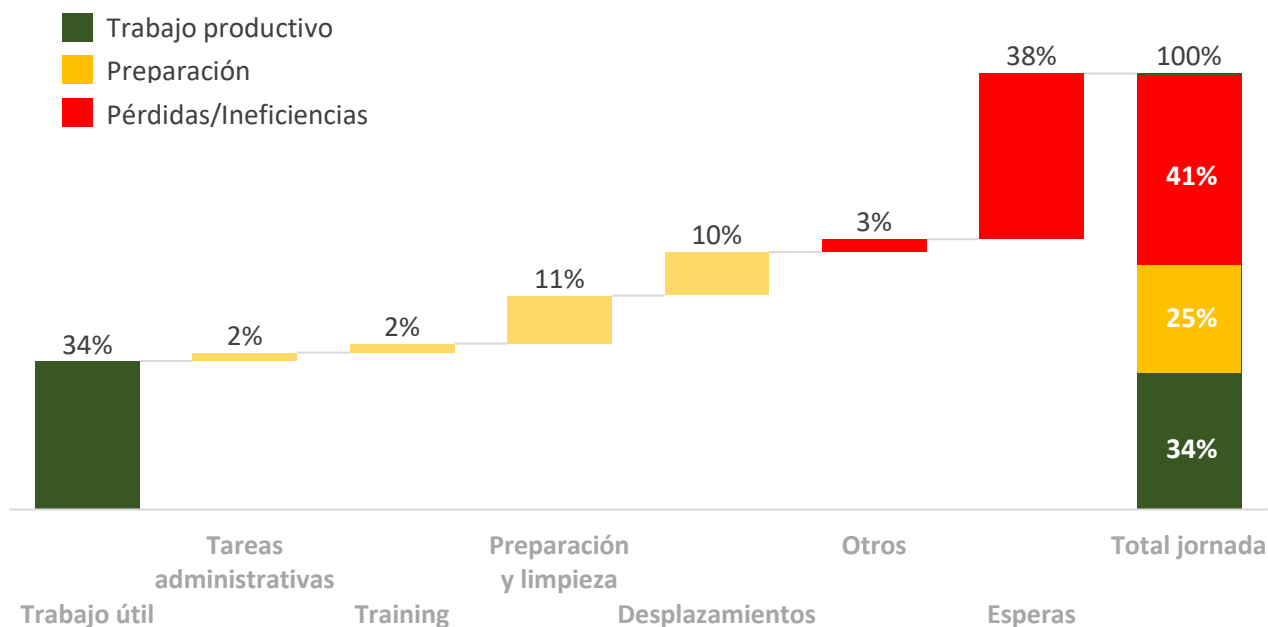


Figura 49. Desglose de la jornada laboral por tipo de actividad según análisis de Mckinsey

Como se puede observar, los operarios desperdician un 38% de su jornada laboral esperando, que suponiendo una jornada de 8 horas son aproximadamente 3 horas al día. Estas 3 horas de espera, según el análisis, se deben principalmente a dos razones:

- Espera de órdenes por parte de los operarios al principio del día.
- Falta de materiales y recambios in-situ, es decir, descoordinación con la cadena de suministro de materiales.

Además, en los desplazamientos – aproximadamente 50 minutos al día – hay implícitas ineficiencias derivadas de la descoordinación con la cadena de suministro pues algunos desplazamientos eran, según el análisis, para traer materiales que faltaban.

⁶⁶ Análisis de Mckinsey. 1379 observaciones en total. El análisis original estaba desglosado en campos más concretos pero que, a efectos de este TFM, se han agrupado en los mostrados.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

Este análisis ilustra perfectamente el potencial que tiene la adopción de una estrategia de mantenimiento digital en términos de productividad. A efectos prácticos de este TFM, se consideran dos escenarios de mejora: un escenario optimista y un escenario pesimista. En ambos casos, se supone que el reparto de horas perdidas por esperas está igualmente repartido entre la descoordinación con la cadena de suministro y la espera de órdenes de trabajo, y que, de los 50 minutos de desplazamientos, 15 son por cuestiones de material. La Tabla 8 muestra los intervalos de tiempo que se podría ahorrar por categoría con cada escenario, así como las suposiciones específicas hechas en cada uno.

ESCENARIO	CATEGORÍA	MEJORA (min/día)	SUPOSICIONES
OPTIMISTA	Esperas	~ 135-160	- Se consigue eliminar la descoordinación de la cadena de suministro - La asignación dinámica de tareas reduce un 50-75% las esperas
	Desplazamientos	~ 15	La automatización de la cadena de suministro elimina los desplazamientos de operarios por cuestiones de material
	Training	~ 5	El soporte en remoto con AR elimina el 50% del tiempo de <i>training</i>
PESIMISTA	Esperas	~ 45-90	- Se reduce el tiempo de espera a materiales un 25-50% - La asignación dinámica de tareas reduce un 25-50% las esperas
	Desplazamientos	~ 15	Se eliminan desplazamientos por cuestiones de material
	Training	~ 5	El soporte en remoto con AR elimina el 50% del tiempo de <i>training</i>
	Tareas admin.	~ - (5-7)	El empleo de <i>apps</i> sofisticadas para la monitorización de tareas aumenta en un 50-75% el tiempo

Tabla 8. Mejora de la productividad lograda en las tareas de mantenimiento según el escenario considerado

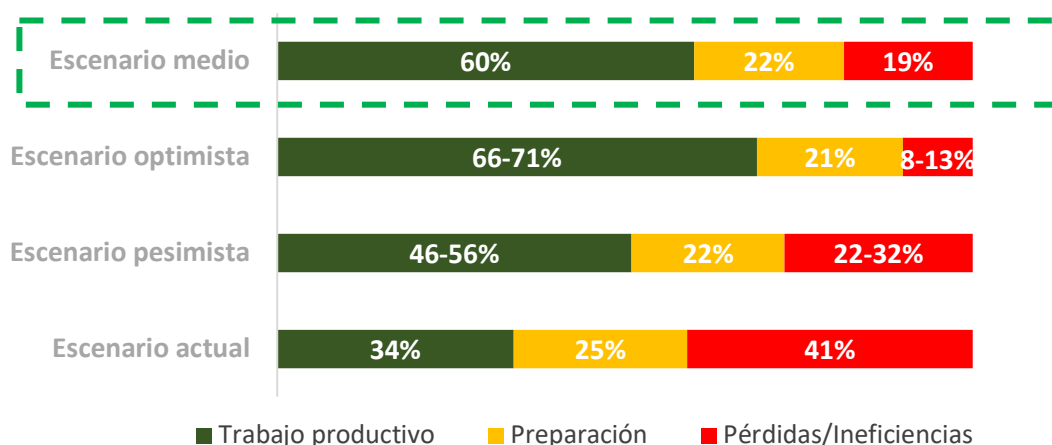


Figura 50. Desglose de la jornada laboral por tipo de actividad y escenario



Como puede observarse, la potencial ganancia de productividad en las tareas de mantenimiento es enorme y está motivada principalmente por la automatización de la cadena de suministro y de la asignación dinámica de tareas.

En el lado de los costes, el principal *driver* de la reducción de los costes de mantenimiento es el uso del mantenimiento predictivo. Estudios⁶⁷ de *Mckinsey*, *Deloitte* y *PwC* sugieren que el cambio de una estrategia de mantenimiento proactivo por una de mantenimiento predictivo puede suponer una reducción de costes del 18-25%, 5-10% o 12% respectivamente, a pesar de la importante inversión inicial y el aumento de costes operativos como el de las comunicaciones o el mantenimiento de la *IT*.

No obstante, el uso del mantenimiento predictivo no es la única palanca de reducción de los costes en la estrategia de mantenimiento digital. 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.

Al igual que en el análisis de productividad, se han elaborado dos escenarios para ver la posible reducción de costes de mantenimiento que aportaría la adopción de una estrategia de mantenimiento digital. En el escenario optimista se ha considerado que la reducción de los costes impulsada por la automatización de la cadena de suministro y la fuerza de campo digitalizada es un 50-66% de la conseguida con el mantenimiento predictivo según los estudios mencionados, mientras que en el escenario pesimista es del 33-50%. Los resultados se presentan en la Figura 51.

⁶⁷ *Mckinsey*, 'Digitally enabled reliability: Beyond predictive maintenance', 2018; *PwC*, 'PdM 4.0: Beyond the hype', 2018; *Deloitte*, 'Making maintenance smarter', 2017.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

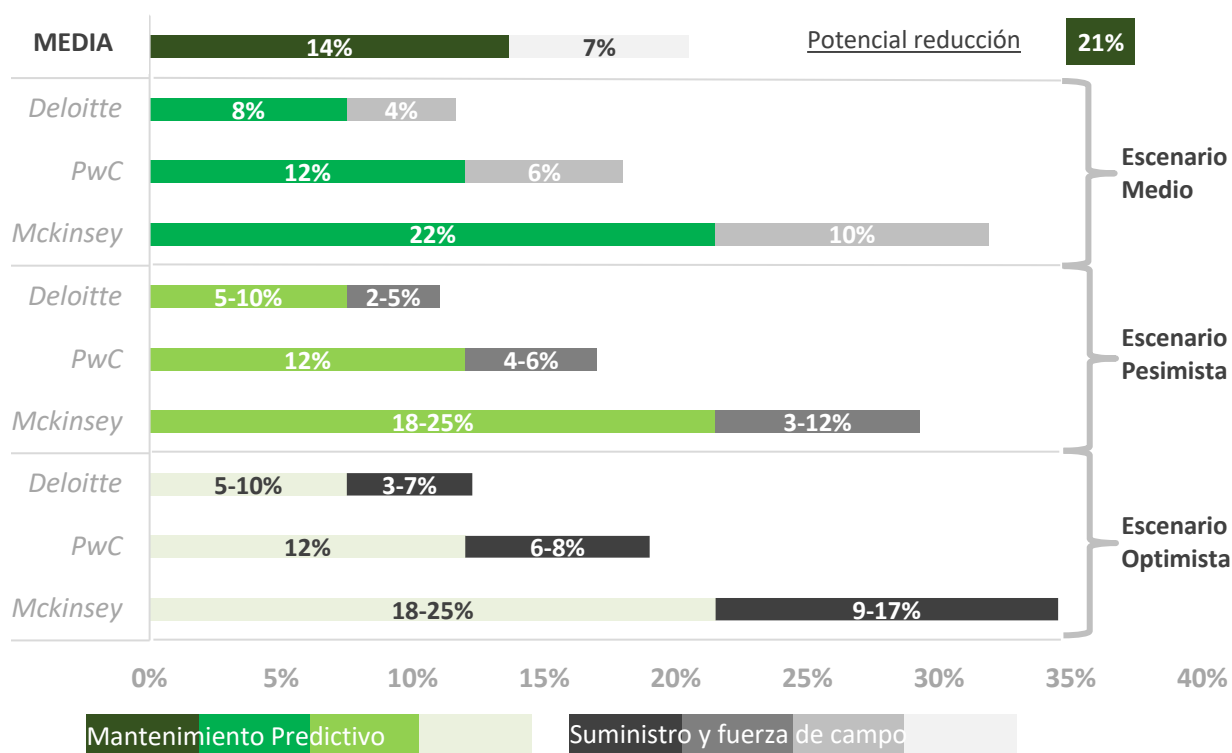


Figura 51. Potencial reducción de costes derivada de una estrategia de mantenimiento digital

6.1.2 ANÁLISIS DAFO

En la siguiente página, en la Figura 52 se muestra un análisis DAFO con el objetivo de resumir las claves y los aspectos más relevantes que deberían tener en cuenta las empresas del sector de la distribución a la hora de decidir adoptar una estrategia de mantenimiento digital. También, en el caso de las debilidades, en la Tabla 9 se muestra una clasificación según su criticidad y se presentan planes de mitigación para hacer más sostenible la implementación de este tipo de estrategia de mantenimiento.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

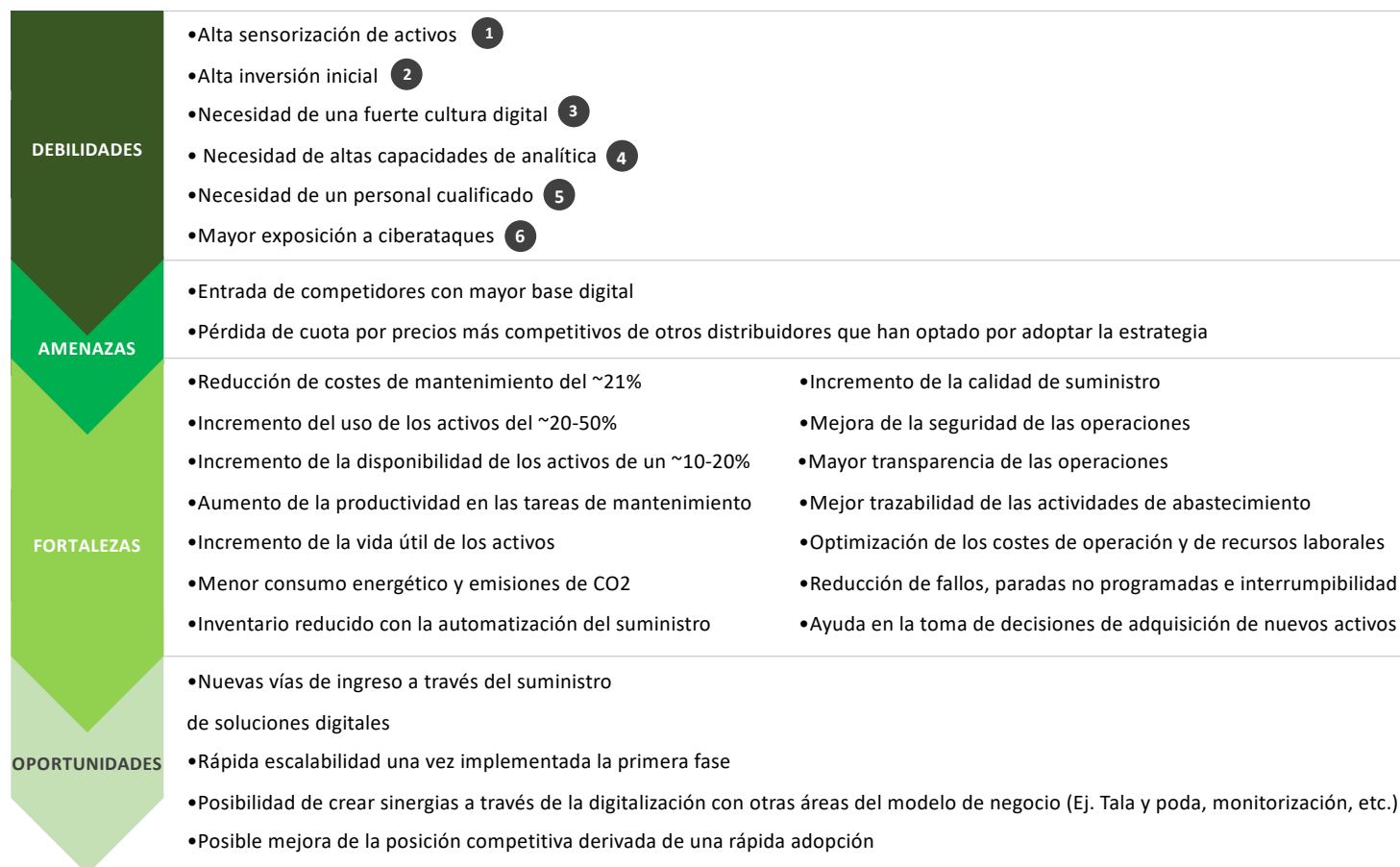


Figura 52. Análisis DAFO de la adopción de una estrategia de mantenimiento digital

DEBILIDAD	IMPACTO	PLAN DE MITIGACIÓN	NUEVO IMPACTO
1	Alto	• Priorizar la sensorización de activos críticos y escalar desde ahí	Medio
2	Muy Alto	• Priorizar en los activos críticos y escalar desde ahí	Medio-Alto
3	Medio	• Transición a una empresa centrada en el empleado y alineado con la estrategia digital, a través de los ingredientes mostrados en la sección 3.2 A i	Bajo
4	Alto-Muy Alto	• Se trata de un esfuerzo necesario, pues ofrece oportunidades en toda la cadena de valor de la empresa	Alto-Muy Alto
5	Medio-Alto	• Llevar a cabo campañas de capacitación y desarrollar una campaña de atracción de talento digital como la explicada en la sección 3.2 A ii	Bajo
6	Alto	• Aplicar los principios y factores de éxito analizados en la sección 3.2.2 enfocados a lograr la ciber-resiliencia sistémica	Medio-Alto

Tabla 9. Plan de mitigación de las debilidades derivadas del mantenimiento digital



6.2 INTEGRACIÓN DE LOS DER EN LA RED ELÉCTRICA

La aparición de nuevos agentes y recursos 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. Estos recursos energéticos distribuidos están transformando los mercados de energía. El despegue de los *DER* abre oportunidades potenciales sobre cómo el negocio de la red puede evolucionar a un modelo de ‘red como plataforma’⁶⁸. 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.

Estos sistemas *DER* plantean importantes desafíos a los modelos de negocio y a las funciones de la red eléctrica, pero su crecimiento es innegable. Así, según *EY* se espera que⁶⁹:

- A partir de 2021 la energía fuera de la red alcance la paridad de coste y rendimiento con la energía suministrada por la red.
- A partir de 2025, los *EV* alcancen la paridad de coste y rendimiento con los vehículos de motor de combustión.
- A partir de 2039, el coste de distribución de la energía supere el coste de generarla y almacenarla localmente.

Si nos centramos en el mercado de Estado Unidos, mucho más maduro en cuestiones de *DER*, un ejemplo del avance de estos recursos es el hecho de que el coste de la microgeneración de energía a través de paneles fotovoltaicos instalados en techos residenciales ha disminuido en más del 75% entre los años 2005-2017⁷⁰. Otro ejemplo concierne al almacenamiento distribuido. Éste puede ser desplegado tanto en la red como en hogares residenciales y destaca por su excepcional flexibilidad y capacidad de cambiar su

⁶⁸ BCG, ‘Finding the sweet spot in Distributed Energy’, 2017.

⁶⁹ EY, ‘How blockchain technology is transforming the distributed energy world’, 2018.

⁷⁰ BCG, ‘Rewiring Utilities for the Power Market of the Future’, 2016.



despacho para atender diferentes necesidades de la red. Estas características, unidas al abaratamiento que está experimentando esta tecnología, están haciendo que su penetración aumente a ritmos elevados.

6.2.1 LOS NUEVOS AGENTES DEL SECTOR ELÉCTRICO

La penetración de estos recursos en el sector eléctrico está cambiando, además de la configuración física del sistema, los roles de los agentes actuales y está provocando la aparición de nuevos. En la Figura 53 se muestra un esquema con los agentes que conformarán este nuevo tipo de red eléctrica⁷¹.

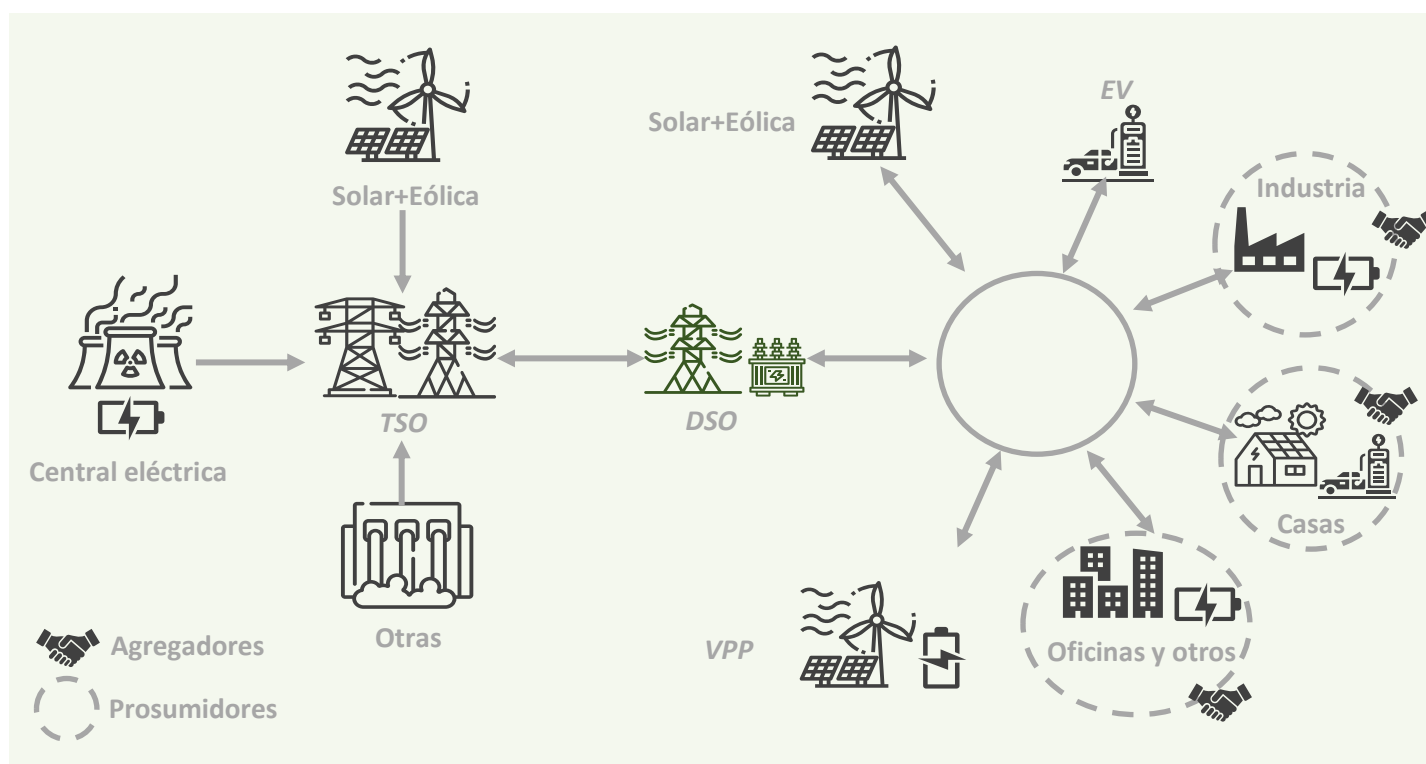


Figura 53. Agentes del sistema eléctrico dominado por los DER

A continuación, se describen los roles de algunos agentes, en concreto: DSO, agregadores y prosumidores.

⁷¹ Elaboración propia; TSO, del inglés: *Transmission System Operator*; DSO, del inglés: *Distribution System Operator*; VPP, del inglés: *Virtual Power Plant*.



i. Prosumidores

Se trata de consumidores que, además de consumir electricidad, la producen mediante instalaciones de generación distribuida y la almacenan para poder realizar una gestión activa de sus necesidades y recursos energéticos. El empleo de estos recursos les permite gozar de grandes servicios de flexibilidad para regular su curva de consumo, además de poder vender esta energía producida en la red. La capacidad y la flexibilidad en la gestión de la demanda de los prosumidores depende directamente de los equipos que dispongan.

ii. Agregadores

Los agregadores son agentes encargados de modular la flexibilidad que ofrece la demanda. Éstos toman decisiones en nombre de sus clientes para operar en el mercado de compraventa de energía y ofrecer servicios de flexibilidad. Pueden considerarse como intermediarios entre los prosumidores y los agentes del mercado, cuyo objetivo es obtener valor para sus clientes utilizando los recursos energéticos distribuidos que estos últimos poseen.

iii. Operadores del sistema de distribución (DSO)

La integración de los *DER* en la red eléctrica provoca un cambio en los roles de las distribuidoras. 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 lo que se listan a continuación:

- Facilitador de mercados de servicios de flexibilidad.
- Gestión de la información y comunicaciones entre los diferentes agentes del mercado.
- Desarrollo de nuevas plataformas que permitan a los prosumidores gozar de servicios innovadores.



6.2.2 PALANCAS DIGITALES PARA LA INTEGRACIÓN DE LOS DER EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

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. La Figura 54 muestra algunas palancas fundamentales para asegurar una integración responsable de estos recursos.

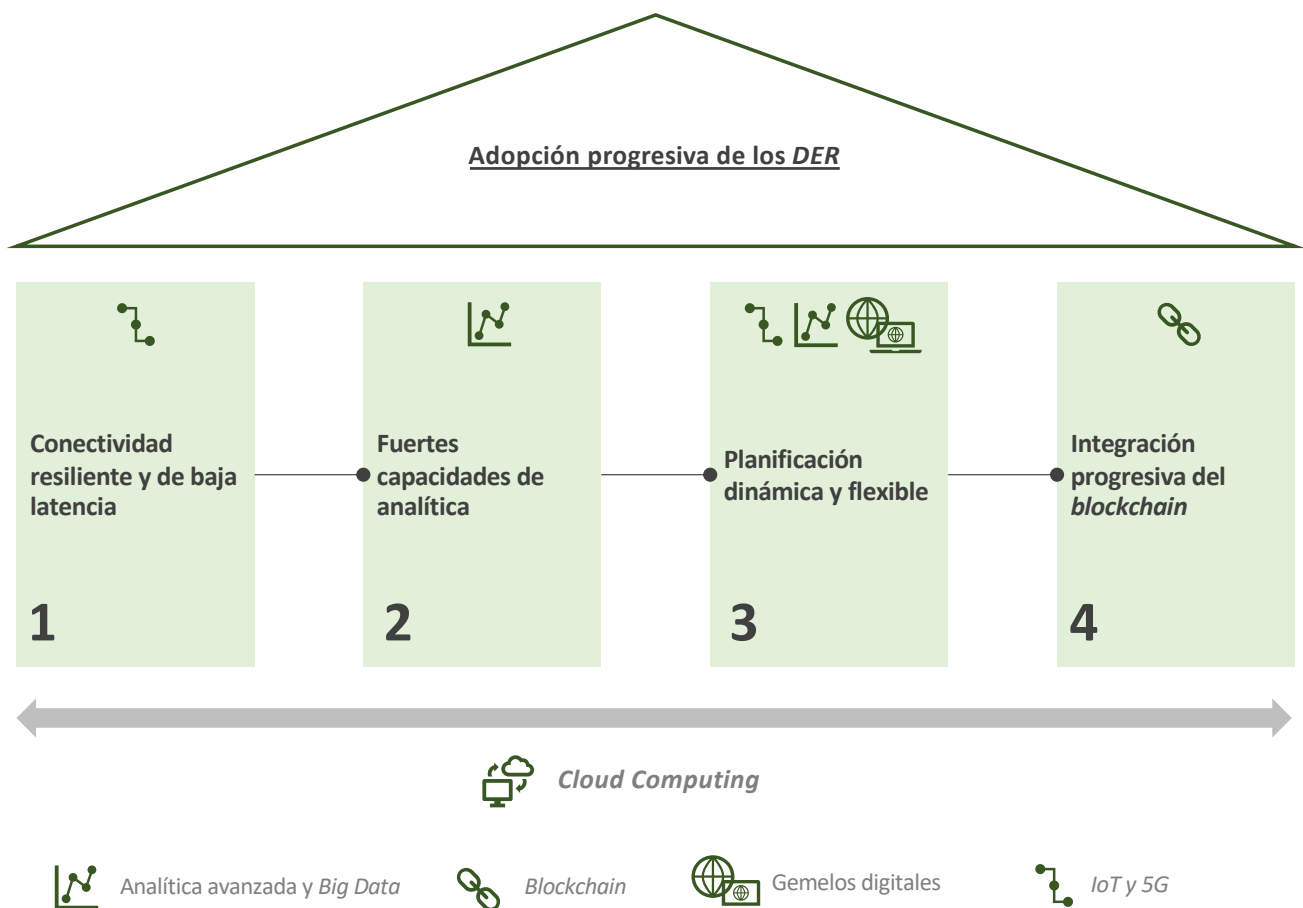


Figura 54. Pilares digitales de la integración responsable de los DER



i. Conectividad resiliente y de baja latencia

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, como se ha visto en capítulos anteriores, 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.

ii. Fuertes capacidades de analítica

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.

iii. Planificación dinámica y flexible

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.

iv. **Integración progresiva del blockchain**

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 mercado⁷². Por tanto, la capacidad del *blockchain* de hacer transacciones más rápidas, simples y baratas habilita una participación más amplia en el mercado de la energía.

En primer lugar, el *blockchain*, y más concretamente los *Smart Contracts*, se presenta como la tecnología habilitadora de un mercado *P2P* de compraventa de energía a través de microrredes. Los costes de transacción relativamente bajos de esta tecnología permiten a los productores de energía más pequeños vender el exceso de energía, aumentando así la competencia y la eficiencia de la red. Los contratos inteligentes, que permiten programar un *blockchain* con un conjunto de condiciones que, cuando se cumplen, provocan automáticamente las transacciones, facilitan la coordinación en tiempo real de los datos de producción de los paneles solares y otras instalaciones de generación de microrredes, y ejecutan contratos de venta que permiten el flujo de energía en ambos sentidos a través de la red. Se permite, por tanto, a los productores, consumidores y prosumidores participar en un proceso de compraventa de energía en tiempo real basado en el precio, el tiempo, el lugar y el tipo de fuente de energía.

⁷² Deloitte, 'Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity', 2016.



Por otro lado, la tecnología *blockchain* sirve como una palanca de equilibrio entre la oferta y la demanda a través de transacciones en tiempo real. Como se ha señalado anteriormente, la proliferación de las energías renovables y de los *DER* compromete la estabilidad de las redes. Este hecho ha creado una demanda de nuevos servicios y requisitos de flexibilidad⁷³, ya sea para regular la demanda de energía para que se ajuste mejor a la oferta, o para compensar las fuentes de suministro de reserva que pueden responder rápidamente en tiempos de escasez. En este panorama de flexibilidad, surge el concepto de Central Eléctrica Virtual (en inglés, *Virtual Power Plant – VPP*), un grupo de generadores de electricidad, cargas y sistemas de almacenamiento que se agrupan de manera inteligente y se controlan conjuntamente, con el fin de permitir su participación en los mercados de reserva.

En esta línea de servicios de flexibilidad, un ejemplo se puede observar en el operador de sistemas de transmisión de Europa septentrional, TenneT, que ha puesto en marcha proyectos piloto en Alemania y los Países Bajos para utilizar el *blockchain* para proporcionar esos servicios de flexibilidad a la red. Los programas piloto de TenneT integran activos de almacenamiento energético en los mercados de energía. Por otro lado, la empresa británica Electron está usando el *blockchain* para desarrollar una plataforma para un mercado flexible, que permita realizar transacciones en tiempo real para equilibrar la oferta y la demanda de energía. La plataforma comercial compensaría a los consumidores por ajustar su consumo de energía, fomentando un mayor consumo en períodos de alto suministro de energía renovable y un menor consumo en períodos de suministro relativamente bajo. En resumen, con el *blockchain* se posibilita el desarrollo de plataformas y mercados de flexibilidad que permiten transacciones en tiempo real para equilibrar la oferta y la demanda de energía.

Además de facilitar el desarrollo de un mercado *P2P* y de usarse como palanca de equilibrio de la red, el *blockchain* ofrece otras muchas vías de integración de los *DER*. En cuanto a la electrificación de la movilidad, esta tecnología puede catalizar el proceso de electrificación pues ofrece oportunidades para coordinar la red de estaciones de carga de *EV* de forma autónoma. Además, el *blockchain* facilita el pago de la energía en las estaciones de carga.

⁷³ Mckinsey, 'What every utility CEO should know about blockchain', 2018.



En esta línea de aplicación, un ejemplo más concreto⁷⁴ es el que está siendo realizado por la compañía *Pacific Gas & Electric (PG&E)*. Ésta está desarrollando una aplicación con *blockchain* para atribuir las sesiones de carga de *EV* directamente a las energías renovables *on-site* o de la red y generar un crédito de carbono, en función de una variedad de factores, que puede ser comercializado en el mercado a las empresas que necesitan comprarlos para cumplir con los requisitos reglamentarios.

En resumen, el *blockchain* se presenta como una tecnología clave para el despegue de los *DER* y transformar el modelo de negocio de la red en un modelo de ‘red como plataforma’. 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.

Además de estas cuatro palancas principales, desde un punto de vista de *hardware*, para la integración de los *DER* se hace necesario el desarrollo y despliegue de inversores inteligentes adaptados a estos recursos distribuidos, pues estos *DER* se conectan a red mediante una electrónica de potencia con funciones de estabilidad de tensiones en la red donde están conectados que no es viable con inversores básicos. Además, es importante señalar, como se ha mencionado antes, que la penetración de las renovables y de los *DER* implica también crecientes fluctuaciones de tensiones en la red de BT, por lo que el despliegue de dispositivos específicos como transformadores de MT-BT con regulación automática de tensiones también se presenta necesario para asegurar una buena calidad del servicio.

6.2.3 ANÁLISIS DAFO

En la siguiente página, en la Figura 55 se muestra un análisis DAFO con el objetivo de resumir cuáles serían las consecuencias de un modelo descentralizado dominado por los *DER* desde el punto de vista de las distribuidoras.

⁷⁴ World Energy Council & PwC, ‘Is blockchain in energy driving an evolution or a revolution?’, 2018.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANÁLISIS DE CASOS DE USO

DEBILIDADES	• Aumento de la superficie expuesta a ciberataques • Mayor necesidad de gobernanza entre los participantes • Variabilidad más alta en las entradas y salidas de energía en BT y MT • Operación más activa y compleja: desequilibrios prácticamente continuos entre oferta y demanda • Necesidad de una constante innovación en los servicios a los prosumidores • Nuevas responsabilidades: Facilitador de los mercados de flexibilidad y gestor de la comunicación entre los agentes del mercado	• Necesidad de implantar una fuerte cultura digital • Desarrollo de fuertes capacidades de analítica
	• Aumento de la competencia debido a la proliferación de nuevos agentes • Nuevos requisitos legales que pueden perjudicar la capacidad de inversión	
AMENAZAS	• Mejora de la visibilidad, la colaboración y la eficiencia operativa • Eliminación de fricciones del mercado y de los intermediarios • Procesos administrativos más eficientes • Curva de demanda más aplanada • Mayor resiliencia de la red a incidentes y apagones mediante la diversificación de las fuentes de energía en el borde de la red • Asignación de energía más eficiente basada en la demanda en tiempo real	• Menores pérdidas entre los niveles de transporte y distribución • Menores emisiones • Menores costes operativos a través de mayores interacciones entre los agentes
FORTALEZAS	• Mayor capacidad de desarrollar nuevas vías de ingreso a través de la innovación y creación de nuevos productos y mercados; La descentralización de las redes permite la investigación a través de pruebas piloto • Mayor difuminación entre los roles de los agentes: posibilidad de diversificarse más allá de la operación de la red de distribución	
OPORTUNIDADES		

Figura 55. Análisis DAFO de las consecuencias de un sistema eléctrico dominado por los DER para una distribuidora



Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster ha consistido en analizar el impacto de la digitalización en el sector de la distribución eléctrica en España. Para responder a esta cuestión, se ha llevado a cabo una metodología deductiva en la que se ha partido del contexto del sector eléctrico y de la situación de España en materia de digitalización.

En primer lugar, se ha visto como el sector eléctrico se encuentra en la actualidad en un proceso de descarbonización y transición energética envuelto en un marco internacional de sostenibilidad. En este contexto, se han podido extraer dos conclusiones fundamentales:

- Se está acelerando la penetración de la generación renovable en España – que ha pasado de un 28% en 2008 a un 40% en 2018 (Figura 9).
- La digitalización acumula tal potencial transformador en materia de transición energética que hace fundamental la inversión en ella (Figura 7).

Una vez analizado el contexto de transformación en el que se encuentra el sector de la electricidad, se ha procedido a analizar el contexto digital del sector. Para ello, se ha partido del contexto de España en materia de digitalización. Aquí, se ha podido ver y comparar el desempeño de España con otras economías en esta materia. A través de los análisis *DESI* y *NRI* (Figura 13 y Figura 14) se han extraído dos conclusiones principalmente:

- España ha mejorado considerablemente su infraestructura digital en los últimos años.
- El principal *driver* de la mejora de la disposición digital y posición competitiva de España en esta materia es la conectividad.

Una vez situado a España a nivel internacional, se ha procedido a analizar los principales sectores, concluyendo que el sector de la energía se encuentra en el grupo de sectores '*road ahead*' en materia de digitalización (Figura 16) y que el verdadero reto al que se enfrenta este sector es saber reconocer en qué tecnologías ha de apalancarse.



Tras definir el contexto digital del sector de la electricidad, se ha entrado de lleno en cómo puede afectar la digitalización al sector de la distribución eléctrica, concluyendo que, al igual que en cualquier otro sector, la digitalización impacta vertical y horizontalmente en todos los eslabones de su cadena de valor: la organización, los procesos y la tecnología, y la relación con el cliente.

En lo que a organización respecta, se ha visto como la digitalización impacta en cinco ámbitos fundamentales. En primer lugar, se ha visto como la digitalización plantea la necesidad de que las empresas instauren una cultura digital común con una visión centrada en el empleado y alineada con su estrategia digital a través de tres ingredientes principales: apoyo desde los niveles de liderazgo, la eliminación de los silos y la rotura de la aversión al riesgo. Seguidamente, se ha comentado como la rapidez de la digitalización provoca que las nuevas tecnologías y modelos de negocio estén rápidamente disponibles para todos los actores de la industria y, por ello, lo que realmente marca la diferencia es la capacidad de identificar, reclutar y retener el talento digital. Por último, se ha observado como la digitalización plantea la necesidad de adoptar nuevas formas de trabajar más ágiles, colaborativas y enfocadas a la creación de valor, y como en la consecución de los objetivos digitales es fundamental la transición al *digital workplace*, una evolución natural resultado de rediseñar los procesos maximizando la productividad y priorizando la experiencia de los empleados.

En las relaciones con el cliente, se ha discutido como la digitalización ha provocado la aparición de un nuevo tipo de consumidor empoderado con paradigmas totalmente nuevos, que se sitúa en el centro de los procesos, está más orientado a los servicios, solicita una capacidad de decisión y selección a tiempo real, y está comenzando a adoptar tecnologías que impactan en la infraestructura eléctrica. Aquí se ha visto como el proceso de empoderamiento del consumidor que se iniciaba con la liberalización del sector y la creación del Suministro de Último Recurso en 2009, a raíz de la aceleración digital actual, hace evolucionar el término de cliente activo a cliente participativo, culminado en la figura del *prosumer*. En este punto se ha analizado como ese cambio en el cliente iba acompañado de un cambio en los modelos de negocio de las distribuidoras. Llegado a este punto, se han ilustrado algunos aspectos de cómo tiene que ser ese cambio en las distribuidoras:



- A través de la recogida de datos masiva, las empresas deberán trazar perfiles sobre el comportamiento de sus clientes y, a través de la *AI*, deberán tratar esa información para proporcionar motores de decisión y personalización en tiempo real a sus clientes.
- 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 esta.
- La experiencia del consumidor deberá de ser flexible y dinámica en todos los canales para poder adaptarse al nuevo perfil de estos. En este sentido, se veía como la tecnología *VR* desempeña un papel fundamental.

En el lado de los procesos y la tecnología, se ha mostrado como digitalización está afectando a las tecnologías y activos eléctricos en 3 áreas principales y una transversal a todas ellas (Figura 22):

- En las actividades de inversión, se ha visto como 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, se ha comentado como 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.
- En las actividades de *O&M*, se ha analizado como la digitalización acumula un gran poder de optimización de los procesos. Se ha observado como, 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, se ha visto como la combinación de estas tecnologías posibilitarán una gestión mucho más integrada de la red de distribución a través del *Cloud Computing* y permitirán la adopción de estrategias de mantenimiento predictivo, que será un factor clave para asegurar la operatividad y



sostenibilidad de las instalaciones. Se ha discutido también como 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, se ha comentado como la digitalización permitirá el desarrollo de las operaciones en un entorno sin fallos y en unas condiciones de operación seguras.

En este punto se ha hecho un ejercicio ilustrativo en el que se visto como se planteará la red eléctrica del futuro, donde se ha concluido que el aumento de la superficie digital y de los flujos de información hace que sea necesario desarrollar un ecosistema de ciberseguridad que sea resiliente. Se ha hecho aquí una introducción a la ciber-resiliencia en el ecosistema eléctrico, cuya conclusión ha sido que el principal factor de éxito es la colaboración sistémica. Se ha comentado que la gran interconexión de los agentes y activos involucrados en el panorama eléctrico hace que un ciberataque pueda tener un efecto en cascada en todo el ecosistema, por lo que lo primero de todo es que los agentes del ecosistema eléctrico sean conscientes de la complejidad e interdependencia del sistema (Figura 25). Después, se ha hecho una introducción a los principios elaborados por *WEF* y *BCG* para lograr la resiliencia del sector eléctrico, que se basan en tres aspectos principalmente: el ecosistema interdependiente, la necesidad de tratar la ciberseguridad con un enfoque integrado en todas las partes de la organización de las empresas del ecosistema, y que la cultura de cumplimiento debe estar basada en una mentalidad resistente y adaptativa. Más tarde, se han descrito algunos de los factores de éxito claves en la consecución de la resiliencia sistémica: 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. Para cerrar el plano de la ciberseguridad, se han presentado el nuevo tipo de ataques que trae consigo la creciente descentralización de las redes mediante la integración de los *DER*, los *Demand-Side Attacks*. Aquí, mediante un ejemplo se ha visto la importancia 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.

Una vez analizado el impacto de la digitalización a lo largo de la cadena de valor de las empresas del sector, se han identificado y presentado algunos de los retos más importantes en materia de digitalización a los que se enfrentan las empresas del sector (Tabla 4). Una vez identificados, se ha procedido a presentar las tecnologías digitales clave – *IoT*, *5G*, *Cloud Computing*, *Big Data*, *Machine* y *Deep Learning*, *Blockchain*, *UAV*, Imagen satelital, *LIDAR*, *VR*, *AR* y Gemelo Digital – para la consecución de un tipo determinado de los retos identificados: los retos de los procesos y de la gestión de activos del sector de la distribución. Una vez explicadas estas tecnologías, se ha procedido reto a reto analizando el papel de las tecnologías digitales en la consecución de cada uno de ellos, donde se ha confirmado la relevancia del *IoT*, *Big Data*, analítica avanzada y *Cloud Computing* en la mayoría de los retos, el importante papel de las tecnologías de inspección e inmersivas en la mejora de la productividad de las tareas de campo, y que la integración del *blockchain* y gemelos digitales debe ser a través de casos de uso muy concretos (Figura 44).

Finalmente, se han analizado dos casos de uso de las tecnologías digitales en el sector de la distribución. En primer lugar, se han analizado las consecuencias que tendría para las empresas del sector de la distribución la adopción de una estrategia de mantenimiento digital, basado en 4 pilares: el mantenimiento predictivo, la gestión integrada y automatizada, la automatización de la cadena de suministro y la *digital field-force*. En este caso se han llegado a dos conclusiones:

- La productividad – medida como tiempo de trabajo útil al día – de las tareas de mantenimiento puede aumentar de un 34% a un 60% (Figura 50).
- Los costes de las tareas de mantenimiento pueden reducirse un 21% (Figura 51).

En el segundo caso de uso, se ha analizado como el apoyo en herramientas digitales puede ayudar en una integración responsable de los *DER*. Se ha discutido, como la aparición de nuevos agentes y recursos 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



además de cambiando los roles de los agentes involucrados en el sistema eléctrico. En este caso se ha concluido que, para asegurar una correcta integración de los *DER* en la red eléctrica, es necesario: una red de conexión resiliente y de baja latencia, fuertes capacidades de analítica, una planificación dinámica y flexible y la integración progresiva del *blockchain* a través de pruebas piloto.

En cuanto a los trabajos futuros, destacan las siguientes líneas de investigación:

- 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.



Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Glosario Gartner, ‘Digitalización’
- [2] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
- [3] Consejo Económico y Social, ‘Informe del sector eléctrico’, 2017
- [4] Orkestra-Instituto Vasco de Competencia, ‘Cuadernos Orkestra núm. 10’, 2015
- [5] Energía y Sociedad, ‘Manual de la Energía’
- [6] Club Español de la Energía, ‘Digitalización en el sector energético español’, 2019
- [7] Deloitte, ‘Hacia la descarbonización de la economía: la contribución de las redes eléctricas a la transición energética’, 2018
- [8] Naturgy, ‘Situación económico-financiera de las principales empresas del sector eléctrico en España, 2016-2018’, Diciembre de 2019
- [9] Red Eléctrica de España
- [10] World Economic Forum (WEF): NRI index
- [11] Comisión Europea: Índice DESI
- [12] Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE), ‘Plan digital 2020: La digitalización de la sociedad española’, 2019
- [13] Cátedra de Industria Conectada del ICAI, ‘Informe sobre el nivel de digitalización de la industria en España’, 2018
- [14] Mckinsey, ‘Digital success requires a digital culture’
- [15] BCG, ‘How to gain and develop digital talent and skills’, 2017
- [16] Deloitte, ‘The digital workplace: think, share, do’
- [17] Mckinsey, ‘Digitally enabled reliability: Beyond predictive maintenance’, 2018
- [18] Mckinsey, ‘The digital utility: new opportunities and challenges’, 2016
- [19] National Institute of Standards and Technology (NIST), ‘Update of the NIST Smart Grid Conceptual Model (Third Discussion DRAFT)’, Noviembre de 2018
- [20] WEF y BCG, ‘Cyber Resilience in the Electricity Ecosystem: Principles and Guidance for Boards’
- [21] Red Europea de Operadores de Sistemas de Transmisión de Electricidad (ENTSO-E), ‘Frequency Stability Evaluation Criteria for the Synchronous Zone of Continental Europe’, Marzo de 2016

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

BIBLIOGRAFÍA

- [22] ABC, https://www.abc.es/economia/abci-repsol-inaugura-primer-punto-carga-ultrarrapida-para-coches-electricos-peninsula-201904011657_noticia.html, Abril de 2019
- [23] Glosario *Gartner*, 'IoT'
- [24] *PwC*, 'Internet of Things', 2018
- [25] Documentos de la universidad, 'IIoT and Cloud Communications: Introduction', 2019
- [26] Documentos de la Universidad; Presentación NOKIA: 'What is 5G and why it will change it all', 2020
- [27] *Huawei*, '5G New Air Interface and Radio Access Virtualization'
- [28] ORDONEZ-LUCENA, J.; et al., 'Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges' in *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, May 2017, a través de Documentos de la universidad, 'IIoT and Cloud Communications: Outlook and Industry trends', 2019. Documentos de la universidad, 'IIoT and Cloud Communications: Outlook and Industry trends', 2019
- [29] *Microsoft Azure*, 'What is Cloud Computing? A beginner's Guide'
- [30] Documentos de la universidad, 'IIoT and Cloud Communications: Introduction to Virtualization, Docker & Cloud', 2019
- [31] *SAS*, 'Big Data: What it is and why it matters?'
- [32] Documentos de la universidad, 'Big Data: Hadoop', 2020
- [33] *IBM*, 'Integración Big Data y Hadoop', 2014
- [34] *SAS*, 'Machine Learning: What it is and why it matters?'
- [35] *Nvidia*, blogs.nvidia.com: 'What's the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning?'
- [36] Documentos de la universidad, 'Machine Learning: Introduction', 2019
- [37] Imagen de Armando Arroyo Geekstyle, a través de los documentos de la universidad: 'IIoT & Cloud Communications: Cloud Computing Overview', 2019
- [38] NAKAMOTO, SATOSHI; 'A Peer-to-Peer Electronic Cash System', 2008.
- [39] TAPSCOTT, DON & TAPSCOTT, ALEX; 'Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world', 2016
- [40] Documentos de la universidad, 'Cybersecurity: Cryptography & Digital Signature Basics', 2020
- [41] MORGEN E. PECK; 'BLOCKCHAINS. How They Work and Why They'll Change the World', 2017

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

BIBLIOGRAFÍA

- [42] 101 Blockchains, 'Algoritmos de consenso: la raíz de la tecnología blockchain', visto en: <https://101blockchains.com/es/algoritmos-de-consenso-blockchain/>, 2018
- [43] Deloitte, 'Blockchain: Enigma. Paradox. Opportunity', 2016
- [44] The National Ecological Observatory Network (NEON), 'The basics of LiDAR', visto en: <https://www.neonscience.org/lidar-basics>, 2014
- [45] Wikipedia, 'Imagen Satelital', visto en: https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_satelital, última edición en 2020
- [46] LENS-FITZGERALD, M.; 'Augmented Reality Hype Cycle', 2009
- [47] Documentos de la universidad, Presentación ABB: 'Writing the digital future takes ability', 2020
- [48] Deloitte, 'Industry 4.0 and the digital twin', 2017
- [49] Deloitte, 'Making maintenance smarter', 2017
- [50] PwC, 'PdM 4.0: Beyond the hype', 2018
- [51] BCG, 'Finding the sweet spot in Distributed Energy', 2017
- [52] EY, 'How blockchain technology is transforming the distributed energy world', 2018
- [53] BCG, 'Rewiring Utilities for the Power Market of the Future', 2016
- [54] Mckinsey, 'What every utility CEO should know about blockchain', 2018
- [55] World Energy Council & PwC, 'Is blockchain in energy driving an evolution or a revolution?', 2018
- [56] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, visto en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-las-cortes-el-primer-proyecto-de-ley-de-cambio-clim%C3%A1tico-y-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-para-alcanzar-la-neutralidad-de-emisiones-a/tcm:30-509229>, 19 de Mayo de 2020
- [57] Organización de las Naciones Unidas, 'Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible', Octubre de 2015

2. *ANEXO*



El papel de la digitalización en la transición energética y los objetivos de sostenibilidad

En el Capítulo 2. se hacía una introducción al contexto del sector eléctrico, y en él se comentaba como el sector se encuentra, actualmente, un proceso de transformación y descarbonización enmarcado en la estrategia nacional de sostenibilidad y transición energética. La realidad es que prácticamente la totalidad de las empresas de nuestro país cuentan con planes de sostenibilidad en los que se aborda el tema de la lucha contra el cambio climático. Además, en el sector energético se pueden apreciar fuertes movimientos de cambio en el ámbito de la transición energética, como grandes inversiones en energías renovables o el fomento de la movilidad sostenible.

Como se comentaba en ese capítulo, esta estrategia de transición energética está enmarcada en los compromisos establecidos tras el Acuerdo de París de 2015, donde 195 países se comprometieron a que el aumento de la temperatura del planeta a finales del siglo XXI no superase la barrera de los 2°C respecto a los niveles preindustriales. Además de este acuerdo de carácter internacional, la Unión Europea ha asumido un liderazgo en esta materia en la última década, fijando en 2011 el objetivo en la comunidad europea de reducir las emisiones de GEI en un 80-90% respecto a las emisiones de 1990. Como paso intermedio, veíamos como Europa establecía en 2014 un Marco de Energía y Clima donde se establecían objetivos específicos para 2030, en concreto⁷⁵:

- 40% de reducción de GEI con respecto a las emisiones del año 1990⁷⁶.
- 32% de participación de energías renovables en el consumo energético total.
- 32,5% de mejora de la eficiencia energética respecto al escenario tendencial.

En lo que respecta a España, recientemente, en mayo de 2020, el Gobierno ha enviado a las Cortes el primer Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (PLCCTE).

⁷⁵ Club Español de la Energía, *'Digitalización en el sector energético español'*, 2019.

⁷⁶ La nueva Comisión Europea prevé aumentar este objetivo a 50-55%.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANEXO

Con este hecho se inicia la tramitación parlamentaria para que el país alcance la neutralidad de emisiones en 2050, es decir, que solo se emitirán las cantidades de GEI que los sumideros puedan asumir. El texto fija los siguientes objetivos⁷⁷:

- España deberá alcanzar la neutralidad climática no más tarde de 2050.
- Cuota de generación renovable del 100% antes de 2050.
- En 2030, lograr una reducción de al menos un 20% en las emisiones de GEI respecto a las de 1990.
- Penetración de las energías renovables del 35% en el consumo final de la energía y del 70% en la producción de electricidad en 2030.
- 35% de mejora de la eficiencia energética respecto al escenario tendencial en 2030.

Estos objetivos marcados por el PLCCTE se implementarán a través de sucesivos Planes Nacionales de Energía y Clima (PNIEC). El primero de ellos, pensado para el periodo 2021-2030, dibuja una trayectoria que busca lograr objetivos más ambiciosos que los establecidos en el PLCCTE para el año 2030, en concreto:

- Reducción de las emisiones en un 23% respecto a las de 1990.
- Penetración de las energías renovables del 42% en el consumo final de la energía y del 74% en la producción de electricidad.
- 39,5% de mejora de la eficiencia energética respecto al escenario tendencial.

Estos objetivos de transición energética se encuentran envueltos en un marco de sostenibilidad más amplio establecido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En 2015, todos los países miembros aprobaron el establecimiento de 169 metas agrupadas en 17 objetivos para 2030 (ver Figura 56⁷⁸) como parte de la Agenda de Desarrollo

⁷⁷ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, visto en: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-env%C3%ADa-a-las-cortes-el-primer-proyecto-de-ley-de-cambio-clim%C3%A1tico-y-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-para-alcanzar-la-neutralidad-de-emisiones-a/tcm:30-509229>, 19 de Mayo de 2020.

⁷⁸ Organización de las Naciones Unidas, 'Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible', Octubre de 2015.

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

ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA



COMILLAS

ANEXO

Sostenible, que constituye un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, hacer frente a la emergencia climática y mejorar la perspectiva de la sociedad en general.



Figura 56. Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU

Como veíamos en el Capítulo 2. , la digitalización acumula un potencial transformador enorme y hace obligatoria la inversión en ella para cumplir con los objetivos marcados por la UE y la ONU (recordemos la Figura 7). En la página siguiente, en la Tabla 10, se recogen algunas áreas en las que la digitalización puede ayudar en la consecución de los ODS.

En resumen, España y, más concretamente, el sector eléctrico, se encuentra envuelto en un marco de transición energética integrado en la estrategia internacional de la ONU de Desarrollo Sostenible, donde la digitalización representa una gran ayuda para materializar los compromisos establecidos por las organizaciones mundiales con objeto de alcanzar una sociedad más sostenible, justa e inclusiva.

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



ENRIQUE DE LEYVA MÉRIDA

COMILLAS

ANEXO

RETOS ODS	PAPEL DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO
7,9,11,12,13	Incrementa la eficiencia energética de las plantas a través de simulación y optimización de operaciones con analítica avanzada
11,12,13,14,15	Fomenta la economía circular prolongando la vida de los activos a través de mantenimiento optimizado y gestión avanzada de residuos
3,8,9,10,11	Favorece aspectos como la transparencia, la conciliación, la seguridad de las operaciones, o la innovación y generación de nuevas ideas
1,7,9,10,11	Es posible la creación de microrredes y la integración de los DER, permitiendo dar soluciones a comunidades que se encuentran a gran distancia de las redes eléctricas o incluso favorecer el desarrollo eléctrico en economías empobrecidas a través la descentralización de las redes
7,11,13	Permite la electrificación de la movilidad, ayudando en la consecución de un transporte más sostenible
8	Mejora la transparencia y la trazabilidad de las transacciones

Tabla 10. El papel de la digitalización del sector eléctrico en la consecución de los ODS