



El impacto de la digitalización en la descarbonización del sector de la energía

Inmaculada Ordiales

Documento de Trabajo Sostenibilidad N° 3/2019



Ninguna parte ni la totalidad de este documento puede ser reproducida, grabada o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito de la Fundación Alternativas.

© Fundación Alternativas

© Inmaculada Ordiales

Maquetación: Paula Carretero Y Clara Román Jiménez
ISBN: 978-84-121118-3-5

Impreso en papel ecológico 

Índice

INTRODUCCIÓN	4
1. LA DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO. OPORTUNIDADES DESDE LA CRECIENTE DIGITALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA	6
1.1. La digitalización como herramienta para mejorar la eficiencia energética	9
1.2. La integración de las energías renovables a través de la digitalización.....	14
1.3. Electrificación, descentralización y digitalización: vectores del cambio de paradigma.....	18
1.3.1. El papel del cliente final. Eficiencia en su consumo y contadores inteligentes	23
1.3.2. La gestión activa de la demanda.....	24
1.3.3. La generación distribuida y el autoconsumo	27
1.3.4. La transformación de las redes de transporte y distribución.....	29
1.3.5. El almacenamiento inteligente y el vehículo eléctrico.....	31
1.3.6. Micro-redes, centrales de energía virtuales y agregadores de demanda.....	34
2. DIGITALIZACIÓN DEL SECTOR DE LA ENERGÍA. CAMBIOS EN LOS MODELOS DE NEGOCIO	36
2.1. Penetración de la digitalización en el sector de la energía. Especial referencia a España.....	36
2.1.1. Usos digitales por parte de las empresas españolas del sector	38
2.1.2. La penetración digital en las empresas del sistema eléctrico	42
2.2. Adaptación de los modelos de negocio a la nueva realidad digital.....	44
2.2.1. El cliente en el centro del negocio.....	45
2.2.2. Aspectos de la organización empresarial afectados por la digitalización	48
2.2.3. Cambio de mentalidad empresarial	51
3. RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	53
3.1. Brechas digitales	54
3.2. Ciberseguridad y privacidad	57
3.3. Impacto en el empleo	61
3.4. La paradoja de la digitalización de la energía: el uso de energía por parte de las tecnologías de la información y la comunicación.....	64
4. CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	69
ÍNDICE DE RECUADROS Y GRÁFICOS.....	74

INTRODUCCIÓN

La descarbonización del sector de la energía es un buen ejemplo de cómo dos de los mayores retos a los que se enfrentan las economías a nivel global, transición energética y transformación digital, pueden interactuar de manera sinérgica.

Como respuesta a la urgente necesidad de transitar hacia una economía descarbonizada, la configuración del sector de la energía está cambiando a un ritmo sin precedentes. La creciente integración de las energías renovables, la extensión del uso de los vehículos eléctricos o los desarrollos de nuevas soluciones en el almacenamiento de energía ofrecen unas perspectivas favorables sobre la contribución que puede hacer el sector de la energía a la mitigación del cambio climático.

Esta transformación está estrechamente ligada a la digitalización de la economía, que resulta clave para obtener los máximos beneficios sociales y económicos de la transición energética. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, la digitalización, la conectividad y la inteligencia artificial contribuyen a que los sistemas energéticos mejoren en eficiencia, seguridad, flexibilidad y sostenibilidad; actuando como catalizadores de la transformación del sector hacia su descarbonización.

Cabe señalar que el sector energético cuenta con la ventaja de haber asumido desde hace tiempo la necesidad de mejorar el uso y despliegue de tecnologías digitales. Esta experiencia lo sitúa en una buena posición de partida para hacer frente a una nueva oleada de transformación digital vinculada, esta vez, a su propia transición hacia un sistema más eficiente y con una mayor integración de las energías renovables.

El presente documento de trabajo tiene como objetivo analizar los impactos de la digitalización sobre la transición del sector energético hacia una actividad descarbonizada. Se pretende ofrecer una visión integral de los cambios que trae consigo la descarbonización “inteligente” (digitalmente hablando) del sector de la energía, valorar en qué medida está preparado el sector para su

transformación digital, en particular en España, y por último, apuntar los retos a los que se enfrenta este proceso, todo ello con el objetivo de invitar a la reflexión sobre cómo afrontar esta transición tanto desde el ámbito público como privado.

En primer lugar, se analiza la aplicación de las tecnologías digitales en los tres elementos fundamentales del nuevo modelo energético descarbonizado, es decir, en la mejora de la eficiencia energética, en la integración de las energías renovables y, sobre todo, en la electrificación de las economías. Se hace especial hincapié en este último, en tanto que el sector eléctrico parece ser el que puede contribuir en mayor medida a este cambio, al facilitar la integración de las energías renovables. El sistema eléctrico se encuentra ante un nuevo paradigma determinado por una generación más descentralizada y distribuida, por una mayor participación de energías renovables y por el especial protagonismo que adquieren los consumidores y usuarios.

En segundo lugar, se expone el grado de digitalización del sector de la energía, descendiendo al caso español, y se presentan los cambios que este nuevo modelo descarbonizado e inteligente supone para las empresas del sector y sus modelos de negocio.

En tercer y último lugar, se apuntan los retos a los que se enfrenta la digitalización de las economías, cuya superación resulta esencial para extraer todas las ventajas que la transformación digital supone para la descarbonización del sector de la energía. Dichos desafíos están relacionados principalmente con el grado de penetración de las tecnologías digitales, tanto en despliegue físico como en cuanto al uso que de ellas hacen empresas y consumidores, con los posibles problemas de ciberseguridad y privacidad que se pueden dar, con el impacto sobre el empleo y las nuevas cualificaciones requeridas o, incluso, con el propio consumo de energía de las tecnologías digitales.

Muchas de las cuestiones y soluciones que se plantean en este documento de trabajo eran inimaginables hace unos pocos años. A pesar de que algunas de ellas se encuentran todavía en una fase temprana de desarrollo o que el despliegue de las redes o de los dispositivos necesarios para hacerlas cotidianas no resulta aún suficiente, la aceleración del progreso tecnológico y las fuertes inversiones que se están llevando a cabo en este ámbito indican que la transición a una descarbonización inteligente del sector de la energía está en marcha.

1. LA DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO. OPORTUNIDADES DESDE LA CRECIENTE DIGITALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA.

Cada vez es mayor el consenso sobre la necesidad de que el tránsito hacia un modelo económico descarbonizado se apoye en dos de los grandes cambios que están transformando las sociedades actuales: la digitalización y la transición energética.

El papel de la energía en la transición hacia una economía de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero es esencial, en tanto que responde de una parte importante de esas emisiones¹. Se trata, por tanto, de reducir al máximo las emisiones del sistema energético desde la premisa de que su suministro sea seguro y sostenible, tanto desde una perspectiva medioambiental como económica.

En los últimos años, la preocupación y la concienciación sobre la necesidad de mitigar el cambio climático han sido objeto de interesantes debates públicos que han propiciado la puesta en marcha de acciones políticas. Así, el Acuerdo de París en 2015, haciéndose eco de la creciente preocupación sobre la situación del planeta, concretó los objetivos de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible y fijó unos compromisos para su logro.

En el ámbito comunitario, estos compromisos se recogieron en la Comunicación “Energía limpia para todos los europeos” (COM (2016) 860 final) conocida popularmente como el *Winter Package*, o paquete de invierno, donde se reconocía la necesidad de llevar a cabo una transición energética que tuviera como prioridades la eficiencia energética, el liderazgo mundial de la UE en materia de energías renovables y el trato justo a los consumidores.

En noviembre de 2018, la UE fijó sus objetivos de descarbonización en base a dos escenarios, uno a medio plazo, en 2030 (Recuadro 1) y, otro de más largo plazo, en 2050, año en el que la economía europea debería llegar a ser neutra

¹ En el conjunto de la Unión Europea responde del 75 por 100 de las emisiones tal y como se recoge en Comisión Europea. COM (2018) 773 final. “Un planeta limpio para todos la visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra”.

en carbono², objetivos que se recogen también en su Estrategia de largo plazo “Un planeta limpio para todos” (COM (2018) 773).

RECUADRO 1: OBJETIVOS DE DESCARBONIZACIÓN DE LA UE Y DE ESPAÑA PARA 2030

Objetivos de la UE, <i>Winter Package</i> (revisados el 28 de noviembre de 2018)	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 de España
<p>40% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.</p> <p>32% de renovables sobre el consumo total de energía final, para toda la UE.</p> <p>32,5% de mejora de la eficiencia energética.</p> <p>15% de interconexión eléctrica de los Estados miembros.</p>	<p>21% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.</p> <p>42% de renovables sobre el consumo total de energía final, para toda la UE.</p> <p>39,6% de mejora de la eficiencia energética.</p> <p>74% renovable en la generación eléctrica.</p>

Pero toda esta transición no se entiende si no viene acompañada de manera sinérgica por el desarrollo de las tecnologías digitales. En efecto, las innovaciones tecnológicas en ámbitos como la digitalización, la conectividad a través de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) o la inteligencia artificial están acelerando el proceso de transición energética y ofrecen soluciones a todos los sectores involucrados en la descarbonización de las economía como son el transporte, los usos residenciales, los procesos industriales y, por supuesto, la industria de la energía.

En el caso del sector de la energía, la aplicación del Internet de las cosas (*IoT*)³, la robotización y la sensorización permiten obtener un mayor valor añadido gracias a la hiperconectividad y a la aplicación del *bigdata*. Numerosos desarrollos digitales vienen demostrando, desde hace tiempo, que pueden impulsar un uso más eficiente de la energía en muchos sectores.

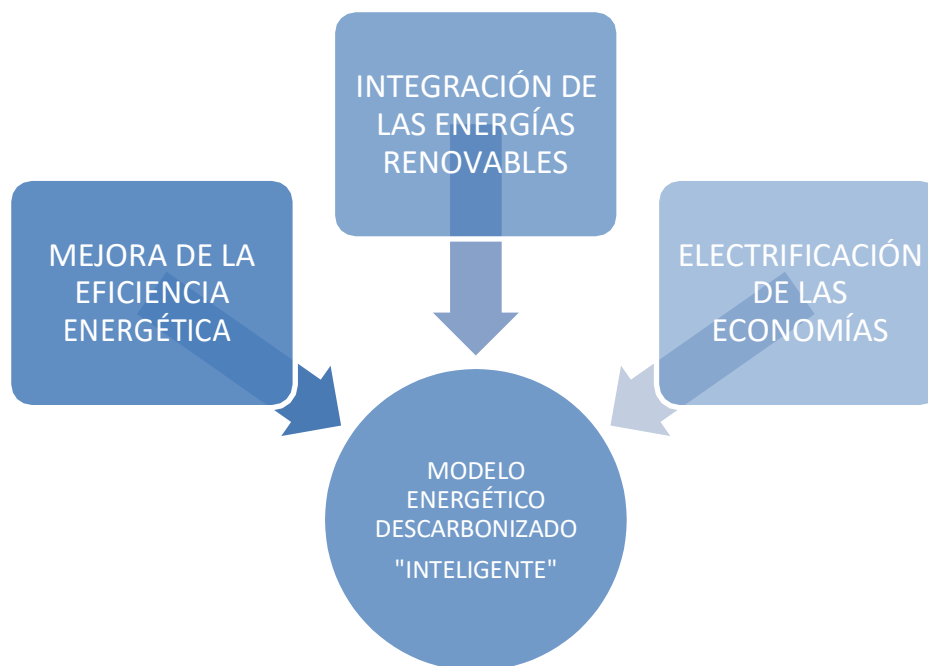
² Muchos países del entorno comunitario han establecido estrategias para llevar a cabo esa transición energética limpia (De las Heras, 2017). En el caso de España el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 de España, aprobado el 22 de febrero de 2019, fija también 2050 como año objetivo para convertirse en un país neutro en carbono, para lo que ha establecido un objetivo vinculante de reducción del 90% de las emisiones brutas totales de GEI respecto a 1990.

³ Según Estrada B. y Pumarada M. (2018) el Internet de las Cosas (*IoT, Internet of Things*) se refiere al establecimiento de vínculos entre las máquinas u objetos, sin intervención humana y a lo largo de toda la cadena de valor de los procesos. Normalmente la cosa que recibe la información está dotada de un procesador y la que transmite la información de, al menos, un sensor.

Sin embargo, en la actualidad, la digitalización permite obtener beneficios más allá de la mejora de la eficiencia energética. Los últimos desarrollos y aplicaciones permiten impulsar la electrificación de las economías y facilitan la integración de las energías renovables, ambos esenciales para la descarbonización del sector.

Además, la penetración de las nuevas tecnologías digitales en el sector de la energía está propiciando el desarrollo de nuevos modelos de negocio, e incluso está modificando el propio modelo energético, de manera que se está pasando de sistemas en los que la generación y la distribución de la energía estaban centralizados, a una red distribuida en generación, con autoconsumidores o prosumidores⁴, con edificios y movilidad conectados, dando lugar a ciudades inteligentes desde una perspectiva energética.

Por tanto, la transición hacia este nuevo modelo energético, descarbonizado e inteligente, exige impulsar tres aspectos fundamentales: la mejora de la eficiencia energética, la penetración de las energías renovables y sobre todo, la electrificación de las economías.



⁴ Como se analiza más adelante los prosumidores son consumidores que producen su propia electricidad (autoconsumidores) que, en determinados momentos, pueden convertirse en productores para el sistema, vertiendo al mismo sus excedentes.

1.1. La digitalización como herramienta para mejorar la eficiencia energética

La digitalización puede impulsar la mejora de la eficiencia energética en los distintos usos de la energía. Por lo general, la mayor parte de las emisiones de CO₂ provienen de cuatro actividades: el transporte, el sector residencial y comercial, la industria y la generación de energía eléctrica. Estos sectores de demanda final de energía deben contribuir al logro de los objetivos de descarbonización a través tanto de un uso más eficiente de la energía y una menor dependencia de los combustibles fósiles, como, sobre todo, a partir de su mayor electrificación.

1. En este contexto, la eficiencia energética del **sector del transporte** resulta clave puesto que responde de una parte importante de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Numerosos avances tecnológicos, digitales y nuevas aplicaciones permiten optimizar el uso de la energía en el transporte; desde los planificadores de ruta a partir de una cantidad grande de datos e información, que permiten tomar decisiones para reducir el consumo de combustible, hasta aplicaciones más cotidianas como las plataformas de movilidad compartida (*carsharing* o *bikesharing*) o tecnologías de conducción automática⁵.

Pero, de todos estos avances, la irrupción de los vehículos eléctricos es, sin lugar a dudas, el desarrollo que dentro de la movilidad propiciará en mayor medida la descarbonización del sector transporte. Se prevé que la movilidad eléctrica desplace, en el largo plazo, a la mayoría de los medios de transporte que utilizan combustibles fósiles.

Además, más allá de los efectos beneficiosos en cuanto a la reducción de emisiones de CO₂, los vehículos eléctricos están llamados a jugar un papel esencial en la integración de las energías renovables gracias a la digitalización y la conectividad, con la instalación de sistemas de recarga inteligente (*smart charging*) y la tecnología que vincula el vehículo a la red

⁵ Además, muchos de estos desarrollos permiten optimizar las operaciones de logística y propician un uso eficiente del transporte multimodal.

(*v2g, vehicle to grid*) y, como se expone más adelante, permitirán aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico.

Sin embargo, todo lo anterior supone un importante reto para la industria del automóvil⁶ y para muchos de sus servicios auxiliares; y, por supuesto, también para el sector de la energía, ya que al desplazar a los vehículos que utilizan combustibles fósiles, la demanda de gasolinas y gasóleos se reducirá, afectando obviamente a una parte importante de las empresas del sector.

2. En los **usos residenciales**, la digitalización también ofrece *a priori* oportunidades para mejorar su eficiencia energética, partiendo de una mayor concienciación de las economías domésticas, y sobre todo, implantando nuevas formas de construcción residencial que integren la eficiencia energética en su diseño⁷.

Para ello, las tecnologías digitales ofrecen numerosas oportunidades para mejorar la eficiencia energética de los hogares. Por ejemplo, con la introducción de equipos, como los termostatos inteligentes, que gestionan los sistemas de climatización de los hogares y permiten el control remoto de los mismos, así como con la incorporación de tratamiento avanzado de los datos -preferencias personales, condicionantes atmosféricos e incluso situación de los precios-. Lo mismo sucede con la iluminación inteligente, que además de tener aplicaciones domésticas, puede favorecer la eficiencia energética de las ciudades. Todo ello genera importantes ahorros energéticos en los sistemas de calefacción, de refrigeración o de

⁶ Fresco, P. (2019): “El vehículo eléctrico es más simple que el de combustión y está formado por muchas menos piezas (alrededor de un 40% menos), por lo que requiere menos mano de obra en su fabricación (aproximadamente un 25% menos de horas de trabajo), situación que tendrá un obvio impacto negativo en el empleo de factorías e industria auxiliar del automóvil”.

⁷ Así por ejemplo, en el ámbito comunitario, en mayo de 2018 se aprobó la Directiva (UE) 2018/844, relacionada con la eficiencia energética de los edificios, por la que se crea una senda clara hacia un parque inmobiliario descarbonizado en la UE en 2050 y establece recomendaciones para la rehabilitación de edificios. En ella se favorece el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), se promueve la incorporación de tecnologías inteligentes para asegurar que los edificios sean eficientes, por ejemplo mediante la introducción de sistemas de control y automatización y se propicia el despliegue de infraestructuras para la electromovilidad en todos los edificios, introduciendo la obligación de instalar puntos de recarga.

iluminación, que de manera conjunta responden del 60 por 100 de la demanda de energía final en el sector residencial (IEA, 2017a).

Sin embargo, como se señalará más adelante al analizar los retos a los que se enfrenta el proceso de transformación energética inteligente, la mayor conectividad de algunos electrodomésticos y dispositivos de consumo genera debates sobre el riesgo potencial de pérdida de privacidad y, además, dado que estos elementos inteligentes necesitan energía para su funcionamiento, se llega incluso a cuestionar que el balance final en el consumo de energía sea más reducido.

3. En el caso de la **industria**, el impacto de la digitalización en cuanto a su eficiencia energética comparte rasgos similares a la eficiencia en los usos residenciales, pero con la diferencia de que las empresas, por lo general, suelen estar más concienciadas sobre la necesidad de reducir sus insumos de energía, en tanto en cuanto afectan directamente a su competitividad. De hecho, la energía representa uno de los principales conceptos de la estructura de costes de muchas empresas industriales. En concreto, la electricidad llega a constituir en algunos casos uno de sus principales factores de producción, por lo que la evolución de su precio impacta directamente en sus costes, en sus resultados económico-financieros y, con ello, en su capacidad competitiva.

Pero, además, como expuso el Consejo Económico y Social de España (CES, 2017a), “la digitalización adquiere su máxima expresión en el caso de la industria al favorecer la modernización de los procesos industriales, e incluso de la producción”. La digitalización y la innovación son la esencia del concepto de industria 4.0 y, por consiguiente, la aplicación de las nuevas tecnologías a sus usos de energía simplemente constituye un aspecto más de su estrategia de digitalización.

4. El proceso de descarbonización lleva aparejada la necesidad de que la **generación de energía** presente un balance de emisiones cero en 2050, por lo que es más que probable que ese cambio será liderado por la generación de energía renovable. No obstante, la transición no será inmediata y durante unos años, la generación de energía continuará dependiendo de fuentes fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. Estas

fuentes de generación más maduras jugarán un papel esencial en la planificación de esta transición, a través de su participación en los distintos horizontes temporales en función de la evolución de las diferentes tecnologías y su eficiencia relativa (Deloitte, 2018).

Para esta generación más madura, las tecnologías digitales han venido ofreciendo una serie de soluciones que, buscando maximizar su eficiencia, contribuyen al objetivo de descarbonización y de reducción de emisiones. De hecho, la generación de energía ha incorporado desde hace tiempo las nuevas tecnologías de la información y la comunicación a su actividad como instrumento para mejorar los procesos de producción, reducir costes y mejorar la seguridad. Sin embargo, hasta ahora, esa aplicación de los desarrollos digitales ha buscado, principalmente, mejorar la productividad del sector, y son menos los desarrollos para reducir su impacto medioambiental y, por tanto, para contribuir positivamente a la descarbonización.

El mayor impacto de los nuevos desarrollos de las tecnologías digitales se concentra sobre todo en las operaciones *upstream* (exploración y producción) de las empresas de petróleo y gas y en las de extracción de carbón por parte de las empresas mineras. Este segmento del sector de la energía está considerado como uno de los más avanzados y sofisticados tecnológicamente hablando. Desde hace tiempo, el sector lleva procesando y explotando bases de datos con numerosa información sobre los terrenos, por ejemplo sobre las condiciones sísmicas, para poder diseñar la estructura de los yacimientos. También se han utilizado aplicaciones digitales para la robotización de algunos procedimientos o para la automatización y el control remoto de las perforaciones que, a su vez, pueden utilizar sensores avanzados e, incluso, drones con el objetivo de mejorar la seguridad y la productividad de las extracciones. Además, este tipo de tecnologías digitales están permitiendo mejorar el rendimiento de las actividades de recuperación de petróleo a través del *fracking* (*shale oil*) o de *tight oil* (IEA, 2017a). En efecto, como se ha indicado, las tecnologías digitales están permitiendo una mayor productividad de estas

fuentes de generación, pero su impacto en términos de reducción de emisiones es escaso.

En el largo plazo, la necesaria descarbonización de las economías y los cambios asociados a un nuevo tipo de demanda de energía -electrificada, activa e “inteligente”- obligará a la reconversión de la generación a partir de combustibles fósiles, lo que condicionará sus futuras inversiones, también en tecnologías digitales. Esa reconversión va más allá de la introducción de los biocombustibles, que a lo largo de los últimos años ya ha obligado a las empresas a realizar inversiones para adaptarse al nuevo marco regulatorio (Sanz, M.A., 2018) y también más allá del desarrollo de tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂.

De hecho, aunque no coinciden en la velocidad del proceso, prácticamente, todas las previsiones apuntan a un descenso en la demanda de productos petrolíferos en el largo plazo. Por consiguiente, a pesar de que los yacimientos y las minas puedan beneficiarse del uso de aplicaciones digitales cada vez más sofisticadas, se pone en cuestión el sentido económico-financiero en el medio-largo plazo de ese esfuerzo inversor (IEA, 2017a).

En el corto-medio plazo, dependerá del papel que jueguen otras fuentes convencionales, como el gas natural o las centrales de bombeo, en el proceso de descarbonización. Se apunta a que dado que el uso del gas natural y la cogeneración llevan asociadas unas menores emisiones, frente a otras centrales de generación térmica, su contribución a la transición energética puede resultar clave en el medio plazo. El gas natural pasaría a ser considerada como una fuente energética de transición (Egea, J.M., 2018) porque a su papel de generador de electricidad de menores emisiones, se suma el potencial que todavía presenta en los segmentos residencial y de transporte.

En definitiva, las mayores ventajas de la penetración de la digitalización en cuanto a la eficiencia energética se obtienen a través de la electrificación de los sectores de transporte, de los usos residenciales y de la industria.

La electrificación ofrece un doble dividendo, por un lado, reduce las emisiones de los sectores de demanda, principalmente, a través de la movilidad eléctrica sostenible y de la gestión inteligente de los sistemas de climatización en los hogares, y, por otro, aumenta la eficiencia a través de la incorporación de tecnologías digitales (sensores e *IoT*) gestionadas de manera conectada. Estas tecnologías, combinadas con el tratamiento avanzado del *bigdata*, permiten aplicar soluciones inteligentes a la electrificación de la economía y ofrecen una mayor flexibilidad al sistema eléctrico, permitiendo una mayor integración y despliegue de las energías renovables. Además, tanto el sector residencial como el industrial pueden mejorar sustancialmente sus balances energéticos gracias a la opción de convertirse en prosumidores de electricidad.

1.2. La integración de las energías renovables a través de la digitalización

Conseguir un suministro primario de energía procedente de energías renovables⁸ se puede considerar la piedra angular de la descarbonización de los sistemas energéticos y de la consolidación de un modelo de energía limpia. En la actualidad, las perspectivas de integración de las energías renovables en los sistemas energéticos han mejorado sustancialmente, gracias a la importante reducción de costes de generación de estas tecnologías, la creciente electrificación de las economías y la descentralización del sistema, todo ello impulsado por unos amplios desarrollos digitales y una mayor conectividad.

La mayor participación de las energías renovables en los sistemas energéticos se produce fundamentalmente a través de los sistemas eléctricos⁹. Por tanto, la electricidad liderará la transición energética ya que constituye un vector determinante para lograr la integración de este tipo de generación.

⁸ Se entiende por energía renovable “la energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, energía solar (solar térmica y solar fotovoltaica), y energía geotérmica, energía ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica y energía procedente de biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, y biogás” (Directiva (UE) 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018)

⁹ Sin perjuicio de que también puedan generar combustibles “bio” para ser utilizados en otros sectores de demanda.

En los últimos años, el rápido descenso en los costes de generación de energía renovable¹⁰ -principalmente de la no gestionable, es decir la solar y la eólica- justifica y facilita que la transición a una economía más descarbonizada se apoye en la mayor participación de estas fuentes de energía de cero emisiones¹¹.

Los primeros desarrollos de este tipo de centrales de generación, pocos años atrás, presentaban unos costes fijos muy elevados. De hecho, estas centrales se han venido clasificando tradicionalmente según su estructura de costes como tecnología de base, es decir, con costes fijos relativamente elevados y costes variables relativamente bajos, o prácticamente cero (CES, 2017b).

El descenso en los costes de las energías renovables traerá a largo plazo beneficios tanto para la economía como para la sociedad, ya que reduce la dependencia de las importaciones de energía (factor de vulnerabilidad de la economía española), fomenta la seguridad del abastecimiento energético, suministra energía sostenible a precios más asequibles, mejora la competitividad de las empresas al poder rebajar su factura energética y permite a los hogares acceder a precios más razonables de un bien que se puede considerar de primera necesidad (CES, 2017b).

Más allá de su coste, la integración en el sistema de las energías renovables, como la solar o la eólica, se enfrenta a la dificultad de que su producción es intermitente y escasamente predecible, y su gestión es, en muchos casos, descentralizada. Estas características, inherentes a dichas fuentes renovables, exigen dotar a los sistemas eléctricos de una mayor flexibilidad, es decir, de una mayor capacidad para adaptarse a las condiciones dinámicas y cambiantes tanto de la oferta como de la demanda, buscando siempre el equilibrio entre la energía inyectada en la red y la retirada.

¹⁰ Según IRENA (2018a), entre 2009 y 2018, el precio de los módulos de energía fotovoltaica ha caído más de un 80 por 100 y el coste de la electricidad generada por paneles solares un 75 por 100. Asimismo, el precio de la energía eólica también ha descendido de media un 50 por 100 y se espera mayores descensos en el futuro.

¹¹ De hecho, la Unión Europea en su Directiva (UE) 2018/2001 de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, ha dejado abierta la posibilidad de revisar al alza en 2023 su objetivo vinculante respecto a la cuota de energía procedente de fuentes renovables para 2030.

Hasta ahora, en los sistemas eléctricos convencionales, la flexibilidad del sistema quedaba garantizada por el lado de la oferta, de modo que se ajustaba la generación a la demanda de cada momento; esto era así porque la demanda no se podría gestionar y era insensible a los cambios del sistema. De ahí que la integración de las renovables en el sistema eléctrico se haya vinculado tradicionalmente a la existencia de una generación “de respaldo”, generada a partir de fuentes convencionales, que garantizase esa flexibilidad y la fiabilidad del suministro y que respondiera a la imposibilidad de almacenar electricidad a gran escala. El equilibrio del binomio generación-demanda se ha venido logrando gracias a la puesta en marcha de soluciones como la desconexión/conexión de la generación renovable, el uso de la potencia instalada de bombeo y la utilización de las interconexiones internacionales (Energía y Sociedad, s.f.).

Sin embargo, en la actualidad, gracias a los nuevos desarrollos digitales y a la conectividad del sector eléctrico –i.e. la interacción inteligente entre productores, usuarios y los gestores de la red- han surgido nuevas soluciones viables desde el punto de vista técnico y económico que facilitan el equilibrio entre la generación y la demanda. La creciente penetración de las tecnologías digitales otorga una mayor flexibilidad al sistema, principalmente gracias a la gestión inteligente e interconectada de la demanda, a una mayor conexión a la red de dispositivos dotados de *IoT* y al potencial nada desdeñable que ofrece la electrificación de la movilidad y la recarga inteligente (*smart charging*)¹². Todo ello en un entorno de elevada actividad investigadora orientada a mejorar la capacidad de almacenamiento de la electricidad.

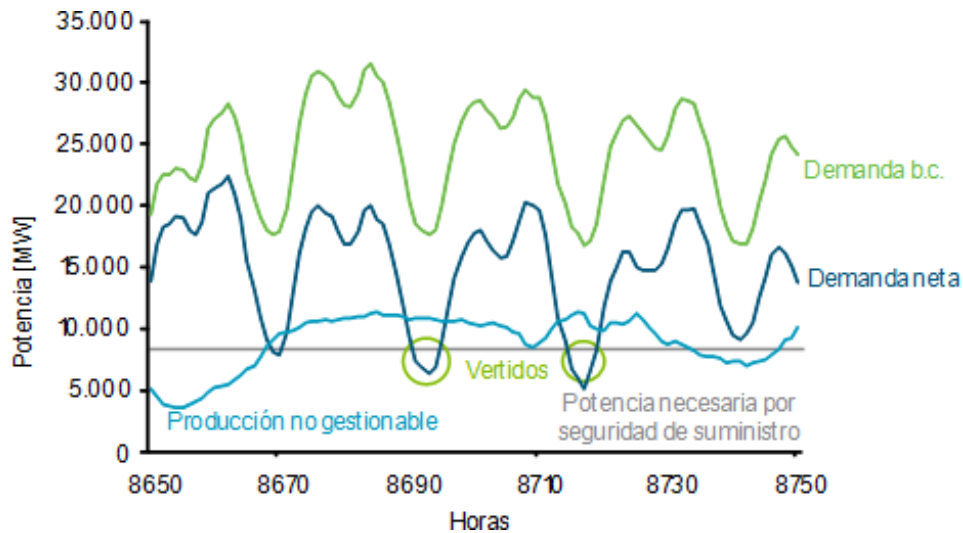
Además, con el incremento de la flexibilidad del sistema, se conseguirán menores vertidos (o *curtailments*) de energía renovable¹³, que en términos de costes de oportunidad representan pérdidas de ingresos para los productores

¹² La IEA estima que superar esa barrera para la integración de las renovables en el sistema eléctrico permitirá una gestión más eficiente de la generación renovable, evitando la pérdida del 7 por 100 de esa generación que se daría en caso de no desarrollar esos sistemas de flexibilidad (IEA, 2016).

¹³ (Energía y sociedad, s.f.) “En el caso de que la energía producida sea superior a la demanda, y las medidas tomadas a cabo no fueran suficientes como para corregir este desequilibrio, causaría un excedente de energía desaprovechada, denominado “vertido”. Este término sólo hace referencia a excedentes de energía de origen renovable.

por la energía generada ya que ésta ni se consume ni se puede exportar (Energía y Sociedad, s.f.; IRENA, 2019).

GRÁFICO 1: EL PROBLEMA DE LA FALTA DE FLEXIBILIDAD. EJEMPLO ILUSTRATIVO DE VERTIDO EÓLICO



Fuente: Energía y sociedad (s.f.), *Manual de la energía*. www.energiaysociedad.es

La digitalización y la mayor conectividad, junto a la mejora de las interconexiones internacionales o del almacenamiento en grandes baterías, están cambiando el paradigma del sector de la energía puesto que desbloquean el problema de la falta de flexibilidad de las energías renovables no gestionables.

Asimismo, cabe recordar, que existen desarrollos digitales que pueden mejorar la productividad de las renovables y su eficiencia en la generación, reduciendo su variabilidad e impredecibilidad. Análisis meteorológicos avanzados, a partir del uso de dispositivos de medida o sensores en el terreno, que ofrecen información a tiempo real, o de la gestión de *bigdata* a partir de patrones históricos meteorológicos, junto a aplicaciones de inteligencia artificial y modelos matemáticos mejorados, pueden mejorar los pronósticos del tiempo y, por tanto, la aumentar la confianza del sistema. El desarrollo de muchas de estas tecnologías está en fases iniciales, pero cualquier progreso supone enormes avances para las operaciones del sistema, con los consiguientes beneficios económicos (IRENA, 2019), lo que, además, justifica la necesidad de apoyar e invertir en la I+D dedicada a estos proyectos.

Unas previsiones de generación de energía solar o eólica más ajustadas gracias a las tecnologías digitales facilitarían la reacción de la generación convencional

flexible para aumentar o disminuir su producción, resultando en unas menores emisiones, unos menores vertidos y, en definitiva, un funcionamiento del sistema más efectivo y descarbonizado¹⁴.

1.3. Electrificación, descentralización y digitalización: vectores del cambio de paradigma

La electrificación, descentralización y digitalización son los principales vectores explicativos de los cambios que está experimentando el sector de la energía.

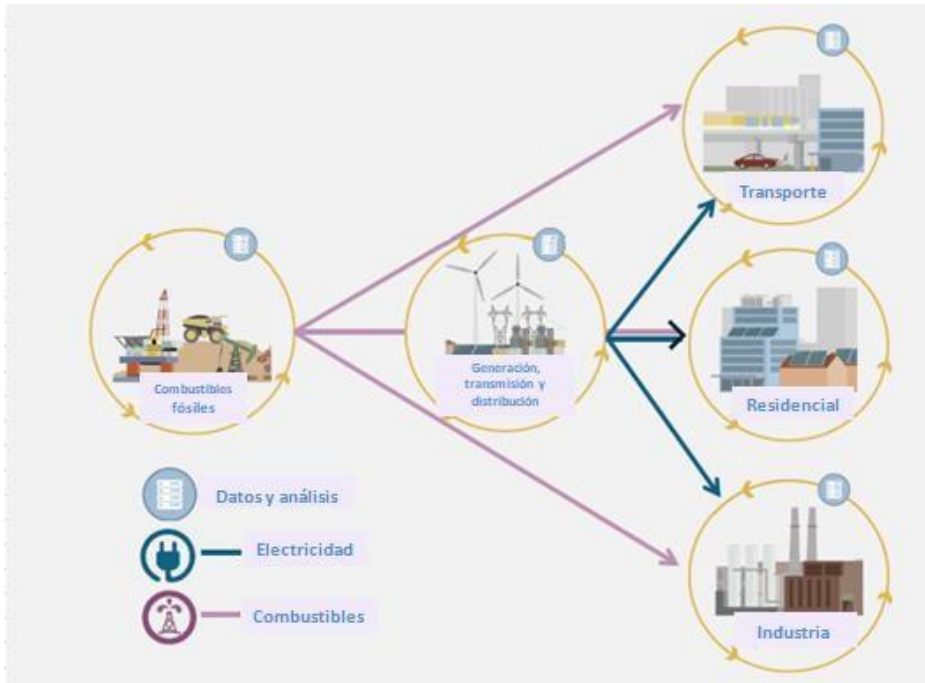
La tradicional estructura del sector eléctrico, en la que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización estaban claramente diferenciadas, está cambiando sustancialmente (Gráfico 2 A.). La electricidad se generaba en centrales de energía, era transportada y distribuida por la red y se entregaba a los usuarios residenciales, comerciales o industriales. Bajo esa estructura tradicional, la conexión era unidireccional y los avances digitales, a través de análisis avanzados de los datos, mejoraban tanto el funcionamiento como las operaciones del sistema, permitiendo una mayor eficiencia en costes.

Sin embargo, en la actualidad, la digitalización y la conectividad permiten unir, monitorizar, agregar y controlar un elevado número de unidades individuales productoras de energía y un alto número de unidades consumidoras (IEA, 2017a). Un sistema digitalmente hiperconectado desdibuja las tradicionales fronteras que separan y definen la oferta y la demanda, entre la generación y los consumidores, y aumenta la posibilidad de que, de manera descentralizada o distribuida, se den mercados de energía de carácter local y una creciente oferta de servicios de red (Gráfico 2 B.). Incluso su interacción ha dejado de ser unidireccional, pasando a ser bidireccional tanto para los flujos de energía como para los monetarios.

¹⁴ En su informe *Innovation landscape for a renewable-power future (2019)* IRENA apunta que de acuerdo con las estimaciones de BNEF (2017), la aplicación de las tecnologías digitales al pronóstico meteorológico (muchas de ellas todavía en fase de prueba) aumentaría su precisión del 88 por 100 actual al 94 por 100 para el conjunto del sector. Asimismo, estas mejoras aplicadas a la tecnología solar mejorarían los pronósticos sobre irradiación solar en un 30 por 100 según los estudios de NREL (2015).

GRÁFICO 2: TRANSFORMACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO POR LA DIGITALIZACIÓN

A. Estructura tradicional del sector eléctrico



B. Estructura de un sector eléctrico digitalizado, descentralizado y conectado



Fuente: Traducido de IEA (2017a): *Digitalization and energy*.

Aparecen nuevos agentes a partir de esa generación distribuida, los prosumidores, que son consumidores que producen su propia electricidad y que, en determinados momentos, pueden convertirse en productores para el sistema. Asimismo, esta generación distribuida puede gestionarse de manera conectada a través de relaciones de individuo a individuo (*peer to peer, p2p*) o entre

dispositivos inteligentes (*machine to machine, m2m*), que establecen entre ellos contratos inteligentes (*smart contracts*). Estos, además, pueden estar organizados en mini-redes que a su vez pueden estar conectadas o no¹⁵ al sistema eléctrico general. Asimismo, surge la figura del agregador de demanda, que actuaría de intermediario combinando múltiples cargas de consumidores, productores o instalaciones de almacenamiento para su venta o compra en el mercado organizado o servicios al sistema¹⁶.

Principales rasgos del nuevo paradigma del sector eléctrico.

La transición del sector de la energía hacia su descarbonización apoyada en las tecnologías digitales está modificando los conceptos, las premisas y, en definitiva, los paradigmas que hasta ahora sustentaban y explicaban el funcionamiento del sector de la energía y, en particular, del mercado de la electricidad. Los principales rasgos del nuevo paradigma del sector podrían resumirse en los siguientes:

1. [La electricidad ha dejado de ser un bien homogéneo](#). Las nuevas tecnologías digitales, en concreto, la aplicación del *blockchain* al suministro energético permite su trazabilidad, de modo que se puede conocer el origen de la energía consumida, por ejemplo, para saber qué parte procede de fuentes renovables. Al indicar o cualificar la oferta de electricidad, el consumidor puede elegir el tipo de electricidad que desea.
2. [La electricidad se puede almacenar](#) y cada vez con mayor eficiencia tanto técnica como de costes. Esta realidad supone una enorme disrupción en el mercado puesto que el funcionamiento y las operaciones en el mercado

¹⁵ Como se analiza más adelante, gracias a la digitalización se pueden construir mini-redes en zonas remotas a las que no llega la red convencional pero que, por ejemplo, pueden disponer de una dotación natural suficiente para generar electricidad renovable, constituyendo una especie de “autoconsumo compartido en una red cerrada”.

¹⁶ En el caso de España, muchos de estos cambios se han acelerado a partir del Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. Se eliminan algunas barreras al autoconsumo y a la generación distribuida y se introducen los principios fundamentales para el desarrollo de estas actividades: el derecho a autoconsumir energía eléctrica sin cargos, eliminando el “impuesto al sol”, el derecho al autoconsumo compartido por parte de uno o varios consumidores para aprovechar las economías de escala y, por último, el principio de simplificación administrativa y técnica, especialmente para las instalaciones de pequeña potencia.

de la electricidad han venido trabajando bajo la premisa de que la electricidad generada o se utilizaba o no se podía almacenar, lo que daba lugar a vertidos ineficientes. La investigación y desarrollo en el ámbito del almacenamiento se ha intensificado en los últimos ejercicios, y ya está ofreciendo resultados que eran impensables pocos años atrás. Además, la creciente conexión al sistema tanto del coche eléctrico como de otros dispositivos inteligentes dotados de baterías también permiten gestionar el almacenamiento de la electricidad, y hacerlo de manera automática, en remoto, dirigido por un *software*.

3. [Existe un alto número de competidores en la generación.](#) Las grandes centrales convencionales tendrán que convivir con un creciente número de productores. La generación distribuida y el autoconsumo suponen un incremento de la competencia en el mercado, con la aparición de nuevos agentes por el lado de la oferta. El creciente papel de las plataformas tanto de consumidores como de generadores, que formalmente pueden asociarse en agregadores, constituyen nuevos agentes que participan en el sistema tanto por el lado de la oferta como de la demanda. Muchos de estos nuevos competidores y agentes en el mercado de la generación presentan, además, modelos de negocio mucho más ágiles y dinámicos, y con un marcado carácter digital (*born digital*).
4. [La demanda reacciona a la situación del mercado.](#) En efecto, la demanda deja de ser pasiva, rígida y precio aceptante. Los consumidores irán, de manera creciente, mostrando una mayor sensibilidad a los precios, modulando su demanda e incluso pudiendo llegar a establecer nuevos modelos de consumo. Los contadores inteligentes y las posibilidades de autoconsumo otorgan a la demanda esa mayor flexibilidad. Y esto es así, tanto para grandes consumidores, como para pequeños, tanto para empresas como para economías domésticas.
5. [Los consumidores tienen capacidad de negociación.](#) Los usuarios podrán, gracias a las nuevas tecnologías, agregar su demanda y conseguir de este modo una mayor capacidad de negociación en el mercado y, en el caso de las grandes empresas consumidoras, probablemente aumentarán los contratos bilaterales. Además, los consumidores podrán, si lo estiman

razonable desde el punto de vista económico y tecnológico, constituirse como prosumidores, implantando instalaciones de autoconsumo.

6. [Las inversiones en activos intangibles resultan clave](#). Si algo ha definido a este sector ha sido la tradicional necesidad de las empresas generadoras de invertir en grandes activos físicos. Bajo el nuevo paradigma aumenta la necesidad de invertir en tecnologías digitales, gestión de datos o en inteligencia artificial, lo que modifica la política de inversión de las empresas a favor de activos intangibles, con impacto en sus balances y en sus estructuras de financiación. No obstante, las empresas deberán seguir haciendo un especial esfuerzo inversor en las infraestructuras de red, de cara a su digitalización, sobre todo en las redes de baja tensión, así como en plantas de generación renovable.
7. [Los datos son el nuevo petróleo](#). El uso de los datos adquiere especial relevancia para obtener el máximo rendimiento de la transformación del sistema eléctrico. Disponer de información más ajustada, certera y conectada de los generadores individuales, de la red de infraestructuras, de los dispositivos conectados, o de los hábitos de uso de energía de los consumidores, representan un activo imprescindible para gestionar de manera óptima los sistemas energéticos.

Bajo este nuevo paradigma, la digitalización y la conectividad ofrecen las siguientes ventajas de cara a la descarbonización del sector de la energía:

- Mejoran la eficiencia en el consumo de los clientes finales que pasan a tener un papel más activo en el mercado de electricidad gracias a la digitalización.
- Permiten realizar una gestión activa de la demanda y facilitan las operaciones de agregación de la demanda, lo que favorece la estabilidad de la red y mejora la flexibilidad del sistema.
- Facilitan la gestión adecuada e inteligente de la generación descentralizada o distribuida y constituyen herramientas imprescindibles para el desarrollo de mini-redes. Además, facilitan que los usuarios se conviertan en prosumidores susceptibles de conectarse a micro-redes locales, formando así centrales de energía virtuales (*virtual power plants*).

- Ofrecen las herramientas para monitorizar y controlar la red de manera más eficiente e identificar fallos y averías.
- Mejoran las previsiones atmosféricas y ofrecen mayores oportunidades para la integración de las energías renovables.

1.3.1. El papel del cliente final. Eficiencia en su consumo y contadores inteligentes

Uno de los cambios más relevante en todo este proceso es el papel que adquieren los clientes finales como claros protagonistas de esta transición energética digital, lo que constituye uno de los ejes fundamentales de la transformación del sector eléctrico. Los clientes han pasado de ser meros compradores pasivos de servicios de electricidad a tener un papel más activo. La domótica de “nueva generación” y la instalación de contadores inteligentes en los hogares e industrias constituyen los primeros pasos en la transformación digital del consumo final¹⁷.

En efecto, por un lado, la domótica inteligente o de “nueva generación” - identificada con el conjunto de tecnologías aplicadas al control y a la automatización inteligente de la vivienda- puede facilitar la gestión del consumo energético mejorando la eficiencia energética del sector residencial. De hecho, se están desarrollando aplicaciones móviles bastante intuitivas, que permiten al usuario compatibilizar su necesidad de ubicuidad con el control de su consumo energético (Therme, 2015); por ejemplo, a través del control remoto de sistemas de climatización dotados de termostatos inteligentes.

Por otro lado, a través de los contadores inteligentes los usuarios pueden monitorizar sus propios consumos energéticos, hacer un seguimiento en tiempo real de sus pautas de consumo y ajustar sus necesidades a esta mayor información. Pero es más, desarrollos futuros de este tipo de contadores

¹⁷ En España, la instalación de los contadores inteligentes se previó en la Orden IET/290/2012, de 16 de febrero, por la que se modifica la Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008 en lo relativo al plan de sustitución de contadores, en la que se estableció como límite de implantación diciembre de 2018.

inteligentes podrían llegar a ofrecer una visión integral de todo tipo de energía consumida (eléctrica, térmica y gas natural), permitiendo mejorar la eficiencia energética en su conjunto.

Además, desde el punto de vista de la oferta, en concreto de la fase de comercialización, estos contadores inteligentes permiten realizar discriminación horaria, es decir, aplicar el coste de la energía según el momento en que es consumida, y facilitan las operaciones de telemedida y/o telegestión, con lectura de contadores y tratamiento de la información de manera remota (CES, 2017b). Los contadores inteligentes pueden llegar a indicar en tiempo real la existencia de una avería en el servicio e incluso poner en marcha de manera automática medidas de reducción de la demanda (de ahorro energético) para facilitar la solución del problema, aumentando la flexibilidad del sistema.

Asimismo, la introducción de los contadores inteligentes permite aplicar el *big data* o *smart data*¹⁸ a la gestión de los usuarios y orientar la actividad de este sector hacia servicios minoristas. Las empresas pueden analizar los datos de consumo y facilitar información a los hogares o empresas sobre sus usos de la energía (cantidad, momento del día, etc.). No obstante, como se apuntará más adelante, todo ello supone un reto para las compañías tanto en términos de filosofía o modelo de negocio como en todo lo relativo a la ciberseguridad y privacidad de los datos.

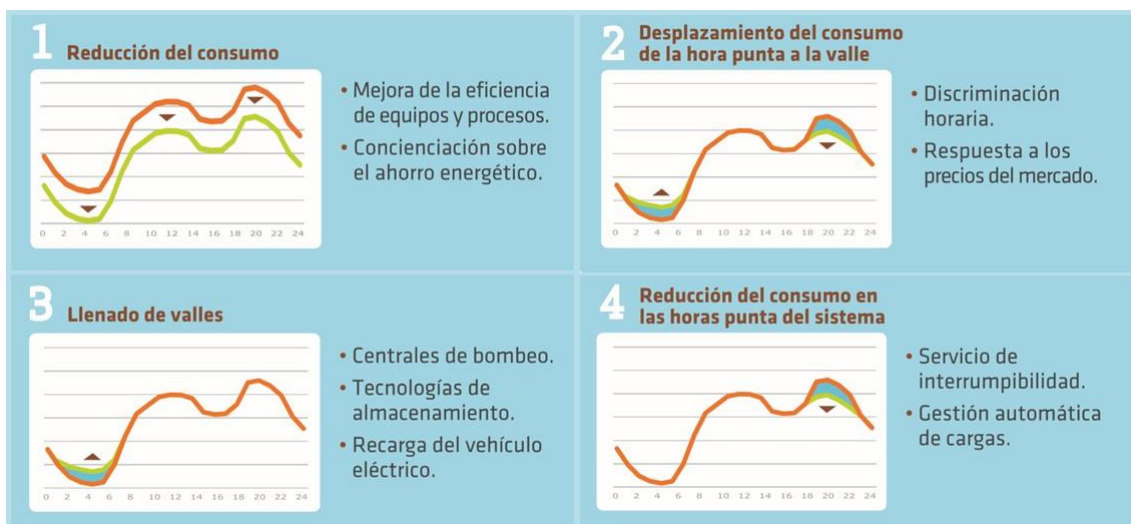
1.3.2. La gestión activa de la demanda

La digitalización y la conectividad de los sistemas eléctricos permiten flexibilizar la demanda en función de las señales del sistema, lo que se conoce como gestión activa de la demanda. Las medidas de gestión de la demanda se pueden clasificar en cuatro tipos en función de sus efectos sobre la curva de demanda (Flexilwatts, s.f.) (Gráfico 3): reducción del consumo (medida 1), desplazamiento del consumo de la hora punta a la valle (medida 2), llenado de valles (medida 3) y reducción del consumo en las horas punta del sistema (medida 4). Los avances digitales permiten sustanciales mejoras en todas ellas, pero la gestión inteligente

¹⁸ Por lo general, el *big data* hace referencia al volumen de datos y a la velocidad de transmisión, mientras que el *smart data* se refiere al uso inteligente de esa cantidad de datos con el objetivo de llegar a una solución concreta.

de la demanda optimiza, principalmente, las medidas destinadas al llenado de valles (medida 3) y la de reducción del consumo en las horas punta del sistema (medida 4).

GRÁFICO 3: PRINCIPALES MEDIDAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA



Fuente: Flexilwatts (Grupo de trabajo) (s.f.)

En efecto, las nuevas tecnologías digitales permitirían, en las horas punta del sistema, es decir, en los momentos de escasez de generación o en los casos de congestión de la red, desconectar o dejar en funcionamiento latente, de manera automática y remota, a un elevado número de dispositivos inteligentes conectados al sistema (sistemas de climatización, calentadores u otros pequeños electrodomésticos) (medida 4).

Muchos de estos dispositivos inteligentes están dotados de tecnología de almacenamiento, como baterías o acumuladores, lo que junto a las recargas del vehículo eléctrico, pueden ser utilizados para el llenado de valles (medida 3) cuando la demanda es escasa. Es decir, se pueden pasar a almacenar electricidad en esos momentos de menor consumo también de manera automática y remota, aplanando la curva de demanda.

Pero estos ajustes de demanda no son nuevos. En las horas punta del sistema, se han venido utilizando los comúnmente conocidos como mecanismos de interrumpibilidad. En efecto, la interrumpibilidad es una herramienta de gestión de la demanda que aporta flexibilidad y respuesta rápida para la operación del sistema ante situaciones de desequilibrio entre generación y demanda. Este servicio está previsto en muchos países y, hasta ahora, solía involucrar a

grandes consumidores eléctricos¹⁹. Sin embargo, lo que sí resulta novedoso, gracias a la digitalización y a la mayor conectividad, es la posibilidad de extender este tipo de mecanismo a cualquier consumidor de electricidad.

Del mismo igual modo, para cubrir los periodos valle, se ha venido consiguiendo el desplazamiento de la demanda hacia esos momentos (medida 2) a través de las tarifas nocturnas o se llenaban esos valles con la demanda de las centrales de bombeo (medida 3), otra de las formas de almacenamiento de energía; con la digitalización y la conectividad se eleva el número de usuarios que participan en estos ajustes.

También en esta gestión activa de la demanda, los contadores inteligentes juegan un papel primordial, porque ofrecen toda la información atomizada sobre el uso de las redes de distribución (REE, 2017), y complementan y enriquecen la información ya existente de las redes de tensión superiores. Esa información, junto al Internet de las cosas, la sensorización de activos y dispositivos y la capacidad de análisis del *big data* permiten esa gestión automatizada y remota de los sistemas eléctricos a favor de una mayor flexibilidad y, en definitiva, de una mayor integración de las renovables.

En definitiva, la convergencia entre la digitalización y la electrificación, a través de una mayor automatización, la difusión del Internet de las cosas (*IoT*) en el sector residencial y el comercial, el despliegue de vehículos eléctricos y los sistemas de recarga inteligentes, permitirá extender los mecanismos de gestión de capacidad a un elevado número de usuarios (no sólo a los grandes consumidores de electricidad) y lograr una mayor penetración de esta gestión activa de la demanda. Además, estos mecanismos pueden beneficiarse de la tecnología *blockchain*²⁰, puesto que facilita la documentación, la verificación y da

¹⁹ En España se activa como respuesta a una orden de reducción de potencia de Red Eléctrica a los grandes consumidores proveedores de este servicio, por lo general, la gran industria electrointensiva. A cambio de esa disponibilidad, las empresas han venido recibiendo una compensación, ya que exige cambios en la organización de la capacidad de producción o en los turnos de trabajo. Además, están obligadas a consumir más de la mitad de la energía en horas valle. En el momento de cierre del presente DT este sistema estaba siendo objeto de revisión normativa.

²⁰ Véase nota al pie número 36.

seguridad a las transacciones que se den entre el operador del sistema y la generación descentralizada, incluyendo a los consumidores y los prosumidores.

Desde luego que los beneficios para el sistema eléctrico en su conjunto son elevados, sin embargo, su penetración también dependerá del grado de traslación de ese beneficio a los consumidores y usuarios; más allá del beneficio que a largo plazo obtendrán de una economía descarbonizada. La implementación de incentivos económicos, por ejemplo, bajo la forma de un precio de la energía más bajo, lograría un mayor compromiso de una demanda atomizada.

1.3.3. La generación distribuida y el autoconsumo.

El desarrollo y despliegue de la generación distribuida se puede ver impulsado por la digitalización y la conectividad. La generación distribuida, también conocida como generación descentralizada, es la producción de electricidad a partir de pequeñas plantas, como paneles solares o molinos de viento, apoyada por baterías, de modo que generan o almacenan energía cerca del punto de consumo y que, además, suelen estar conectadas a las redes de distribución.

Los recursos y dispositivos digitales permiten sacar el máximo provecho de esta generación distribuida, por lo general situada en redes de baja o media tensión, y más allá del contador (*behind-the-meter*). Además, las baterías de almacenamiento, los sistemas de recarga inteligente de los vehículos eléctricos o de otros dispositivos y las tecnologías que permiten transformar la electricidad en calor (*power to heat*)²¹ ofrecen un enorme potencial para el desarrollo de esta generación descentralizada.

Cuando la generación descentralizada o distribuida busca el autoabastecimiento, se denomina autoconsumo. Esta solución se ha venido adoptando generalmente en las zonas remotas sin servicio de electricidad. Pero, en la actualidad cualquier consumidor que produzca su propia electricidad tiene la posibilidad, técnica, económica y normativa, de acceder a la red eléctrica convencional (CES, 2017b).

²¹ Se trata de la combinación entre el sector de la electricidad y los sistemas de calefacción residencial, lo que puede contribuir a integrar mejor las energías renovables, dotando de una mayor flexibilidad al sistema (Bloess, A. et al. (2017)). “Bombas de calor y almacenamiento térmico pasivo se apuntan como tecnologías que pueden desarrollar esta opción”.

En el marco comunitario, el autoconsumo se considera un elemento activo para la descarbonización de la energía, tal y como se recoge en el *Winter Package*, refrendado por la Directiva 2018/2001, donde se establece el derecho a generar, almacenar y vender electricidad y a obtener por ello una retribución justa. También recoge el derecho al autoconsumo compartido (por ejemplo a través de mini-redes) y la obligación por parte de los Estados miembros de simplificar los trámites.

Los consumidores se convierten, de este modo, en prosumidores y las nuevas tecnologías digitales les facilitan una gestión activa de su consumo y de su producción. Los prosumidores interactuarán con la red en función de su balance de energía, ya para inyectar electricidad, cuando su producción exceda a su nivel de consumo, ya para obtenerla, en el caso contrario.

Las ventajas para el sistema eléctrico tanto de la generación distribuida como del autoconsumo resultan evidentes. En primer lugar, incrementan la parte de electricidad generada por fuentes renovables, lo que favorece la descarbonización del sector energético. En segundo lugar, aproximan las actividades de generación y de consumo, reduciendo los flujos de energía y limitando, por consiguiente, las pérdidas eléctricas. En tercer lugar, reducen la necesidad de desplegar nuevas infraestructuras de transporte y distribución (CES, 2017b), rebajando el esfuerzo inversor y minimizando el impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.

La generación distribuida y el autoconsumo suponen una fuerte disrupción en el funcionamiento de la oferta de electricidad, aunque su fomento resulta controvertido en cuanto a la cobertura de los costes fijos que supone disponer de una infraestructura de red. Por tanto, su mayor desarrollo exigirá una revisión de la regulación y de la tarificación del servicio de electricidad, constituyendo uno de los cambios más importantes en el modelo de negocio del sistema eléctrico²².

No obstante, a pesar de que se espera un fuerte desarrollo de la generación descentralizada, la mayor parte de la energía seguirá procediendo de la generación centralizada y será gestionada de ese modo, centralizadamente (IEA

²² Como se expone en el siguiente capítulo, probablemente ya no sea la energía eléctrica lo que se venda, sino más bien los servicios asociados a la electricidad.

2017), para lo cual necesitará, como se analiza a continuación, unas redes de transporte y distribución más digitalizadas e hiperconectadas.

1.3.4. La transformación de las redes de transporte y distribución

La mayor penetración de las energías renovables no gestionables o variables, junto a la gestión activa de la demanda y la creciente presencia de generación distribuida, exigirán cambios sustantivos tanto en la concepción de la red como de sus operaciones (IRENA, 2019). En este contexto, la digitalización y la conectividad resultan elementos esenciales para extraer el máximo potencial de unas redes cada vez más inteligentes -*Smart grids*-.

Estas redes inteligentes permiten gestionar de manera bidireccional²³ tanto los flujos de energía como los flujos de información. De esta manera, se integrarán las decisiones, acciones y comportamientos de todos los usuarios conectados, ya sean consumidores, prosumidores o generadores, lo que permitirá llevar a cabo una gestión más eficiente y sostenible del sistema, reduciendo los problemas o incidencias en la red y asegurando niveles adecuados de calidad y seguridad en el suministro (CES, 2017b; REE, s.f.). Por tanto, estas redes inteligente constituyen el eje central para dotar de mayor flexibilidad al sistema eléctrico, además de reducir costes y mejorar la eficiencia (IRENA, 2019).

Las redes inteligentes se establecen en tres niveles: las super-redes o redes de transporte, a veces también llamadas de transmisión, que transportan las energías renovables a largas distancias; las de distribución²⁴, también denominadas de media-baja tensión, que son las que conectan las subestaciones de transformación (donde llegan las redes de transporte) y los contadores de los usuarios finales; y las mini-redes, que son las establecidas a

²³ Inicialmente, las redes estaban concebidas para realizar el transporte en un único sentido (Rodríguez, F., 2018), pero en la actualidad ya se encuentran trabajando en ambos sentidos. La creciente presencia de prosumidores y la generación distribuida remarcan ese carácter bidireccional de las redes.

²⁴ En España tienen consideración de instalaciones de distribución eléctrica “las líneas de tensión inferior a 220 kV que no se consideren parte de la red de transporte y todos aquellos otros elementos (comunicaciones, protecciones, control, etc.) necesarios para realizar la actividad de forma adecuada y en los términos de calidad que exige la regulación” (Energía y sociedad, s.f.).

nivel local o entre comunidades y que pueden a su vez conectarse a la red general o actuar de manera independiente.

La gestión digital de las dos primeras, transporte y distribución, permite la automatización, la integración y la coordinación de todos los agentes que se conecten a las mismas, pudiendo establecer sistemas de control en tiempo real, sistemas de seguridad y fiabilidad del sistema eléctrico, sistemas de predicción y cobertura y sistemas de gestión de la demanda, además de velar por la ciberseguridad (CES, 2017b). La posibilidad de monitorizar y controlar la red de manera remota facilita el seguimiento de los flujos de electricidad y la detección de los posibles cuellos de botella que se puedan dar.

Por otra parte, las operaciones y procesos de estas redes pueden ser optimizadas gracias a las tecnologías digitales. Desde operaciones de soporte, hasta operaciones de campo (REE, 2017), el uso de drones para vigilar las instalaciones de alta tensión en zonas poco accesibles, la utilización de simuladores para la formación de los trabajadores o de tablets conectadas para su trabajo de campo, son ejemplos de la aplicación de estas tecnologías a la gestión de las redes.

No obstante, cabe subrayar que, la red de transporte de energía en alta tensión ya constituye, en la actualidad, un referente tecnológico²⁵ y dispone desde hace tiempo de inteligencia asociada a su infraestructura. Además, su modelo de negocio está completamente comprometido con los procesos de innovación y de digitalización²⁶.

Por tanto, aunque se prevén fuertes inversiones en estas grandes redes, el mayor reto se encuentra en extender la digitalización al funcionamiento de las redes de baja potencia²⁷. Este segmento del sistema eléctrico necesitará un

²⁵ Red Eléctrica de España, *RED21* en <http://www.ree.es/es/red21>

²⁶ En España, el titular de la red de transporte, Red Eléctrica de España, presentó a principios de 2019 su plan estratégico hasta 2022 en el que se da prioridad a la digitalización y los proyectos de almacenamiento para responder a la necesidad de integrar una mayor generación de energía renovable. (Red Eléctrica Corporación, 2019)

²⁷ Cabe recordar que los titulares de las redes de distribución son responsables de la construcción, la operación, el mantenimiento y, en caso necesario, del desarrollo de su red y de sus interconexiones con otras redes. Además, deben garantizar que su red tenga capacidad para asumir, a largo plazo, una demanda razonable de distribución de electricidad de acuerdo con los criterios establecidos (Energía y sociedad, s.f.).

esfuerzo inversor elevado. Las redes de distribución abandonarán su tradicional papel de proveedor unidireccional de energía y se convertirán en *hubs* locales o regionales para el intercambio de la electricidad producida tanto de manera centralizada como distribuida (IEA,2017). Las redes de distribución tratarán de equilibrar, en primera instancia, la oferta y la demanda localmente, y además deberán velar por la seguridad y flexibilidad del suministro.

Esto va a suponer un cambio sustancial en la actividad de la distribución de la electricidad y en su modelo de negocio, siendo necesario reforzar la cooperación y el intercambio de información con el/los operador/es de transporte. Cabe subrayar que la capacidad de adaptación de las redes de distribución a cambios e innovaciones tecnológicas ha quedado demostrada ya con la introducción de los contadores inteligentes y su gestión digital.

1.3.5. El almacenamiento inteligente y el vehículo eléctrico

El almacenamiento de electricidad es otra de las opciones que surgen a la hora de estudiar la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico. Con una mayor capacidad de almacenamiento, se podrían reducir los vertidos, ya que en los momentos en los que la demanda no fuera suficiente para absorber toda la energía renovable, lo que puede suceder en las horas valle, esa energía en lugar de desecharse podría ser almacenada para ser utilizada en las horas punta.

Hasta ahora, una de las máximas que han marcado el funcionamiento del sector era que la energía eléctrica no se podría almacenar, o al menos hacerlo en grandes cantidades a un coste razonable²⁸. Sin embargo, el estado de la tecnología de almacenamiento parecía que no avanzaba a un ritmo suficiente como para resolver la integración de las renovables y otorgarles más flexibilidad.

No obstante, esta situación está cambiando. De acuerdo con BNEF (2018) en los últimos años se ha producido un importante descenso en los costes de las baterías, por ejemplo, según sus cálculos, los precios de las baterías de iones de litio (*Li-Ion*) por megavatio/hora han caído cerca de un 80 por 100 desde

²⁸ Bien es cierto que existen desde hace tiempo sistemas de almacenamiento eficientes, como las mencionadas centrales hidroeléctricas de bombeo o los sistemas de calefacción y agua caliente residenciales con acumuladores que se cargaban durante esas horas valle, pero no eran suficientes.

2010²⁹. Además, existe una fuerte inversión en I+D en el ámbito del almacenamiento, en gran parte movilizada por la construcción de los vehículos eléctricos.

A pesar de ello, todavía muchas de las baterías y su integración en los sistemas de energía son aún proyectos piloto³⁰ (IRENA, 2019). De hecho, de todas las tecnologías que pueden mejorar la flexibilidad del sistema, la de almacenamiento es a la que más camino le queda por recorrer en términos de coste-eficiencia. No obstante, todo apunta a que las baterías y, transitoriamente, las plantas de generación de gas natural, son la solución más razonable para dotar de flexibilidad a un sistema eléctrico que necesita descarbonizarse e integrar en mayor medida las energías renovables (BNEF, 2018).

En todo caso, la digitalización y, sobre todo, la conectividad, optimiza el uso potencial de las baterías, independientemente del nivel en el que se gestione ese almacenamiento, es decir, independientemente de si se gestiona a nivel general, vinculando las plantas de generación renovable con estos sistemas de almacenamiento, o si el almacenamiento se hace a nivel de los agregadores, en las mini-redes (*minigrids*) o más allá de los contadores (*behind-the-meter*). Esto da lugar a lo que se ha denominado almacenamiento inteligente. Parte de ese almacenamiento inteligente provendrá de la creciente electrificación de los sectores de demanda final de energía, es decir, del transporte, del segmento residencial y de la industria.

Los vehículos eléctricos, pieza clave para la descarbonización inteligente del sector de la energía

Los vehículos eléctricos están llamados a jugar un papel esencial en la integración de las energías renovables gracias a la digitalización y la conectividad. La instalación de sistemas de recarga inteligentes y la tecnología

²⁹ En marzo de 2019, el precio del equivalente del coste de electricidad para las baterías de litio habría caído un 35 por 100 desde la primera mitad de 2018, hasta alcanzar los 187 dólares por megavatio-hora. (BNEF, 2019)

³⁰ Se barajan como opciones de almacenamiento, para evitar los vertidos, la transformación de la energía en hidrógeno o en calor (*power-to-hydrogen* o *power-to-heat*) pero estas tecnologías se encuentran en una fase temprana de su curva de aprendizaje, por lo que además de inmaduras resultan costosas.

que vincula el vehículo a la red permitirán aumentar la flexibilidad del sistema. El desarrollo del Internet de las cosas (*IoT*) resulta crucial a la hora de fomentar la penetración de esa movilidad eléctrica a través de la interconexión de las estaciones de recarga, de los servicios de carga inteligente y de los servicios que conectan los hogares, los vehículos y la red (Enel, 2018).

Se da por hecho que los vehículos, mientras no estén circulando, estarán conectados a la red tanto de día como de noche, de modo que en los periodos de menor demanda de electricidad sus sistemas de recarga inteligente pueden recargar sus baterías, permitiendo, por un lado, beneficiarse de precios más bajos y, por otro, aplanando la curva de demanda. Y en los momentos de mayor demanda, el vehículo eléctrico podría devolver su energía sobrante a la red. De este modo, los vehículos eléctricos se convierten en baterías móviles que permiten dar estabilidad a la red (Enel, 2018).

Por tanto, todo ello propiciará una mayor integración de las energías renovables y permitirá optimizar la utilización de las infraestructuras de red y de generación disponibles. Sin embargo, la optimización de estas posibilidades se enfrenta a dos restricciones. Por un lado, se necesita el desarrollo tecnológico de baterías conectables eficientes que permitan ese doble flujo, y por otro lado, el despliegue de las redes de recarga inteligente deben alcanzar una máxima capilaridad, lo que trae consigo fuertes inversiones en red³¹. Además, resultan esenciales los desarrollos de las redes de recarga rápida³² (“electrolineras”) que deberán ser completamente compatibles y normalizadas, suponiendo un reto y, a la vez, una oportunidad para las empresas distribuidoras de hidrocarburos líquidos.

³¹ En el caso de la UE, este tipo de inversiones están siendo objeto de cofinanciación por parte de los Fondos Europeos, ventaja que debe ser internalizada por parte de las empresas que apuesten por estas inversiones. Es el caso del proyecto EVA+ (Electric Vehicle Arteries) desarrollado por varias empresas comunitarias, que contempla la instalación de puntos de recarga rápida en las autopistas (180 en Italia y 20 en Austria), compatibles con todos los vehículos eléctricos del mercado. Este proyecto cuenta con el apoyo del Banco Europeo de Inversiones.

³² En España, el Real Decreto Ley 15/2018, en el que se adoptan medidas para rebajar el precio de la electricidad, trata de fomentar el despliegue de las redes de recarga, eliminando la figura del gestor de carga y permitiendo que cualquier consumidor pueda ofrecer este servicio.

1.3.6. Micro-redes, centrales de energía virtuales y agregadores de demanda

Junto a las redes de transporte y distribución, las micro-redes o redes de distribución local adquieren especial protagonismo en el nuevo panorama energético. Las pequeñas redes o *minigrids* eléctricas pueden actuar de manera autosuficiente en el caso de áreas remotas³³, pero también lo pueden hacer en el ámbito local o urbano, conectadas a la red, en este último caso, dotando de mayor flexibilidad a la misma³⁴ y convirtiéndose en centrales virtuales de energía. La puesta en marcha de esas pequeñas redes puede beneficiar a comunidades enteras, aumentando la cantidad de energía renovable que es generada, vendida y distribuida entre los miembros de esas redes.

En efecto, estas micro-redes tratan de casar la oferta de muchos generadores y la demanda a nivel local, permitiendo los intercambios de electricidad entre los participantes de la red e incluso utilizando baterías de almacenamiento en red. Cuando un prosumidor se ha quedado sin energía puede acceder a la de otra fuente gracias a estas mini-redes dotadas de un control digital centralizado. Además, la conexión de esas mini-redes a la red general puede mejorar la resistencia y eficiencia y, en última instancia, su flexibilidad.

La aplicación de soluciones digitales *p2p*³⁵, intercambio entre iguales, facilita a consumidores y a productores (prosumidores) un lugar de encuentro digital para el intercambio de electricidad, sin necesidad de intermediarios. Estos intercambios sin intermediarios son un excelente campo para aplicar la tecnología *blockchain*, dada su transparencia y seguridad³⁶. Pero, es más, esas

³³ El desarrollo de estas mini-redes junto a las aplicaciones digitales adecuadas pueden ser un método adecuado de hacer llegar los servicios de electricidad a áreas en las que todavía no llega la red general (IRENA, 2016). Esta tecnología se está implementando en comunidades en algunos países de África subsahariana, en línea con la fuerte entrada de la telefonía móvil; las tecnologías digitales están permitiendo reducir la necesidad de fuertes inversiones en infraestructuras físicas.

³⁴ Las mini-redes se pueden clasificar según las funcionalidades que permiten, es decir, si ofrecen servicios básicos de electricidad o de servicios que requieren mayor potencia, y según estén conectadas a la red general o funcionan de manera autónoma.

³⁵ Las redes *peer to peer P2P* permiten el intercambio directo de información, en cualquier formato, entre los ordenadores interconectados.

³⁶ El *blockchain* "garantiza que las transacciones entre dos o más partes sean seguras y fiables sin necesidad de intermediarios. Sectores como el financiero, el de seguros e incluso la

transacciones *blockchain* pueden automatizarse a través de lo que se denominan contratos inteligentes “*smart contract*” (IEA, 2017a) que son contratos que funcionan entre dispositivos o máquinas, en este caso, vendiendo o comprando electricidad. Los contratos se establecen de forma automática, se autoverifican y se autoliquidan, sin intermediarios, simplemente entre las máquinas (*m2m*)³⁷.

El papel de los agregadores de demanda en la gestión activa

La gestión activa de la demanda puede impulsarse también a través del papel del agregador de demanda, que podría definirse³⁸ como “aquellas personas jurídicas que combinan múltiples cargas de consumidores, productores o instalaciones de almacenamiento para su venta o compra en el mercado organizado o servicios al sistema”. La digitalización permite a los consumidores, normalmente gracias a los agregadores de demanda, ser más activos en cuanto a la adaptación de su propia producción, de su uso o consumo y de su almacenamiento (IEA, 2017a).

En efecto, los servicios de agregación de la demanda permitirán una mayor integración de las energías renovables en el sistema eléctrico, promoverán un uso más eficiente de la red existente e impulsarán la participación de la generación distribuida y el autoconsumo en los mercados de servicios de ajuste y de balance. Además, podrían favorecer, a través de una labor de información, formación y concienciación, la penetración de las tecnologías digitales a nivel residencial.

Con los agregadores se abre un nuevo nicho de mercado cuyo desarrollo dependerá del desarrollo y estabilidad del marco normativo en el que se encuadre su actividad. En algunas economías (IEA, 2017a), como la estadounidense, la gestión activa de la demanda por parte de los agregadores

industria agroalimentaria han mostrado gran interés por esta tecnología digital, que podría definirse como una base de datos formada por “bloques” que registran transacciones o contratos y que quedan enlazados con la transacción anterior y la siguiente sin posibilidad de modificación ni revisión” (CES, 2017a)

³⁷ Existen proyectos piloto de aplicación de estas tecnologías en pequeñas comunidades y por parte de empresas como Enerchain.

³⁸ Borrador de Anteproyecto de Ley de cambio climático y transición energética, 22 de febrero de 2019

se encuentra muy fragmentada y presenta un carácter eminentemente local, de modo que existe un amplio margen de oportunidad para mejorar la eficiencia de dichos agregadores a través de fusiones o adquisiciones, así como para las grandes empresas del sector de entrar en este mercado minorista.

2. DIGITALIZACIÓN DEL SECTOR DE LA ENERGÍA. CAMBIOS EN LOS MODELOS DE NEGOCIO

Una vez constatado el papel que juega la digitalización en el cambio de paradigma del sector energético, resulta pertinente valorar en qué medida las empresas están preparadas para asumir ese reto, es decir, conocer el estado de situación de la transformación digital del sector como vía para alcanzar una actividad descarbonizada.

Además, es preciso tener en cuenta que el cambio de paradigma modifica tanto las reglas de mercado sobre las que se han venido sustentando los sistemas energéticos como el papel de las empresas de energía, ya que plantea nuevos modelos de negocio, ofrece una nueva oportunidad de poner en marcha nuevos servicios y permite llevar soluciones energéticas sostenibles a un número cada vez mayor de usuarios.

2.1. Penetración de la digitalización en el sector de la energía. Especial referencia a España

Las grandes empresas energéticas han sido punteras en cuanto a la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación para su actividad productiva. Prácticamente todas las grandes corporaciones han incluido la digitalización en sus estrategias empresariales, como vía para mejorar la eficiencia de los procesos y hacer frente a un entorno crecientemente competitivo.

En España³⁹, el sector de la energía se ha convertido en uno de los referentes tecnológicos en cuanto a la integración de las tecnologías digitales en ámbitos

³⁹ En términos generales, la economía española ocupa el puesto número 10 de los 28 Estados miembros de la UE en cuanto a su nivel de digitalización medido por el Índice sobre economía y sociedad digital (DESI) elaborado por la Comisión Europea. Sin embargo, a pesar a los

como las redes inteligentes, los contadores inteligentes integrados y la comunicación con los clientes a través de la combinación de canales digitales y analógicos (CEOE, 2018).

En efecto, parece que las grandes empresas españolas del sector de la energía están integrando la digitalización como propia de la organización de la actividad⁴⁰. Además, la centralidad que adquieren los clientes bajo el nuevo paradigma exige un cambio de filosofía de empresa, que aparentemente está permeando en las organizaciones, las cuales muestran un mayor interés a la hora de realizar un uso óptimo del *big data* al que tienen acceso gracias a la digitalización (Divisadero, 2018).

Sin embargo, a pesar de que el sector energético español es un referente en la integración de las tecnologías digitales, en términos comparados con otras actividades productivas, se encuentra en una posición media baja, sobre todo en las áreas relacionadas con el servicio al cliente y la comercialización, dado que tradicionalmente el negocio de la energía ha presentado una menor orientación hacia los consumidores y usuarios (Divisadero, 2018; Roland Berger, 2016).

avances logrados en los últimos años respecto a sus socios comunitarios, todavía existe margen de mejora en la integración de la tecnología digital por parte de las empresas españolas, sobre todo en lo relativo a los denominados usos avanzados de las tecnologías digitales, que son los que mayor valor añadido ofrecen para la actividad productiva.

⁴⁰ Desde hace unos años la Plataforma enerTIC elabora para España una interesante guía de referencia de aquellas iniciativas en las que se conjugan de manera eficaz las Tecnologías de la información y la Comunicación y la eficiencia energética, siendo la última, en el momento de elaboración de este DT, la *VII Guía de referencia smart energy* (Plataforma enerTIC, 2018).

GRÁFICO 4: MADUREZ DIGITAL POR SECTORES, 2018



Fuente: Barómetro Divisadero, 2018

Además, resulta muy difícil realizar una valoración del conjunto de un sector, como el de la energía, en el que conviven grandes empresas multinacionales con microempresas generadoras; donde suele existir un monopolio en la red de transporte (Red Eléctrica de España, en el caso de España) y donde numerosas pymes⁴¹ llevan a cabo la tarea de comercialización.

2.1.1. Usos digitales por parte de las empresas españolas del sector

Para conocer con mayor detalle el grado de digitalización del tejido empresarial español, se puede acudir a la Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018 del INE⁴², que ofrece información sobre el uso de tecnologías digitales que realizan las empresas según su tamaño. La información que recoge es bastante exhaustiva y va desde el simple acceso a internet, pasando por los usos digitales más básicos, hasta los más avanzados. Además, recoge aspectos relacionados con la situación del capital humano de las empresas en relación a la digitalización.

⁴¹ Empresas con menos de 10 empleados, de acuerdo con la definición del Reglamento (UE) 651/2014.

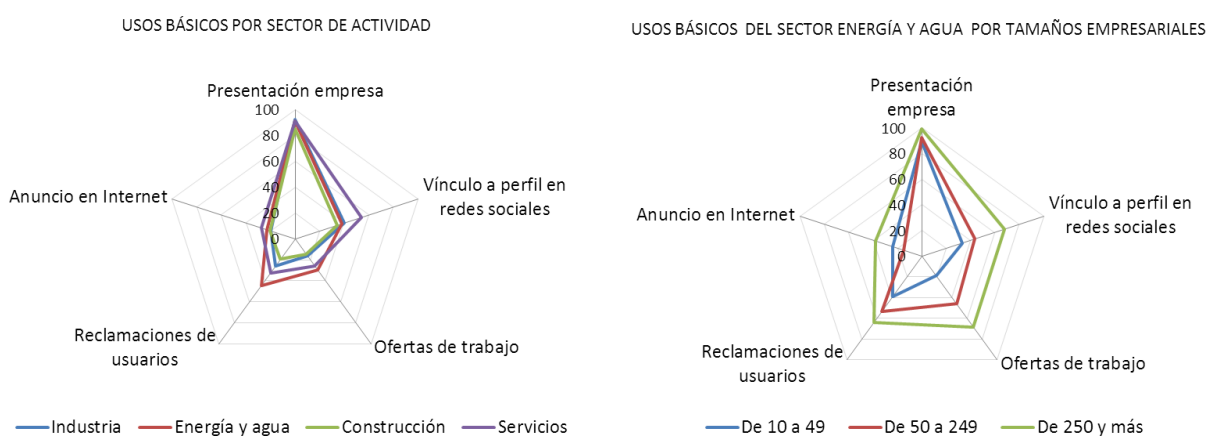
⁴² En la última encuesta publicada por el INE, las variables sobre uso de TIC hacen referencia al primer trimestre de 2018, mientras que la información general de la empresa, el comercio electrónico y la formación en TIC, se refieren a 2017.

A continuación se ofrece un análisis tomando las grandes agrupaciones sectoriales que ofrece: Industria (CNAE 10-39), Energía y agua (CNAE 35-39), Construcción (CNAE 41-43) y Servicios (CNAE 45-82, excluido CNAE56).

En cuanto a los **usos básicos**, los resultados de la encuesta indican que más del 90 por 100 de las empresas de Energía y agua tienen presencia en Internet (Gráfico 5); si bien, frente a las empresas de otros sectores, se anuncian menos por Internet y tienen una menor presencia en las redes sociales, lo que se puede explicar por la escasa orientación de su negocio al mercado de consumo, aunque se espera que esto cambie bajo el nuevo paradigma. En todo caso, destaca por ser el sector en el que una mayor proporción de empresas gestionan sus ofertas de trabajo y las reclamaciones de sus clientes *online*.

Por tamaño de empresas, se observa que, dentro del sector Energía y agua, las más pequeñas (de 10 a 49 trabajadores) usan menos las TIC que las grandes, incluso en los usos más básicos y sencillos, destacando una inferior gestión *online* de sus ofertas de trabajo o una bastante menor presencia en las redes sociales.

GRÁFICO 5: USOS BÁSICOS DE LAS TIC POR PARTE DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR



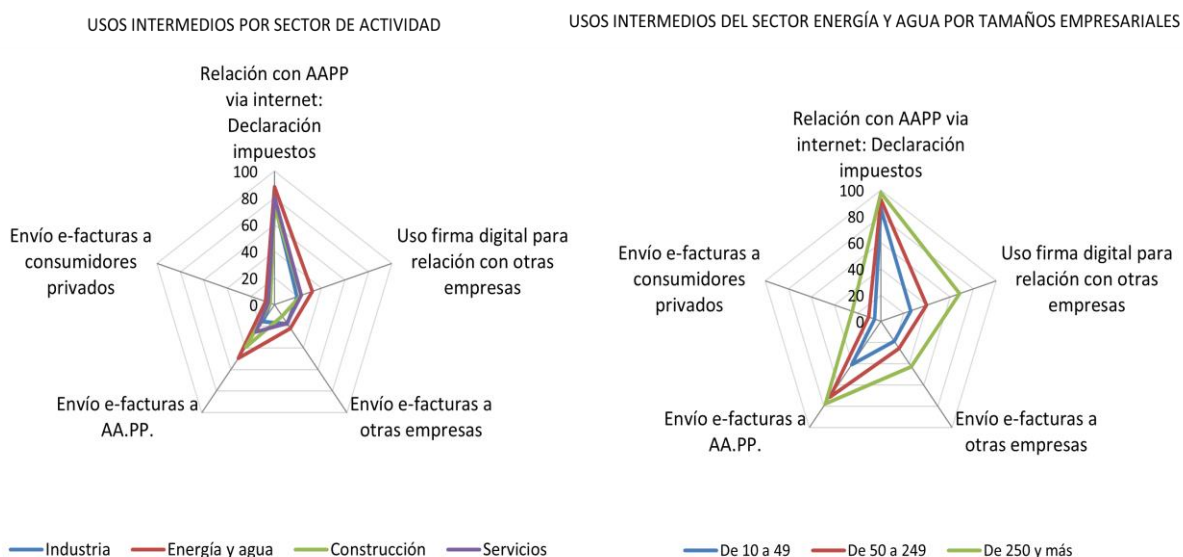
Fuente: Elaboración propia a partir de INE, Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018

En lo referente a los **usos intermedios**, identificados con las relaciones *online* con las Administraciones Públicas y con la facturación electrónica, se observa que la actividad de Energía y agua es la más avanzada de las cuatro agrupaciones sectoriales consideradas, principalmente en cuanto al uso de la firma digital con otras empresas y en la facturación electrónica (Gráfico 6). No

obstante, en términos absolutos, el uso medio que se hace de estas herramientas digitales es todavía muy bajo respecto al potencial que ofrecen; menos de un tercio de las empresas usan firma digital y una escasa quinta parte utilizan facturas electrónicas con otras empresas.

Sin embargo, ese valor medio enmascara unas diferencias enormes entre los distintos tamaños de las empresas de Energía y agua. El 68,3 por 100 de las grandes empresas, utilizan firma digital con otras empresas frente al 25,8 por 100 de las pequeñas. El 42,5 por 100 de las empresas de más de 250 trabajadores envía facturas electrónicas a otras empresas, mientras que solamente 18,7 por 100 de las pequeñas lo hacen. El uso de facturación electrónica con consumidores privados es bajo en los dos casos, pero mucho más en el caso de las pequeñas, un 5,2, frente al 24,9 por 100 de las grandes.

GRÁFICO 6: USOS INTERMEDIOS DE LAS TIC POR PARTE DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018

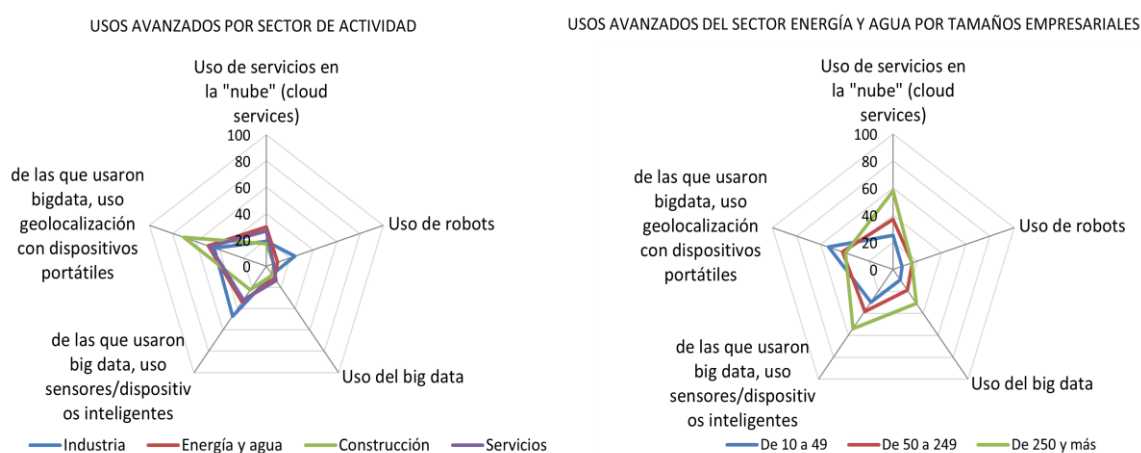
Respecto a los **usos avanzados**, el sector Energía y agua destaca respecto al resto de sectores por el uso de servicios en la “nube”; casi un tercio de las empresas hacen uso de ellos (Gráfico 7). En cuanto al uso del *big data*, que permite maximizar las oportunidades que ofrece la digitalización del sector de la energía, sólo un 11,2 por 100 de las empresas lo utilizan. De ellas, un tercio lo hacen para gestionar sensores y dispositivos inteligentes⁴³, y casi la mitad usan

⁴³ De hecho, son las empresas industriales las que más destacan en este tipo de uso.

datos de geolocalización con dispositivos portátiles, lo que puede estar relacionado con aparatos de telediagnóstico y aparatos para llevar a cabo mantenimientos en zonas remotas⁴⁴.

Mientras que en casi todos los usos intermedios las empresas de mayor dimensión del sector de la Energía y agua superan a las más pequeñas, sobre todo en la utilización de servicios en la “nube”, las más pequeñas destacan en el uso del *big data* procedente de geolocalización con dispositivos portátiles. Más de la mitad de las empresas de menor dimensión que usan *big data* lo hacen para este tipo de operaciones, lo que indicaría que una gran parte de las empresas que llevan a cabo esas tareas de telediagnóstico y mantenimiento son pequeñas (subcontratas).

GRÁFICO 7: USOS AVANZADOS DE LAS TIC POR PARTE DE LAS EMPRESAS DEL SECTOR



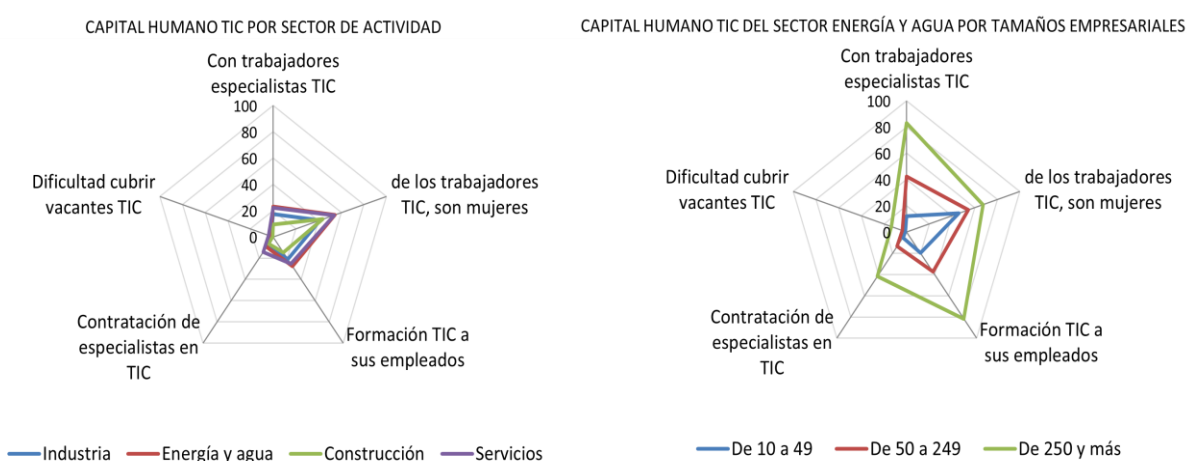
Fuente: Elaboración propia a partir de INE, Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018

Respecto al **capital humano** relacionado con las TIC, las empresas de Energía y agua son, junto a las de servicios, las que emplean en mayor medida trabajadores especialistas en las tecnologías de la información y la comunicación (Gráfico 8), y más de la mitad de las empresas tienen contratadas mujeres entre sus especialistas TIC. Además, destacan en cuanto a la formación de sus empleados en estas nuevas tecnologías.

⁴⁴ En el uso de datos de geolocalización también destacan las empresas de la construcción.

En el ámbito del capital humano, vuelven a darse considerables diferencias entre las empresas según su tamaño. Una mayor proporción de grandes compañías tienen ya especialistas TIC en sus plantillas, un 82,9 por 100, frente al 12,0 por 100 de las más pequeñas. Lo mismo sucede con las acciones formativas en TIC en las empresas: un 81,7 por 100 de las más grandes las llevan a cabo, frente al 19,7 por 100 de las pequeñas. Dos quintas partes de las empresas grandes realizan nuevas contrataciones de especialistas en TIC, frente al 5,3 por 100 de las empresas pequeñas.

GRÁFICO 8: INDICADORES DE CAPITAL HUMANO RELACIONADO CON LAS TIC



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018

2.1.2. La penetración digital en las empresas del sistema eléctrico

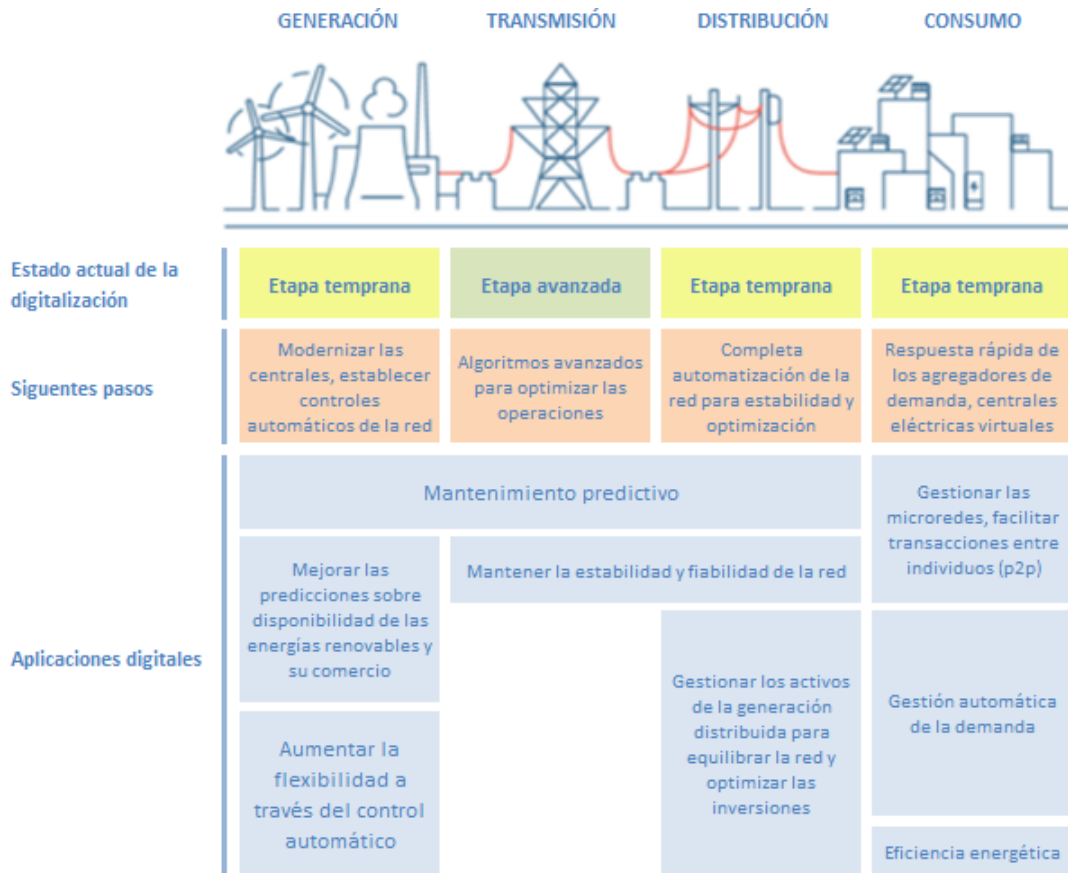
El diferente nivel de digitalización de las empresas del sector resulta paradigmático en el caso del sistema eléctrico (IRENA, 2019). Por un lado, destaca la alta penetración de la digitalización en la red de transporte, de modo que se puede considerar que se encuentra en una etapa avanzada, aunque tiene margen para optimizar sus operaciones a través de una mayor digitalización y del uso de algoritmos avanzados. Por otro lado, el resto del sistema: generación, distribución y consumo, se encuentra todavía en una fase inicial de digitalización, resultando necesario realizar una mayor inversión en tiempo y recursos para lograr una mayor penetración de las tecnologías digitales.

Las plantas de generación deben modernizarse y digitalizarse, máxime ante el hecho de que las nuevas generadoras (principalmente renovables) nacen ya digitales (*born digital*), constituyendo un factor añadido de presión competitiva en el mercado.

En el terreno de la distribución, el principal reto es la renovación de sus redes hacia una creciente automatización y digitalización. Las redes de distribución, que llevan la electricidad desde la red del transporte hasta el usuario, son las que mayor retraso relativo presentan en cuanto a la digitalización, y ello a pesar de que resultan clave para la gestión de toda la información procedente de los hogares (a través de sus contadores inteligentes), para la automatización de las operaciones de gestión de la demanda y, en general, para la gestión de la generación distribuida de energía a la hora de garantizar la estabilidad del sistema.

Finalmente, la digitalización del consumo también se encuentra en una fase temprana, a pesar de que es la clave para que el nuevo paradigma extraiga el máximo beneficio del cambio, tanto desde el punto de vista económico, como medioambiental. Por tanto, resulta imprescindible concienciar a los usuarios finales de las ventajas que se obtienen de una gestión más eficiente de su consumo de energía e informarles de la posibilidad real de convertirse en prosumidores. En este contexto, la figura de los agregadores de demanda que gestionen lo que se ha llamado centrales virtuales de energía, pueden ser determinantes para llevar la digitalización más allá del contador (*behind-the-meter*).

RECUADRO 2: ACTUAL GRADO DE PENETRACIÓN DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO



Fuente: Traducido de IRENA (2019), *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. International Renewable Energy Agency.

2.2. Adaptación de los modelos de negocio a la nueva realidad digital

El cambio de paradigma modifica necesariamente las reglas de mercado sobre las que se han venido sustentando los sistemas energéticos. Como se ha indicado, cambia el papel de las empresas de energía, ofrece la oportunidad de poner en marcha nuevos servicios y permite llevar soluciones energéticas sostenibles a un número cada vez mayor de usuarios. En definitiva, supone cambios en los modelos de negocio de las empresas de energía, en especial, en las del mercado eléctrico.

Pero la disrupción que trae consigo la transición energética inteligente no sólo afecta al negocio energético, sino también a múltiples actividades productivas. La digitalización modificará la relación que tienen las empresas con la energía como input productivo, ya que, junto a las ganancias en eficiencia energética que se pueden obtener gracias a la digitalización, las empresas pueden convertirse

en productoras de su propia energía, pasando a ser autoconsumidoras o prosumidoras.

Además de las energéticas, otras actividades relacionadas serán testigos de cambios en sus modelos de negocio; ya sean industriales, como la del automóvil, las industrias electrointensivas, las industrias de componentes o la de la construcción, o ya de servicios, como la venta y distribución de hidrocarburos, los servicios de las tecnologías de la información y la comunicación o el turismo, entre otras.

Todos los cambios en el modelo de negocio tienen un denominador común, y es que las empresas deben optimizar el uso de la digitalización para anticiparse a la demanda de la sociedad, y dirigirse hacia una economía más descarbonizada, con una visión de largo plazo y teniendo en cuenta el estado de la tecnología y la regulación.

2.2.1. El cliente en el centro del negocio

En este nuevo marco de actividad para las empresas energéticas, el papel de los ciudadanos y consumidores resulta esencial. Los ciudadanos deben entender y participar en la transición energética ejerciendo sus derechos de generar, almacenar, consumir, intercambiar, compartir o vender energía.

La centralidad que adquieren los consumidores bajo este nuevo paradigma constituye el cambio más disruptivo sobre los modelos de negocio de las empresas del sector. De hecho, poner al cliente en el centro del negocio, como sucede en otras actividades productivas, exigirá un cambio de mentalidad empresarial.

Hasta ahora, los servicios prestados por parte de las empresas de energía a sus clientes estaban principalmente orientados a ayudarles a hacer un uso más eficiente de la energía. Es decir, se dedicaban fundamentalmente a mejorar su factura energética a través del ajuste y la optimización de la potencia contratada, el control de la energía reactiva (a través de condensadores) o la instalación de iluminación eficiente (mediante la tecnología LED) (Endesa, 2016). Además, se ofrecía asesoramiento para optimizar el comportamiento energético, fundamentalmente de los clientes del segmento de empresas; se analizaba y reorientaba a los consumidores sobre las formas de contratación de la energía,

sobre las formas de consumir energía (incidiendo en malos hábitos y “consumos fantasmas”⁴⁵) y en el grado de eficiencia.

Sin embargo, gracias a la digitalización, en el nuevo marco energético descrito, se pueden ofrecer servicios novedosos y avanzados, que responden a las nuevas exigencias en términos de eficiencia económica y sostenibilidad. Las nuevas tecnologías permiten obtener un sinnúmero de datos procedentes de la demanda a partir de los contadores inteligentes o de los dispositivos y sensores conectados, que junto a las aplicaciones de *big data* permitirán ofrecer servicios altamente personalizados, es decir, adaptados a las necesidades individuales de los consumidores.

Estos servicios de energía impulsados por la digitalización se pueden desarrollar en numerosos ámbitos. En los sistemas más consolidados, una parte de los servicios a los consumidores girará alrededor de favorecer la integración de su generación distribuida en el sistema. De este modo, los agregadores de demanda adquieren especial importancia, convirtiéndose en nuevos intermediarios del sistema. La figura del agregador facilitará el intercambio de electricidad entre el mercado organizado y las “centrales virtuales de energía”; que ofrecen el balance neto de las combinaciones entre las acciones de consumo, producción, intercambio y almacenamiento realizados entre múltiples agentes conectados en mini-redes (*behind-the-counter*)⁴⁶.

El reto de la integración de la generación distribuida a través de los agregadores debe ser tomado como una oportunidad de negocio para las empresas del sector, sobre todo las que están en las fases minoristas del sistema, como son las de distribución y comercialización. La capilaridad de estas actividades las hace idóneas para trasladar a los clientes las ventajas de operar de manera distribuida y les otorga una posición privilegiada para ofrecer servicios de asesoramiento a los clientes, incluso de agregación.

⁴⁵ Los “consumos fantasmas” hacen referencia al consumo que hacen los dispositivos cuando están aparentemente apagados pero que en realidad están en *standby*.

⁴⁶ En los sistemas eléctricos menos maduros, normalmente situados en los países menos desarrollados, la posibilidad de formar mini-redes (aunque sea sin conexión a un sistema centralizado) ofrece a los participantes la ventaja de contar con un servicio de electricidad de mayor fiabilidad y seguridad que si fuera estrictamente autoconsumo.

Por otra parte, las empresas energéticas aumentarían su grado de servitización, es decir, que una mayor parte del valor añadido de su producción provendrá de los servicios avanzados que ofrecen y proveen a los usuarios finales. El desarrollo de tecnologías y soluciones digitales, aplicaciones e interfaces o programas de *software* específicos resultarán esenciales para mejorar sus cifras de negocios.

Pero, además, las empresas del sector se incorporan a este nuevo modelo de negocio en el que el cliente es el centro, en un momento en el que los comportamientos y hábitos de consumo están cambiando en parte como resultado de la digitalización de las economías (CES, 2016). La penetración de las tecnologías digitales en los hogares y en las empresas, la mayor conectividad y la creciente importancia de las redes sociales están dando lugar a consumidores mejor informados⁴⁷ que, además, por la extensión de las redes sociales, pueden llegar incluso a producir información, contenidos, tendencias y valores.

Los consumidores priman las experiencias e, incluso, parecen presentar una mayor preferencia por el uso que por la propiedad⁴⁸, potenciando los consumos en plataformas lo que, en este caso, puede ser un buen caldo de cultivo para el establecimiento y buen funcionamiento de las mini-redes o centrales virtuales de energía cuando, por ejemplo, involucran a los hogares. Las empresas del sector deben estar preparadas para este tipo de clientes y responder con las herramientas digitales disponibles, desde la atención al cliente, los servicios digitalizados de reclamaciones y la gestión de las redes sociales.

En definitiva, las empresas del sector deben desarrollar un nuevo tipo de relación con sus clientes, más personalizada y adaptada a sus necesidades, para lo cual resultará clave la utilización de análisis avanzados de la información (*big data*) procedente de los nuevos sistemas conectados de gestión de la demanda y la

⁴⁷ “Los consumidores tienen un mayor acceso a información sobre los productos o servicios, de manera que conocen las cualidades de los mismos, pueden realizar comparaciones entre las diferentes ofertas y conocer las opiniones y consejos de otros consumidores, todo ello de manera rápida y poco costosa” (CES, 2016)

⁴⁸ Como se ha indicado en el capítulo anterior, este aspecto resulta de interés, por ejemplo, en el caso de los vehículos eléctricos.

comunicación con sus usuarios a través los diferentes canales digitales, desde aplicaciones específicas, hasta las redes sociales.

2.2.2. Aspectos de la organización empresarial afectados por la digitalización

El nuevo entorno en el que se desarrolla la actividad de las empresas de energía se apoyará sobre todo en una mayor digitalización y lo hará por muy distintas razones (BNEF, 2017). Para algunas empresas, la digitalización les ofrece nuevas fuentes de ingresos o nuevos nichos de mercado. Otras se digitalizarán debido a la puesta en marcha de aquellas políticas o regulaciones que tratan de integrar las renovables o también como forma de modernizar la red. Finalmente, algunas empresas apostarán por una mayor digitalización de su actividad como respuesta al nuevo contexto de consumo y a la mayor presión competitiva en los mercados.

RECUADRO 3: EJEMPLOS DE ELEMENTOS E IMPACTOS EN LAS EMPRESAS DE ENERGÍA A CAUSA DE LA DIGITALIZACIÓN.

Elemento	Ejemplos de impacto
Generar una nueva fuente de ingresos	Las empresas incumbentes pueden ofrecer los servicios de agregación de la demanda
Agilizar las operación o intervenciones en el sistema y los mantenimientos	El mantenimiento predictivo gracias a la digitalización puede reducir los gastos
Optimizar del valor y uso de los activos	El incremento la vida útil de algunas centrales por parte del TSO
Automatizar algunos trabajos	La introducción de "Chatbots" en los servicios de atención al cliente a través de <i>call centers</i>
Gestionar datos y seguridad	La construcción de grandes infraestructuras para gestionar los datos, por ejemplo, por parte de los operadores de red

Fuente: Traducido de BNEF (2017)

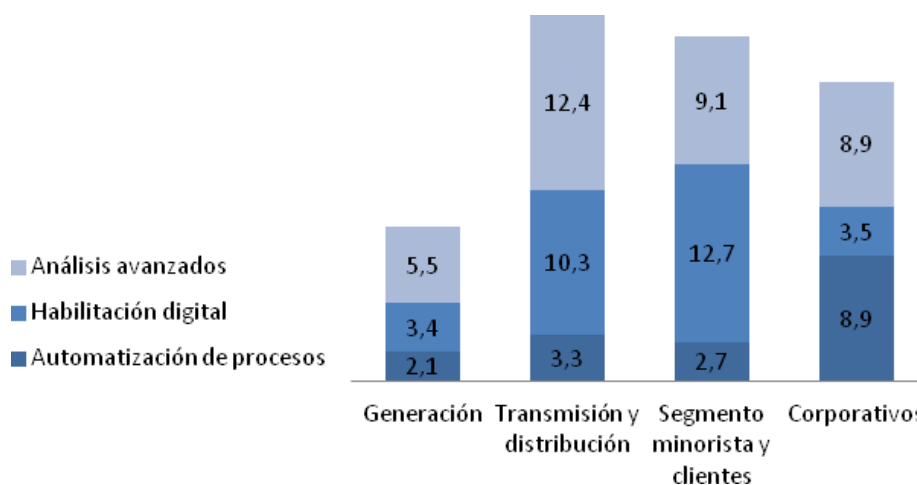
El grado de transformación digital dependerá de la posición de la empresa en el sistema eléctrico, es decir, si es generadora, de transporte o transmisión, de distribución o comercializadora. Para algunas, la digitalización exigirá fuertes inversiones en activos tanto físicos como inmateriales, por ejemplo en el caso de las redes de transporte. Para prácticamente todas, supondrá establecer programas de formación digital para la adaptación de sus empleados al nuevo entorno de trabajo, por ejemplo, para poder llevar a cabo el mantenimiento de

redes en operaciones de campo o, en el caso de la comercialización, para poder ofrecer soluciones digitales para la gestión de energía de los hogares.

Además, la implementación de las nuevas tecnologías digitales permite a las empresas mejorar en aspectos como la seguridad o la fiabilidad de su producción o, incluso, optimizar los procesos en los que incurren para lograr la conformidad jurídica de su actividad (*legal compliance*) (Booth et al., 2018). En efecto, las tecnologías digitales permiten una mayor interacción con los clientes, pero también con los trabajadores, los proveedores y la Administración pública.

Según las estimaciones de Booth et al. (2018), la digitalización va a suponer importantes ahorros de costes para las empresas como consecuencia de la implementación de la automatización de procesos, de las inversiones en habilitadores digitales (infraestructura, *software*...) y del análisis avanzado de datos. El ahorro dependerá de su posición en la cadena de valor de la producción de energía.

GRÁFICO 9: AHORRO POTENCIAL DE COSTES POR LA DIGITALIZACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ACTIVIDAD



Nota: En % sobre los costes operativos y de mantenimientos actuales en cada área de negocio.
Fuente: Traducido de Booth et al. (2018)

De acuerdo con sus cálculos, Booth et al. (2018) indican que los mayores ahorros se producirán en las actividades dedicadas al transporte y a la distribución. Gracias a la digitalización, las empresas podrán, por ejemplo, optimizar sus labores de mantenimiento predictivo, mejorar la eficiencia del sistema o reducir las pérdidas de energía. Les siguen, en cuanto al ahorro de costes, las

actividades orientadas al segmento minorista, que obtendrán oportunidades para, por ejemplo, llevar a cabo análisis de satisfacción de los clientes, reorientar sus actividades de marketing o, en definitiva, mejorar la experiencia de los clientes o usuarios.

También a nivel interno o corporativo las inversiones en digitalización traerán consigo una mejora en la gestión del personal y de los bienes de equipos gracias a los análisis de datos y la automatización de los procesos. Y por último, el menor ahorro de costes será para las empresas de generación, aunque podrán mejorar las operaciones de mantenimiento y el uso de las plantas de generación.

Mayores inversiones en activos intangibles

En otro orden de cosas, cabe subrayar que las nuevas inversiones que requiere la digitalización suponen un cambio en la orientación y la gestión económico-financiera de las empresas de energía. Por lo general, las empresas del sector han mostrado una elevada preferencia por la inversión en activos fijos, puesto que la regulación existente provocaba que los ingresos de las compañías dependieran positivamente de las grandes inversiones en infraestructuras, principalmente de generación, y en otros activos fijos (IEA, 2017a). Además, la necesidad de financiar este tipo de inversiones ha venido explicando los elevados ratios de apalancamiento que presentan las empresas energéticas.

Bajo el nuevo paradigma, los ingresos van a estar estrechamente relacionados con la penetración de la digitalización en las operaciones de las empresas, de modo que las inversiones se deben orientar hacia estos activos, tanto físicos como, sobre todo, intangibles⁴⁹.

La expansión de la economía digital, los avances tecnológicos, el desplazamiento de la industria a los servicios, así como el aumento de la competencia global y los nuevos modelos de negocio explican que en los últimos años la tasa de avance de los activos intangibles sea más elevada que la de los tangibles (Anderson M. y Saiz L., 2018).

⁴⁹ Se consideran activos intangibles a los “activos no monetarios sin sustancia física o financiera. Engloban una amplia gama de activos muy diversos, entre los que se incluyen el capital humano, la innovación, las marcas, las patentes, los programas informáticos, las relaciones con clientes, las bases de datos y los sistemas de distribución.” (Anderson M. y Saiz L., 2018)

Para el sector de la energía, las nuevas necesidades de inversión en activos intangibles suponen un cambio sustancial en su modelo de gestión económico financiera, y plantean retos relacionados con la valoración de su actividad, de sus beneficios y del *stock* de capital, puesto que, como señalan Anderson M. y Saiz L. (2018), estos activos suelen considerarse consumos intermedios más que inversión en su balance. Además, apuntan que, dado su carácter intangible, resulta más difícil que sean aceptados como activos de garantía, dando lugar a niveles de inversión inferiores al óptimo.

Por otra parte, las empresas podrían mostrarse reticentes a la hora de hacer un gran esfuerzo inversor en este ámbito, dada la incertidumbre que suele ir asociada a los cambios tecnológicos y los riesgos financieros que implican⁵⁰. De hecho, dada la magnitud del reto y ante la posibilidad de que se dé una inversión subóptima en este terreno, se han multiplicado las iniciativas para promover la inversión; por ejemplo, en el ámbito comunitario, a través de las inversiones del Fondo Europeo de Inversiones Estratégicas (FEIE)⁵¹.

2.2.3. Cambio de mentalidad empresarial

Todo lo anterior exige un cambio de mentalidad entre los gestores de las empresas de energía, especialmente entre las de mayor tamaño. Conscientes del reto, buena parte de las empresas del sector, fundamentalmente eléctricas, están creando departamentos específicamente dirigidos a la transformación digital de las empresas⁵², convirtiendo la digitalización en prioritaria en sus planes estratégicos de cara a mejorar la rentabilidad, estrechar el vínculo con el cliente, reducir los costes o favorecer un crecimiento disruptivo competitivo.

⁵⁰ Experiencias pasadas fallidas, por ejemplo la prematura apuesta por las renovables en España, en las que el sector se expuso financieramente hablando, podrían haber aumentado las cautelas a las iniciativas inversoras innovadoras en el terreno de la energía.

⁵¹ La Comisión Europea junto al Banco Europeo de Inversiones apoya, a través del FEIE, las inversiones estratégicas en ámbitos clave como los de infraestructuras, eficiencia energética y energías renovables, investigación e innovación, medio ambiente, agricultura, tecnologías digitales, educación, sanidad y proyectos sociales. También ayuda a las pequeñas empresas a ponerse en marcha, crecer y expandirse, proporcionándoles financiación de riesgo. Reglamento (UE) 2015/1017, de 25 de junio, relativo al Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas, y sus modificaciones posteriores.

⁵² Muchas empresas han incorporando una nueva figura en la gerencia que recibe la denominación en inglés de *chief information officer* o *chief technology officer* que vela por la integración eficiente de la digitalización en las corporaciones (Mukherjee, 2018)

Una gran parte de las empresas eléctricas, principalmente las de mayor tamaño, ha comenzado su transformación introduciendo “cambios en su estructura interna, con nuevas propuestas de valor, nuevos modos y canales de relación y nuevos modelos de negocio que permitan satisfacer al nuevo tipo de cliente, sus expectativas, su estilo de vida y su forma de relacionarse” (Delgado et al., 2017).

Pero las grandes empresas presentan, en ocasiones, una serie de condicionantes a la hora de llevar a cabo su transición digital, de modo que en algunos segmentos de la actividad se sitúan en una peor posición competitiva frente a las nuevas pequeñas empresas más dinámicas y digitalizadas que están surgiendo con el desarrollo de la generación distribuida y la gestión de la demanda⁵³. Las principales limitaciones que las grandes empresas encuentran a la hora de digitalizarse derivan de tres factores (Booth et al., 2018).

En primer lugar, el exceso de celo que pueden tener los gerentes más sénior a estos cambios tecnológicos digitales disruptivos, puesto que la innovación y la incertidumbre suelen estar asociadas. De hecho, estas empresas, dada su responsabilidad en cuanto al servicio que prestan, confían más en tecnologías más consolidadas y estables, minimizando los riesgos operativos, opción que resulta poco compatible con la acelerada transformación digital.

Según parece, esa resistencia a la transformación digital se detecta, también, en otros sectores. El estudio de Roland Berger (2016) apunta que, bajo esa resistencia, “subyace el cambio cultural, como principal aspecto subestimado del proceso, pero que por el contrario surge en toda su dimensión según se avanza en la transformación digital. La transformación de la empresa, con los nuevos usos digitales como catalizadores, no puede realizarse sin la refundación cultural y organizativa de sus empleados”.

En segundo lugar, las empresas se pueden enfrentar a la dificultad de encontrar el personal con la cualificación necesaria para emprender la transformación digital. No tanto porque no existan personas con las cualificaciones requeridas en el mercado de trabajo, sino porque para algunos de estos perfiles las

⁵³ Estas empresas (*enertech* o *energytech*) son equiparables a las que han ido surgiendo en otros ámbitos de actividad, como las *fintech* en el sistema financiero o las *insurtech* en el ámbito de los seguros.

empresas de este sector pueden resultar poco atractivas ya que suelen identificarse con estructuras muy jerarquizadas y poco ágiles. Según Booth et al. (2018), el escaso atractivo que parecen ofrecer estas empresas a especialistas en tecnologías digitales, (científicos y analistas de datos, ingenieros informáticos, diseñadores de procesos, arquitectos de software, desarrolladores de soluciones TIC), entre otros, explican las dificultades para atraer el talento necesario a la hora de poner en marcha los cambios. Estos autores proponen como solución integrar en las empresas lo que se denominan “fábricas digitales”, de carácter autónomo, para dotarse de mayor flexibilidad y agilidad y que resulten lo suficientemente atractivas para conquistar ese talento y se dediquen a la investigación y al análisis de aplicaciones que puedan mejorar la producción o el servicio de las empresas; haciendo de su contribución a favor de la transición energética y del servicio al ciudadano un atractivo más para ese talento.

En tercer y último lugar, estos mismos autores señalan que algunas grandes empresas de energía muestran una cierta resistencia al cambio porque hasta el momento han venido gestionando las tecnologías de la información y la comunicación como si se trataran de activos físicos. Es decir, en las últimas décadas han establecido sistemas de software de gran escala buscando su máxima estabilidad y rendimiento con una adaptación completa a sus necesidades. Así, han llegado a construir unas arquitecturas informáticas y digitales enormes, rígidas y caras de mantener; muchas de ellas, además, basadas en lenguajes de programación actualmente obsoletos.

Por consiguiente, romper estas barreras y cambiar la cultura de la empresa deberán formar parte de una estrategia amplia de modernización y adaptación de las empresas a la cada vez mayor digitalización de las economías y a su creciente conectividad.

3. RETOS DE LA DIGITALIZACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

El éxito de la transición del sector energético hacia su descarbonización depende, en gran parte, del grado de digitalización, no sólo del propio sector, sino, sobre todo, de la economía y la sociedad en su conjunto, máxime cuando el cambio de paradigma confiere al ciudadano un papel central.

Pero la transformación digital de la economía debe hacer frente igualmente a sus propios retos. De su superación y adecuada gobernanza dependerá que la digitalización contribuya positivamente a esa descarbonización inteligente del sector de la energía.

A continuación, se apuntan los principales desafíos a los que se enfrenta la digitalización del sector, siendo consciente de que la complejidad y profundidad de muchos de ellos merecerían estudios y análisis pormenorizados específicos para identificar y resolver las limitaciones que surgen en este proceso.

3.1. Brechas digitales

Una de las condiciones para maximizar las ventajas de la transición energética y asegurar que los beneficios alcancen a la mayor parte de la sociedad es que la penetración de las tecnologías digitales, tanto en despliegue como en uso, sea la mayor posible. Sin embargo, existen lo que se han denominado “brechas digitales”⁵⁴ que se manifiestan en un desigual acceso y uso de las tecnologías digitales, tanto de los hogares como de las empresas⁵⁵, que pueden dar lugar a situaciones de exclusión y que viene determinado por diferentes factores.

El más evidente está relacionado con la propia infraestructura y el despliegue de redes inteligentes, tanto de energía como de información y comunicación (internet). En efecto, el desigual despliegue de las redes y, sobre todo, la velocidad y capacidad de las conexiones, pueden condicionar la participación en esta transición energética digital⁵⁶.

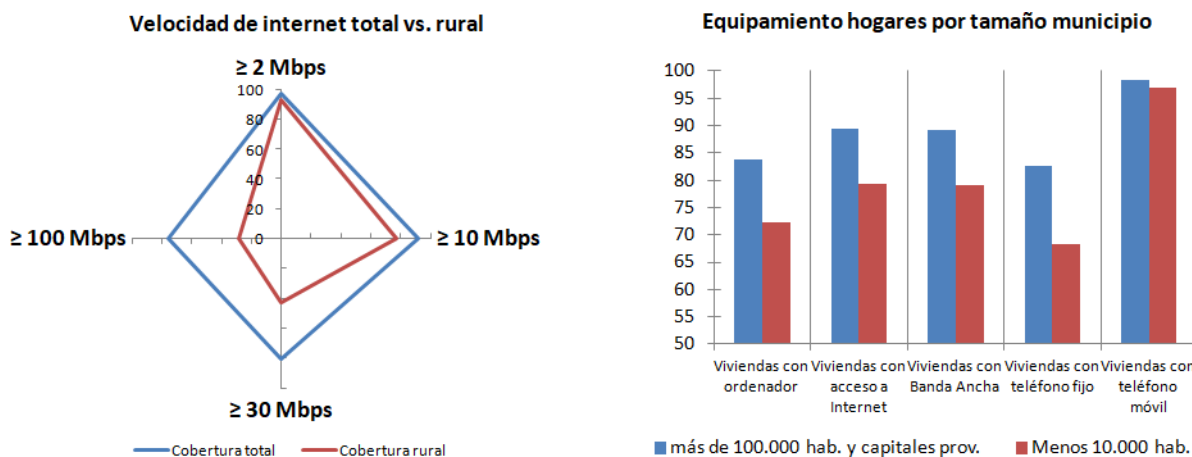
⁵⁴ No existe una definición única sobre el concepto de Brecha Digital, pero la mayor parte de las fuentes consideran que se refiere, en términos generales, a la desigual capacidad para acceder y utilizar las TIC (Varela J., 2015).

⁵⁵ En el capítulo anterior se ha comentado la brecha que existe en el nivel de digitalización de las empresas en función de su tamaño. Frente a las grandes corporaciones, las empresas de menor dimensión parecen estar peor preparadas para asumir este reto.

⁵⁶ Bien es cierto que, como se ha comentado, las mini-redes pueden actuar de manera autónoma, es decir, sin conexión al sistema general, lo que resulta de gran utilidad en zonas remotas o de difícil acceso; de hecho, se están aplicando en algunos países en desarrollo donde el despliegue de grandes infraestructuras energéticas y de comunicación es todavía deficiente o prácticamente inexistente. Pero por lo general la generación distribuida o las centrales virtuales de energía actúan conectadas al sistema general, y por consiguiente el acceso a unas redes energéticas digitales modernas y a internet es fundamental.

Pese a los esfuerzos en el despliegue de redes en los últimos años en la mayor parte de las economías avanzadas, en lo referente a internet, resulta muy difícil ofrecer un servicio homogéneo en calidad y velocidad para toda la población. Por ejemplo, en España, se observan grandes diferencias en la calidad del acceso a internet en función del territorio y del tamaño de los municipios, siendo notablemente inferior en las áreas rurales y en los municipios de menor dimensión.

GRÁFICO 10: COBERTURA DE BANDA ANCHA Y EQUIPAMIENTO SEGÚN LOCALIZACIÓN EN %



Fuente: INE, Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares, 2018 y Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, Informe cobertura de banda ancha en España en el año 2017 (abril 2018).

Resulta prioritario asegurar una conectividad de calidad para todo el territorio, dadas las ventajas que las tecnologías digitales comportan para la transición energética, máxime si se tiene en cuenta la enorme potencialidad que presenta la generación distribuida en el mundo rural.

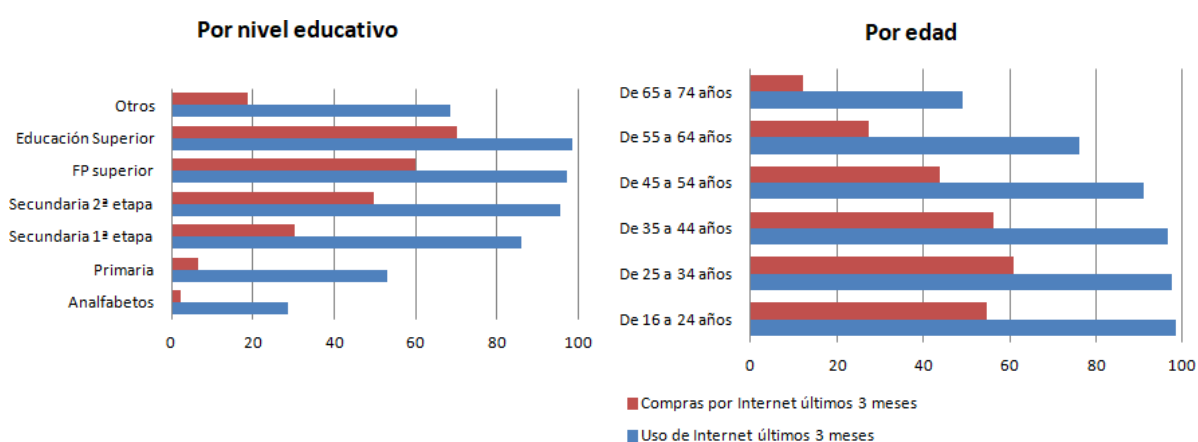
Por otra parte, las diferencias de uso de las tecnologías digitales procedentes de aspectos socioeconómicos como la edad, el nivel de educación o de renta pueden dar lugar también a situaciones de exclusión, lo que resulta preocupante dada la integración de la digitalización en múltiples facetas de la actividad económica y social (CES, 2018).

Bajo el nuevo paradigma energético, los ciudadanos adquieren un papel esencial, más activo -ya sea como clientes digitales hiperconectados e informados o como prosumidores, que consumen y producen electricidad- por lo que el acceso material a internet y, sobre todo, el grado de habilidad digital son

factores esenciales para optimizar su interacción con los sistemas energéticos. Unas mayores competencias digitales de la población y una mayor familiarización con los usos más avanzados de las nuevas tecnologías resultan clave para extender y asegurar el mayor alcance posible de las ventajas del futuro sistema energético inteligente descarbonizado.

En España, atendiendo a las características sociodemográficas, el nivel de penetración de Internet en los hogares depende, principalmente, del nivel educativo de los hogares y de la edad⁵⁷. Este diferente acceso puede ofrecer una visión aproximada de la capacidad de determinados hogares a la hora de sumarse de manera activa a la transición de los sistemas energéticos; con una mayor dificultad para los de menor nivel educativo y los de mayor edad.

GRÁFICO 11: DIFERENCIAS EN LOS USOS DE INTERNET SEGÚN NIVEL EDUCATIVO Y EDAD EN %



Fuente: INE, Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares, 2018.

La exclusión derivada de la existencia de estas brechas digitales, ya por razones geográficas ya socioeconómicas, y en un principio calificada de “exclusión digital”, limita el acceso a otro tipo de servicios básicos como los de salud, educativos o, incluso, financieros y, en este caso, a un servicio energético más eficiente, barato y sostenible. Este desafío debe resolverse para evitar que las desigualdades ya existentes en el conjunto de la sociedad se amplifiquen (CES, 2017a).

⁵⁷ Las diferencias en el uso básico de internet por género y por nivel de ingresos son menos significativas.

3.2. Ciberseguridad y privacidad

Hasta ahora, las amenazas y riesgos cibernéticos para el sector de la energía estaban hasta cierto punto controlados y contenidos en un pequeño número de activos operativos, puesto que los sistemas de generación y control eran centralizados, de forma que los principales agentes del sistema han venido siendo las grandes plantas de generación y la red transporte (TSO).

Sin embargo, la transformación descrita del sector de la energía, con la expansión de numerosos dispositivos inteligentes en red, junto al despliegue de redes de comunicación crecientemente conectadas a nivel internacional, trae consigo importantes retos para el sector y el conjunto de la sociedad en términos de ciberseguridad. Además, el espectro de ataques y amenazas potenciales está aumentado a gran ritmo (*European Parliament, 2016*), dada la creciente sofisticación de la ciberdelincuencia y por el cada vez mayor número de objetivos de fácil acceso dentro del ecosistema de un sistema energético inteligente⁵⁸.

Aunque las incidencias en la provisión de energía debidas a ciberataques son todavía menores a las ocasionadas por catástrofes meteorológicas o por cuestiones de geopolítica, la transformación digital de los sistemas energéticos está aumentando su vulnerabilidad. La Agencia Internacional de la Energía (IEA (2017a)) indica que existen dos tipos de ciberataques, por un lado, los que tienen por objetivo alcanzar la tecnología operativa de los sistemas de energía (principalmente eléctrico), es decir, que afectan a los ordenadores, software y a las redes que se utilizan para controlar, monitorizar y proteger la provisión de energía. Por otro lado, los que atacan específicamente los sistemas informáticos de las empresas de energía, afectando a la parte administrativa del servicio energético.

⁵⁸ El Parlamento Europeo pone de ejemplo el incidente que sucedió en Ucrania en diciembre de 2015, en el que a través de un ciberataque se consiguió tomar el control de los sistemas de tres de las principales distribuidoras regionales de electricidad. Este problema afectó a subestaciones de 100 y 35 kV y provocó cortes de luz que afectaron a un conjunto de 225.000 habitantes. El sistema eléctrico de Ucrania volvió a sufrir un ciberataque en diciembre de 2016 bajo la forma de “malware” (es decir, *software* para dañar u obtener acceso sin autorización a sistemas de Tecnologías de la Información y la Comunicación) perdiendo el control de las infraestructuras y constituyendo un ejemplo de intrusión cibernética en infraestructuras críticas (IEA, 2017a).

Por consiguiente, la ciberseguridad es una prioridad para el conjunto del tejido empresarial y, en particular, para las empresas de energía. Además, esta mayor vulnerabilidad derivada de la digitalización de sus operaciones puede ser un elemento disuasorio para los equipos directivos a la hora de llevar a cabo la transformación inteligente de su actividad.

Para evitar que la ciberdelincuencia pueda comprometer la transición hacia un sistema de energía inteligente y, por tanto, para que la transición energética tenga éxito, se deben desarrollar altas capacidades de ciberseguridad (REE, 2017) en todas las infraestructuras involucradas, dado el carácter de la energía como servicio esencial y básico para la economía y la sociedad.

En España, Red Eléctrica (REE) está realizando un considerable esfuerzo para mejorar la “ciberresiliencia” del sistema para, con ello, garantizar la continuidad de la actividad en caso de ataques cibernéticos sobre los activos. Además, se está realizando un esfuerzo continuado en la capacidad de detección de incidentes y de respuesta y recuperación temprana de la red.

Pero, el esfuerzo individual que pueda realizar España resulta insuficiente, en la medida en que un sistema energético inteligente y descarbonizado requiere, como se ha señalado, aumentar las interconexiones y la interdependencia de las redes de energía de los Estados miembros (*European Parliament, 2016*). Un ciberataque a gran escala podría tener un efecto dominó sobre los sistemas energéticos de algunos de los socios comunitarios. Se da la dificultad añadida de que el desarrollo y la transformación digital de los sistemas energéticos de los distintos Estados miembros no está siguiendo el mismo ritmo, lo que, además de dificultar la puesta en marcha de acciones coordinadas para hacer frente a dichos ciberataques, exige grandes esfuerzos en armonización de las estrategias nacionales de ciberseguridad en el sector de la energía.

De ahí, que la Unión Europea haya venido dando importantes pasos hacia la mejora de la ciberseguridad en términos generales y, en particular, en el sector de la energía y la electricidad. En este sentido, destacan la adopción en 2016 de

la Directiva⁵⁹ sobre medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la Unión, junto al Reglamento⁶⁰ relativo a la protección de datos personales y a la libre circulación de estos datos, los cuales plantean los elementos básicos sobre los que construir todo un sistema paneuropeo de ciberseguridad, que proteja los intereses de la sociedad europea y asegure el funcionamiento de servicios esenciales.

Sin embargo, este marco normativo ofrece una aproximación horizontal a la cuestión de la ciberseguridad sin hacer referencia a las diferencias entre las ramas de actividad, cuando resulta fundamental dar un tratamiento sectorial a estas cuestiones, puesto que algunos sectores ofrecen productos o servicios básicos y esenciales, como es el caso de la energía. En este sentido, la Plataforma de expertos en ciberseguridad de la energía (EECSP (2017)) ha identificado una serie de retos específicos para el sector de la energía que requieren una estrategia de carácter sectorial. Para lo cual realiza una serie de recomendaciones concretas (a la Comisión Europea) dirigidas a abordar el desafío de la ciberseguridad, partiendo de dos objetivos finales: dar seguridad a los sistemas de energía que ofrecen un servicio esencial para la sociedad europea y proteger los datos y la privacidad de los ciudadanos europeos.

Las recomendaciones parten de la necesidad de identificar los riesgos específicos en ciberseguridad a los que se enfrentan los sistemas energéticos, tanto a nivel de estado miembro como a nivel comunitario y, desde ahí, establecer una estrategia conjunta. En este ámbito, la coordinación y cooperación entre países resulta fundamental, tanto en la identificación de las posibles vulnerabilidades, como en las respuestas que se puedan necesitar en una emergencia cibernética. Asimismo, la EECSP hace especial hincapié en la necesidad de promover y asegurar las competencias necesarias para hacer frente al reto de la ciberseguridad. A su juicio, la UE debe facilitar y propiciar la mejora de las capacidades técnicas y de los trabajadores para hacer frente a los

⁵⁹ Directiva (UE) 2016/1148 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 2016, relativa a las medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la Unión.

⁶⁰ Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE

temas de ciberseguridad en el sector de la energía, máxime teniendo en cuenta que parece darse una relativa escasez de mano de obra con las cualificaciones requeridas en un tema tan complejo y específico. Asimismo, señala que, junto al impulso de la formación y el conocimiento, la UE debe promover la investigación en este ámbito.

Privacidad y propiedad de los datos

Al igual que en otras actividades productivas, la transformación digital se apoya fundamentalmente en grandes cantidades de información y datos -algunos obtenidos en tiempo real- de los comportamientos de los consumidores y usuarios. Esta información, su explotación y análisis avanzado (*data mining*) sustentan gran parte del valor añadido que ofrece la digitalización de la actividad.

Sin embargo, como en otros ámbitos, la obtención y gestión de estos datos privados con fines comerciales y empresariales está generando importantes debates sobre la necesidad de preservar la privacidad, en términos de una seguridad mínima, así como sobre la propiedad de esos datos y las formas de compensación.

En el caso de la digitalización del sector energético se debe asegurar unos mínimos de protección, en particular, respecto al uso de datos personales o privados ofrecidos por los dispositivos inteligentes situados más allá del contador que recogen la actividad y comportamientos diarios de los hogares. En efecto, una información tan detallada de los usos energéticos que hacen los hogares permite conocer sus rutinas diarias hora a hora, exponiendo a los usuarios al riesgo de que se pueda hacer un uso delictivo de dicha información (IEA, 2017a).

Tal y como expone CEOE (2018), el secreto y la seguridad de los datos personales, junto con el respeto a la privacidad de los usuarios, requieren la adopción de medidas técnicas y organizativas para evitar la pérdida, el mal uso, la alteración, el acceso no autorizado o el robo de los datos personales; y solicita el compromiso de las Administraciones para apoyar a las empresas en el desarrollo de los máximos estándares de seguridad para los usuarios, promoviendo, a su vez, la adopción de compromisos conjuntos por parte de las empresas en esta materia.

Pero, además de garantizar la privacidad, se debe hacer un especial esfuerzo en transparencia. Es decir, los consumidores deben estar informados de lo que supone compartir estos datos con las empresas suministradoras de servicios energéticos, las cuales deben garantizar la confidencialidad de esa información y revelar el uso exacto que van a hacer de la misma.

Los avances normativos en este sentido son numerosos. En el caso español, destaca la reciente aprobación de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, que incorpora al derecho interno las previsiones contenidas en el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de sus datos personales y a la libre circulación de los mismos. Trata así de garantizar la seguridad jurídica y de facilitar los desarrollos reglamentarios posteriores.

Todo lo anterior apunta a que la protección de los derechos de los consumidores y usuarios, así como asegurar la privacidad, seguridad y confianza en el mundo digital, resultan elementos esenciales para lograr una mayor penetración de las tecnologías digitales en el ámbito doméstico, cuestión determinante para obtener el máximo beneficio de la digitalización del sector de la energía.

3.3. Impacto en el empleo

La confluencia de la transformación energética y digital aumenta la incertidumbre sobre el efecto que ambas puedan tener sobre el empleo en el sector. Por un lado, la reconfiguración de la generación de energía y la redefinición de las operaciones de distribución y comercialización, hacia una mayor participación de las energías renovables en el mix energético y a la práctica desaparición de actividades de mayor impacto en las emisiones de CO₂, provocará la desaparición de numerosos puestos de trabajo, modificando, además, muchas de las tareas que en la actualidad definen los puestos de trabajo del sector, pero también creará nuevas oportunidades de empleo vinculadas a la mayor integración de las energías renovables, a la inversión movilizadora y a la definición de nuevos nichos de mercado y modelos de negocio.

Por otro lado, aunque en términos comparados respecto al resto de las actividades productivas, las empresas de energía y agua son, junto a las de

servicios, las que emplean en mayor medida trabajadores especialistas en las tecnologías de la información y la comunicación, el sector no es ajeno a la preocupación sobre el impacto que sobre sus trabajadores puedan tener la automatización y la digitalización de su actividad.

Existe un relativo consenso alrededor de la idea de que la digitalización de la actividad productiva, en general, provocará en el medio largo plazo, una importante sustitución de trabajadores por máquinas (CES, 2017a). Esto sucederá en muchos ámbitos de actividad, no sólo en el sector de la energía o los industriales, sino incluso en las prestaciones de servicios, afectando principalmente a tareas rutinizables que puedan ser fácilmente realizadas por robots, *softwares* o algoritmos. De hecho, la IEA (2017b) ha subrayado que la digitalización mejorará la eficiencia y la productividad aparente del factor trabajo a lo largo de toda la cadena de valor en las actividades del sector de la energía.

Sin embargo, resulta preciso subrayar que la digitalización hace surgir también nuevas demandas de empleo en actividades no rutinarias de elevada cualificación y también en aquellas que requieren habilidades sociales para mejorar la prestación de los servicios. En el sector de la energía, como se ha apuntado anteriormente, estas nuevas ocupaciones estarían vinculadas con la necesidad de llevar a cabo una explotación adecuada del *big data* y del *smart data* (científicos y analistas de datos, ingenieros informáticos, diseñadores de procesos, arquitectos de software o desarrolladores de soluciones TIC) y con la creciente servitización de su actividad y la orientación del negocio hacia la mejora de la experiencia de los clientes o usuarios.

La Comisión Europea ha apuntado los cambios que la digitalización provocará en la demanda de trabajo y las tendencias comunes que afectarían a todos los perfiles; cambios que fueron recogidas por el Consejo Económico y Social de España (CES) en su Informe 3/2017, sobre La digitalización de la economía y que son extrapolables al caso del sector de la energía.

RECUADRO 4: CAMBIOS EN LA DEMANDA DE TRABAJO PROVOCADO POR LA DIGITALIZACIÓN

1º La digitalización reduce las tareas de tipo rutinario, pero no sólo las de tipo repetitivo y manual en los perfiles industriales, sino también otras más analíticas y en perfiles variados. Los software de cálculo, optimización y tratamiento de grandes conjuntos de datos permiten a los empleados de logística, en efecto, configurar planes y rutas de

manera más rápida y fiable, de igual forma que los mecánicos utilizan software y equipos analíticos cada vez más complejos para el diagnóstico de los vehículos. Y el sector primario analiza con instrumental digital y software adecuado cada vez más y más diversos parámetros de sus producciones, tanto en inputs como en productos.

2º El uso de estas nuevas tecnologías tiende a incrementar la velocidad, flexibilidad e independencia en el trabajo. Los realizadores de animaciones cuentan con tecnologías de trazado, perfilado, color, etc. que han reducido extraordinariamente las anteriores rutinas; y los diseñadores cuentan con potentes tecnologías y lenguajes que abren nuevos espacios a la creación, ahora de carácter multimedia. En contrapartida la mayor independencia del trabajo que permiten estas tecnologías hace que se difuminen los centros de trabajo y que aumente la responsabilidad sobre el propio trabajo en los contenidos de todos los empleos, sean por cuenta propia o ajena. Por ejemplo, el electricista de obra o los instaladores de redes ahora desarrollan su trabajo *in situ* con mayor frecuencia en solitario, dado que las relaciones con sus colegas y la información relevante se obtienen vía Internet. De igual forma, los operadores de maquinaria deben de manera creciente ser capaces de programar las máquinas y monitorizar su producción.

3º Las competencias de las distintas categorías ocupacionales, incluso dentro de los mismos o similares perfiles laborales, aunque con más frecuencia de modo interempresa, aunque también difumina las fronteras tradicionales entre algunas profesiones. En la reparación de vehículos coexisten, en categorías laborales similares o muy próximas, ocupados que utilizan -como se acaba de explicar- sofisticados sistemas de diagnóstico y reparación con otros que realizan tareas más convencionales y de tipo manual; de igual forma, coexisten operadores capaces monitorizar y ajustar en función de los resultados la maquinaria a su cargo mientras otros llevarán a cabo tareas más simples de operación y ajuste.

4º La digitalización está teniendo un alto impacto en los requerimientos de competencias digitales. Pero también de otras complementarias, de tipo más horizontal. Todos los perfiles estudiados requieren competencias digitales a un nivel de usuario avanzado para aplicar el software específico de uso ya generalizado en estas profesiones, pero esto implica, en todos los casos, buen conocimiento de uso de las propias herramientas TIC (ordenadores, tablets, smartphones...) y, con ello, de software no específico. Dado el rápido desarrollo de nuevos programas y técnicas, esto también implica que se requiere una buena capacidad de aprendizaje y adaptación. Y cada vez más se requiere poseer también otras competencias de tipo

“soft”, principalmente habilidades comunicativas y de tipo social para el trabajo en equipo y para las relaciones con clientes y proveedores

Fuente: CES, Informe 3/2017, sobre La digitalización de la economía, a partir de Comisión Europea, ICT for work: Digital skills in the workplace e Informe CES 3/2015, *Competencias profesionales y empleabilidad*.

En todo caso, las estimaciones y cuantificaciones que se han realizado, hasta el momento, sobre el impacto específico de la transformación digital y de la descarbonización sobre el empleo, aunque optimistas en general, resultan poco precisas. Todas ellas sugieren que los efectos o el balance final sobre el empleo vienen determinados por la gobernanza de dichos procesos, las medidas de acompañamiento y apoyo que se establezcan y la reacción y adaptación del tejido empresarial a los mismos⁶¹.

3.4. La paradoja de la digitalización de la energía: el uso de energía por parte de las tecnologías de la información y la comunicación

Por último, cabe señalar que respecto a la digitalización del sector de la energía y sus efectos sobre la descarbonización del sector, se produce una situación paradójica relacionada con el incremento de la demanda de energía que todo el proceso de transformación digital trae consigo.

En concreto, como se ha descrito, la transformación energética va acompañada de una alta proliferación de dispositivos inteligentes conectados cuya información viajará a través de las redes de transporte o transmisión y será tratada por el sistema de manera conjunta a través de grandes centros de datos. Todo ello generará un aumento de la demanda de energía derivada de todas esas nuevas aplicaciones y servicios energéticos.

⁶¹ Por ejemplo, solamente respecto a la parte de transición energética, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (febrero de 2019) presentó una estimación de su impacto sobre el empleo en España, estimando un aumento neto de entre 250.000 y 364.000 personas al año entre empleos directos e indirectos, como resultado de las nuevas inversiones en renovables, ahorro y eficiencia y en redes; y contabilizando también el impacto negativo sobre el empleo de las desinversiones en las centrales nucleares y de carbón. Asimismo, Eurofound presentó en febrero de 2019 las implicaciones sobre el empleo comunitario del Acuerdo de París, llegando conclusiones en la misma línea, aunque para la Unión en su conjunto se estima que el empleo tanto en la actividad extractiva y en las “utilities” (Energía y agua) se reducirá en 2030 respecto a los niveles actuales (Eurofound, 2019).

Además, la acelerada reducción de costes de múltiples dispositivos, sensores y dispositivos inalámbricos hace posible su incorporación a muchos objetos cotidianos, desde alarmas y cámaras de seguridad hasta, de manera más sofisticada, los vehículos eléctricos. Como se ha indicado, esta domótica inteligente resulta fundamental para la gestión activa de la demanda, pero lleva asociada una mayor demanda de electricidad.

Como indica Sánchez-Durán (2018) “la nueva conexión de estos millones de dispositivos y máquinas lleva incorporado un aumento de la demanda eléctrica, no sólo por la alimentación de estos nuevos dispositivos sino por la transmisión de información (sobre redes fijas, inalámbricas o móviles), y la necesaria alimentación de centros de procesamiento de datos y servicios de almacenamiento en red”.

La demanda de energía por parte de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) aplicadas al sector procede de los dispositivos conectados, los centros de datos y las redes de datos. Sin embargo, el impacto final sobre la demanda de la energía resulta incierto puesto que su mayor despliegue y presencia están siendo acompañados por mejoras en su eficiencia energética.

En efecto, a medida que el sector de la energía se transforma el número de dispositivos conectados y la extensión del Internet de las cosas (IoT) aumentan, y lo hacen de manera creciente, lo que supondrá un incremento en la demanda de electricidad. Según las estimaciones recogidas por IEA (2017a), se calcula que en 2020 existirán en el mundo más de 20 billones de dispositivos IoT conectados y alrededor de seis billones de *smartphones*. No obstante, en paralelo, se están consiguiendo mejoras en términos de eficiencia energética y se está haciendo un especial esfuerzo por reducir los “consumos fantasma”, por lo que el balance final sobre la demanda de energía es incierto.

Esto mismo sucede respecto a los centros de datos, que en 2014 respondían del 1 por 100 de la demanda total de electricidad mundial. Si bien se espera que la carga de trabajo de dichos centros se triplique hasta 2020, se estima un incremento en el uso de electricidad de solo un 3 por 100 gracias a las continuas mejoras en la eficiencia (IEA, 2017a).

Finalmente, en cuanto al uso de energía que realizarán las redes de datos, las estimaciones son menos precisas. La mayor parte de la demanda de energía, alrededor de dos tercios, procede de las redes de telefonía móvil que, a su vez, están en constante transformación en cuanto a los tipos de acceso y que parece que, desde el 2G hasta el 4G y el inminente 5G, han ido mejorando su eficiencia energética en cuanto a intensidad en el uso de electricidad.

4. CONCLUSIONES

Descarbonizar la economía es un objetivo ineludible. Pero para que la transición del sector energético presente un balance positivo resulta esencial anticipar y gestionar adecuadamente los cambios y, en este ámbito, los avances tecnológicos y digitales son los mejores aliados para lograrlo.

La digitalización del sistema energético contribuye al cambio de paradigma del sector, modificando el marco de actividad de las empresas del sector y las reglas de mercado sobre las que se han venido sustentando los sistemas energéticos. Las empresas se enfrentan a nuevos competidores y a unos clientes reactivos a la situación de los mercados, dotados de mayor capacidad de negociación.

Además, la digitalización ha venido a borrar las fronteras o límites sobre las que muchas de las normas existentes se habían construido. La creciente intangibilidad de los activos, la menor importancia de su localización material o geográfica, los decrecientes costes de transacción que hasta ahora limitaban el alcance, la escala de las interacciones entre los agentes o incluso los cambios en las funciones de oferta y demanda y en la propia definición de escasez, han modificado sustancialmente la manera de intervenir en los mercados, de modo que las decisiones de política económica deben adaptarse a esta nueva realidad (OCDE, 2019).

Los importantes impactos de la digitalización en el sector de la energía exigirán el establecimiento de marcos de política económica que permitan acomodarse a desarrollos futuros difíciles de prever (IEA, 2017a). Los cambios indicados afectan a los modelos de negocio y a la forma en la que se proveen los servicios energéticos, cambios que además se caracterizan por su elevada velocidad.

- En este contexto, la regulación resulta determinante en la configuración final del mercado, y debe conjugar, por un lado, la necesidad de **asegurar un mínimo de seguridad jurídica y una estabilidad** suficiente para movilizar las inversiones necesarias para llevar a cabo esta transición, pero a su vez, por otro lado, debe mostrarse lo **suficientemente flexible** como para permitir la integración continua de las innovaciones en el sector, incluidas las digitales. Conjugar ambas necesidades es un reto para los poderes públicos puesto que la velocidad de los desarrollos digitales acelera la obsolescencia de las normas que regulan el sector.
- Desde el sector público, se debe prestar especial atención a la posibilidad de que se den inversiones subóptimas en esta transición, debiendo **promover sobre todo las actividades de I+D** vinculadas a la descarbonización “inteligente” del sector de la energía. De hecho, experiencias fallidas del pasado han podido incrementar las cautelas empresariales, tanto del sector como del sector financiero o de otro tipo de inversores, a la hora de invertir en nuevos desarrollos tecnológicos digitales o energéticos.
- El regulador se encuentra con el reto de aunar la necesidad de explotar el máximo potencial de los desarrollos digitales y tecnológicos de la transición energética, atendiendo, a su vez, a la obligación de **proteger la privacidad y los derechos de propiedad intelectual**, además de **garantizar la ciberseguridad** del sistema. La hiperconectividad puede suponer problemas de privacidad y seguridad; los propietarios de los activos y los operadores del sistema pueden alegar razones de confidencialidad para no compartir sus datos y la información. Dada la importancia de las interconexiones, la coordinación y cooperación entre países en el ámbito de la ciberseguridad resulta fundamental, tanto en la identificación de las posibles vulnerabilidades, como en las respuestas que se puedan necesitar en una emergencia cibernética.
- Los poderes públicos deben asegurar que **esta transición digital** hacia la descarbonización de las economías **no deje a nadie atrás**, y se realiza en términos de justicia y solidaridad. Los beneficios de esta transición bajo la forma de un servicio energético más eficiente, barato y sostenible deben extenderse a toda la sociedad. Se trata de garantizar un igual acceso a

las tecnologías digitales independientemente de la localización geográfica de los usuarios, así como de propiciar el uso avanzado de dichas tecnologías mismas entre los usuarios con menor formación o de mayor edad.

- La necesidad de que esta **transición sea justa**, adquiere especial importancia **en cuanto al empleo**. Parece evidente que los nuevos empleos que se creen no serán ocupados necesariamente por los trabajadores desplazados por estas transformaciones. Por lo tanto, esta transición debe acompañarse de medidas o herramientas que mitiguen los impactos negativos y favorezcan la adaptación de los trabajadores (Comisión Europea, 2017), lo que involucra necesariamente a las políticas de empleo, tanto activas, es decir, las relativas a la recualificación, formación continua y recolocación de los trabajadores, como a las destinadas a asegurar una adecuada protección frente al desempleo, a la política fiscal, en cuanto a la distribución costes/beneficios del proceso, y, por supuesto, a las políticas educativas y formativas de la población (CES, 2017a).

Solamente desde una adecuada gobernanza de todo este proceso se conseguirá que el resultado final sea positivo en términos medio ambientales y, a su vez, contribuya al avance de la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson M. y Saiz L. (2018): “La inversión en activos intangibles en la zona del euro”, *Boletín Económico del BCE*, núm. 7/2018.
- Bloess A. et al. (2017): “Power-to-heat for renewable energy integration: Technologies, modeling approaches, and flexibility potentials”. Discussion Papers núm.1677, DIW Berlin.
- BNEF (Bloomberg New Energy Finance)
 - (2017): *Digitalization of energy systems*, Bloomberg New Energy Finance, London, UK.
 - (2018): *New Energy Outlook*, 2018
 - (2019): “Battery Power’s Latest Plunge in Costs Threatens Coal, Gas”, March 26, 2019. www.bnef.com
- Booth A. et al. (2018): “Accelerating digital transformations: A playbook for utilities”, *The Digital Utility. New challenges, capabilities and opportunities*. McKinsey. McKinsey.com.
- CEOE (Confederación Española de Organizaciones Empresariales) (2018): *Plan digital 2025. La digitalización de la sociedad española*.
- Comisión Europea:
 - COM (2016) 860 final, “Energía limpia para todos los europeos”.
 - COM (2018) 773 final. “Un planeta limpio para todos”.
 - (2017): *A concept paper on digitization, employability and inclusiveness. The role of Europe*.
 - (2018a): *Informe sobre el progreso digital en Europa (EDPR) 2018: Perfil de España*
 - (2018b): *The Digital Economy and Society Index (DESI) report*.
 - (2018c) *Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative*. November 2018
- Consejo Económico y Social de España (CES):
 - (2016): Informe 04/2016 sobre *Nuevos hábitos de consumo, cambios sociales y tecnológicos*.
 - (2017a): Informe 03/2017 sobre *La digitalización de la economía*.
 - (2017b): Informe 04/2017 sobre *El sector eléctrico en España*.

- (2018): *Memoria socioeconómica y laboral de España 2017*
 - De las Heras, E. (2017): Transición energética en España: ¿Qué podemos aprender de las experiencias de otros países?. Memorando OPEX nº217/2017. Fundación Alternativas.
 - Delgado A. et al. (2017): “Transformación digital en la industria eléctrica”, *La digitalización de la economía española*, Economistas, núm. 155, págs. 65-77
 - Deloitte (2018): *Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible en España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación*.
 - Divisadero (2018): Barómetro sobre la madurez digital en España 2018, IE Business School.
 - EECSP (Energy Expert Cyber Security Platform) (2017): *Cyber Security in the Energy Sector Recommendations for the European Commission on a European Strategic Framework and Potential Future Legislative Acts for the Energy Sector* (Report February 2017)
 - Egea, J. M. (2018): “El gas natural como fuente energética de transición”, *Desafíos del sector energético: un enfoque sectorial*. Funseam.
 - Endesa (2016): *Informe Endesa sobre el Comportamiento Energético de las Empresas Españolas. Radiografía energética de un país*
 - Enel (2018) “Grid edge, the three pillars of change”. www.enel.com (27 April 2018).
 - Energía y sociedad (s.f.), *Manual de la energía*. www.energiaysociedad.es
 - España:
 - Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (febrero de 2019)
 - Borrador de Anteproyecto de Ley de cambio climático y transición energética (22 de febrero de 2019)
 - Orden IET/290/2012, de 16 de febrero, por la que se modifica la Orden ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008 en lo relativo al plan de sustitución de contadores.
 - Real Decreto Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores

- Estrada B. y Pumarada M. (2018): *La Digitalización de la economía española y sus repercusiones en el empleo*, Documento de Trabajo 199/2018. Laboratorio de Alternativas.
- Eurofound (2019), *Energy scenario: Employment implications of the Paris Climate Agreement*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Parliament (2016) *Cyber Security Strategy for the Energy Sector*, ITRE Committee.
- Flexilwatts (grupo de trabajo) (s.f.): Flexibilidad de la demanda. www.ree.es
- Fresco, P. (2019): “¿Cómo afectará el coche eléctrico al empleo?”, artículo en Agenda Pública, 7 de enero 2019.
- IEA:
 - (2016): *World Energy Outlook 2016*. OECD/IEA, París.
 - (2017a): *Digitalization and energy*. OECD/IEA, París.
 - (2017b). *World Energy Investment 2017*. OECD/IEA, Paris, Francia.
- INE, *Encuesta de uso de TIC y Comercio Electrónico en las empresas 2017-2018*.
- IRENA:
 - (2016), *Innovation Outlook: Renewable Mini-grids*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
 - (2019), *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Mukherjee J. (2018): “How Utilities Can Build Effective Digital Estrategies”. *Strategy+business*, PwC.
- NREL (2015): *The value of improved short-term wind power forecasting*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.
- OECD (2019): *Vectors of digital transformation*, OECD Digital Economy Papers, nº 273.
- Plataforma enerTIC (2018): *VII Guía de referencia smart energy*.

- Red Eléctrica Corporación: *Principales líneas del Plan Estratégico 2018-2022*, 19 de febrero de 2019.
- Red Eléctrica de España (REE):
 - (2017): Transformación Digital del Sector Eléctrico.
 - (2011): Límites del sistema eléctrico a la integración de generación de régimen especial
 - RED21 en <http://www.ree.es/es/red21>
- Rodríguez, F. (2018) “Redes inteligentes e interacción con clientes eléctricos”, *Desafíos del sector energético: un enfoque sectorial*. Funseam
- Roland Berger (2016): *España 4.0. El reto de la transformación digital de la economía*.
- Sánchez-Durán R. (2018): “Energía y digitalización. ¿Estamos ante una evolución o revolución digital?”, *Cuadernos de la Energía*, núm. 55.
- Sanz, M. A. (2018), “El papel del petróleo en la cobertura de la demanda energética a medio y largo plazo”, *Desafíos del sector energético: un enfoque sectorial*. Funseam.
- Therme, J. (2015): “La révolution du numérique dans le domaine de l'énergie”. *Responsabilité & environnement*, núm.78.
- Unión Europea:
 - Reglamento (UE) 2014/651 de la Comisión, de 17 de junio de 2014, por el que se declaran determinadas categorías de ayudas compatibles con el mercado interior en aplicación de los artículos 107 y 108 del Tratado.
 - Reglamento (UE) 2015/1017, de 25 de junio, relativo al Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas
 - Reglamento (UE) 2016/679, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE.
 - Directiva (UE) 2016/1148, de 6 de julio de 2016, relativa a las medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la Unión.

- Directiva (UE) 2018/844, 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- Directiva (UE) 2018/2001, de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables
- Varela, J. (2015): *La brecha digital en España. Estudio sobre la desigualdad postergada*. Madrid, Comisión Ejecutiva Confederal de UGT.
- World Economic Forum (2016): White Paper on Digital Transformation of Industries. Electricity Industry.

ÍNDICE DE RECUADROS Y GRÁFICOS

Recuadros:

Recuadro 1: Objetivos de descarbonización de la UE y de España para 2030 .	7
Recuadro 2: Actual grado de penetración de la digitalización en el sistema eléctrico.....	44
Recuadro 3: Ejemplos de elementos e impactos en las empresas de energía a causa de la digitalización.....	48
Recuadro 4: Cambios en la demanda de trabajo provocado por la digitalización	62

Gráficos:

Gráfico 1: El problema de la falta de flexibilidad. Ejemplo ilustrativo de vertido eólico.....	17
Gráfico 2: Transformación del sistema eléctrico por la digitalización	19
Gráfico 3: Principales medidas de gestión de la demanda.....	25
Gráfico 4: Madurez digital por sectores, 2018	38
Gráfico 5: Usos básicos de las TIC por parte de las empresas del sector.....	39
Gráfico 6: Usos intermedios de las TIC por parte de las empresas del sector .	40
Gráfico 7: Usos avanzados de las TIC por parte de las empresas del sector ..	41
Gráfico 8: Indicadores de capital humano relacionado con las TIC.....	42
Gráfico 9: Ahorro potencial de costes por la digitalización en función de la actividad	49
Gráfico 10: Cobertura de banda ancha y equipamiento según localización en %	55
Gráfico 11: Diferencias en los usos de internet según nivel educativo y edad en %	56