

las políticas más relevantes para alcanzar estos objetivos tenían su foco en el sector energético: la mejora de la eficiencia energética en las principales áreas de la economía, el desarrollo e incremento del uso de las energías renovables o la limitación o reducción de las de emisiones de metano en la producción, transporte y distribución de energía.

Tuvo que transcurrir más de un cuarto de siglo hasta el siguiente paso con huella en el camino correcto de la encrucijada climática. La COP21 celebrada en París en 2015 concluyó con la firma por parte de 196 países de un tratado vinculante sobre el cambio climático (United Nations, 2015). La principal meta establecida por el Acuerdo de París fue la de mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales, así como la realización de los esfuerzos necesarios para contener dicho incremento a 1,5°C. El Acuerdo de París significó un paso adelante crucial hacia una economía descarbonizada con profundas implicaciones para el sector energético.

Con el objeto de profundizar en la senda trazada por el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, la Unión Europea aprobó en 2019 el denominado Green Deal (European Commission, 2019). A pesar de haber modernizado y transformado la economía europea en los años anteriores logrando un crecimiento económico del 61% con una reducción de gases de efecto invernadero del 23%, se estimaba insuficiente para detener el cambio climático. Las políticas europeas consideraban necesarias metas más ambiciosas a nivel de la Unión para situar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 55% en 2030 respecto a los niveles de 1990 y alcanzar la neutralidad climática en 2050.

Resulta muy destacable señalar que más del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión Europea, en ese momento eran, y aún lo son, consecuencia de la producción y uso de energía en todos los sectores económicos. Por tanto, descarbonizar el sistema energético resultaría crítico para lograr los objetivos climáticos en 2030 y 2050. Para ello, sin lugar a duda, como primera acción, la eficiencia ener-

gética debería ser priorizada siguiendo la máxima de que la energía más sostenible es aquella que no se consume. Más aún, la generación de energía habría de pivotar hacia un despliegue masivo de energías renovables, al tiempo que se acometería una rápida retirada de la generación eléctrica a base de carbón y una creciente descarbonización de la de gas natural. Sin embargo, esta transformación, con impacto para la distribución de electricidad y gas, demandaría realizarse obligatoriamente garantizando un suministro de energía seguro y a bajo coste, que satisficiera las necesidades de los consumidores y empresas, y asegurando un mercado energético europeo integrado, interconectado, digitalizado y neutral en cuanto a la tecnología elegida por cada país para llevar adelante estos objetivos.

Avanzando en el tiempo, dos años después, en 2021, la Unión Europea presentó el paquete Fit for 55 (European Council, 2021), un conjunto de propuestas para revisar y actualizar la legislación europea a fin de convertir en legalmente vinculante la reducción de emisiones en al menos un 55% para 2030. Entre el extenso rango de iniciativas, muchas de ellas iban dirigidas al sector energético. Se elevó la participación de las energías renovables hasta representar el 40% en el mix energético. Conjuntamente se promovía la sustitución de los combustibles fósiles por gases renovables o bajos en carbono, como el hidrógeno o el biogás. En este ámbito, se hacía especial énfasis en la medición, reporte y reducción de emisiones de metano, ya que este gas es el causante del 30% del efecto invernadero y posee un potencial de efecto invernadero 84 veces superior al dióxido de carbono en un ámbito temporal de 20 años. Teniendo en cuenta que el sector energético es responsable del 19% de las emisiones de metano en la Unión Europea, existía un enorme potencial para la reducción rápida y eficiente de estas emisiones.

La invasión rusa de Ucrania no hizo más que acelerar los planes europeos con el lanzamiento en 2022 del plan REPowerEU (European Commission, 2022): un conjunto de acciones que ahondaban y profun-

dizaban en el mencionado paquete Fit for 55. Así, entre otras medidas, se elevaba al 45% el objetivo de renovables, contando con un despliegue de 320 GW de energía solar fotovoltaica para 2030, y 600 GW para 2050, utilizando en gran medida los tejados de los edificios. Adicionalmente, se intensificaba la instalación de bombas de calor hasta alcanzar los 10 millones en los siguientes 5 años y aceleraba la producción sostenible de biometano que llegaría a los 35.000 millones de metros cúbicos en 2030.

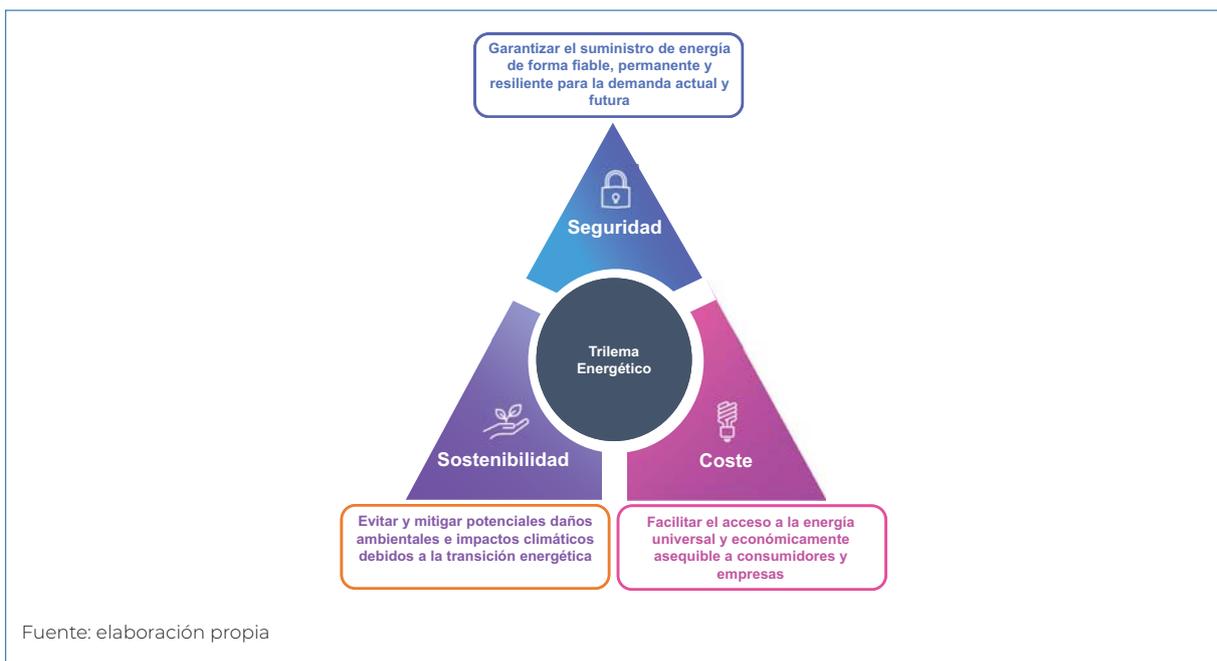
Dentro de este marco regulatorio estratégico la Unión Europea solicitó a cada Estado Miembro la elaboración de un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) para el período 2021-2030. En él cada país desarrollaría su contribución a los objetivos europeos de energía y clima para 2030. En el caso de España la actualización del PNIEC para 2023-2030, en fase de consulta pública actualmente, eleva la ambición climática respecto a la edición de 2021 (MITECO, 2021) con, entre otros objetivos, un 32% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990, un 48% de renovables sobre el uso final de la energía y un 81% de energía renovable en la generación eléctrica (MITECO, 2023)

EL TRILEMA ENERGÉTICO Y LAS 4D

Los exigentes objetivos climáticos anteriores han configurado un escenario caracterizado por el denominado *trilema energético*, concepto introducido por primera vez en 2012 por el World Energy Council (World Energy Council, 2012) (Carmacho Parejo, 2013), consistente en hacer compatibles tres objetivos simultáneos: la seguridad del suministro, la asequibilidad o coste para los consumidores y la sostenibilidad (Figura 1). Los tres objetivos son interdependientes entre sí y a menudo contradictorios entre ellos, es decir, que el logro de uno de ellos puede tener efectos negativos sobre los otros.

La seguridad, primer elemento del trilema, significa contar con un suministro continuo y fiable de energía. A fin de lograrlo es imprescindible la diversificación de recursos energéticos, la reducción de la dependencia de fuentes energéticas no fiables y el desarrollo del transporte, distribución y almacenamiento de fuentes confiables. Por asequibilidad se entiende la capacidad de suministrar energía abundante y a bajo coste. El último elemento del trilema, la sostenibilidad, se enfoca a evitar daños

FIGURA 1
EL TRILEMA ENERGÉTICO



medioambientales e impactos climáticos a lo largo de la cadena de valor que garantice un suministro de energía seguro y asequible. El trilema energético precisa de la puesta en marcha de cuatro dinámicas para su resolución, también conocidas como las 4D: descarbonización, descentralización, democratización y digitalización.

Así las cosas, el nuevo paradigma que representa la transición energética supone una completa disrupción para las compañías distribuidoras de gas y electricidad. En el contexto previo a la transición energética, el flujo de energía eléctrica era completamente unidireccional. Partía desde fuentes de generación centralizada y convencional, y por tanto predecibles: carbón, gas, fuel y nuclear. A través de la red de transporte (TSO) llegaba a los diferentes distribuidores (DSO) que la entregaban a los consumidores. En este caso la red de distribución presentaba un papel pasivo y los consumidores carecían de un papel activo en la gestión de la demanda (Figura 2).

Sin embargo, la dinámica de descarbonización supone un incremento exponencial de la generación renovable, principalmente solar y eólica, y por tanto un aumento de la variabilidad debido a su dependencia de la meteorología, así como del almacenamiento. La generación deja de estar concentrada de determinadas ubicaciones y tiene lugar allí donde existe recurso disponible de viento o sol. Esta descentralización conlleva la necesidad de la extensión de la red eléc-

trica, tanto de transporte como de distribución, hasta estos nuevos emplazamientos para que se pueda conectar la generación renovable. El acceso a las fuentes de producción renovables experimenta un proceso de democratización que convierte el rol pasivo de los consumidores en uno completamente activo y doble al ser también productores, esto es, prosumidores a través del autoconsumo y el almacenamiento asociado, las comunidades energéticas y el vehículo eléctrico.

El flujo de energía eléctrica pasa a ser multidireccional (Figura 3) y en este contexto la red de distribución, diseñada para la unidireccionalidad, necesita dotarse de nuevas capacidades que le permitan adaptarse a este nuevo escenario mucho más complejo. Es aquí donde la digitalización será la dinámica capaz de dotar a la red de distribución de la inteligencia necesaria para gestionar con éxito esta nueva realidad.

Algo similar sucede para las redes de distribución de gas. En la situación previa a la transición energética el gas llegaba a las redes de distribución tras ser inyectado a la red de transporte desde plantas de GNL (Gas Natural Licuado) o por conexión a otros gasoductos de mayor capacidad. Con la llegada de los gases renovables, como el biometano, y el hidrógeno se generaliza el crecimiento de puntos de inyección de gas directamente en la red de distribución. El nivel de complejidad de la operación de estas redes se eleva sustancialmente.

FIGURA 2
FLUJO DE ENERGÍA PREVIO A LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

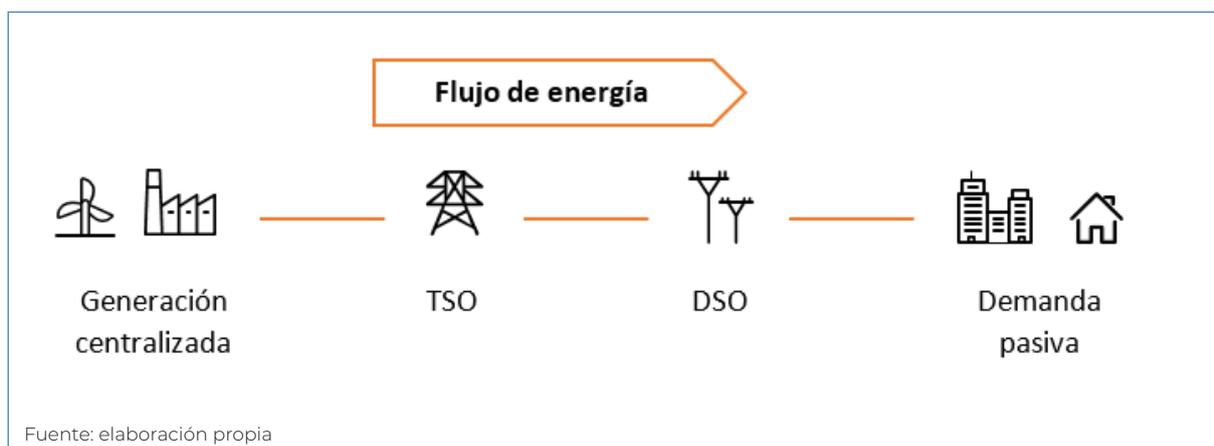
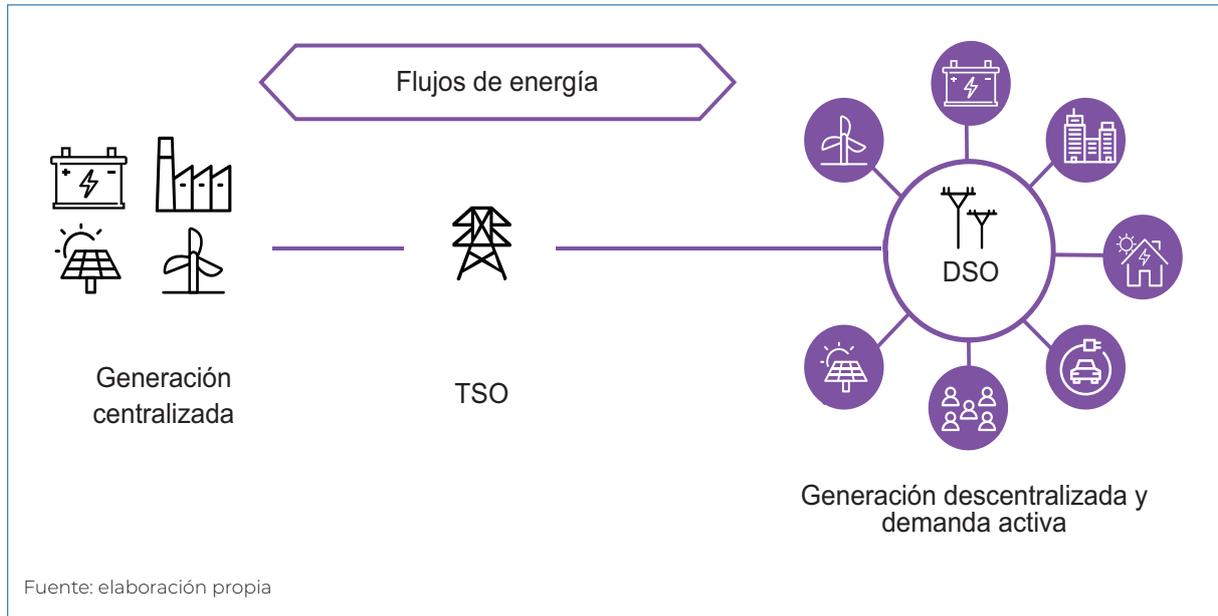


FIGURA 3
FLUJOS DE ENERGÍA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA



Para las redes de distribución de gas la descarbonización presenta facetas diferentes a las que afrontan las redes eléctricas. Ambos tipos de redes comparten similitudes, como la complejidad de la operación o la maximización renovable, que en las de gas significa maximizar la cantidad de biometano que fluye por los gasoductos garantizando su origen con completa trazabilidad, así como preparar los mismos para el *blending* o mezcla de hidrógeno con gas natural. Sin embargo, al ser el propio gas natural un generador de emisiones de CO₂, la detección y control de las fugas de metano es clave para la descarbonización. A nivel comunitario, la Unión Europea está en proceso de elaboración de la reglamentación para el sector gasista, de forma que de forma progresiva se calculen las emisiones causadas por fugas de metano desde la estimación teórica hasta la medición real.

El PNIEC (MITECO, 2023) contempla unas inversiones en redes de 52.920 millones de euros, el 18% del total de las inversiones para la transición energética hasta 2030. Por otro lado, según (Eurelectric, 2023) por cada euro invertido en generación renovable serían necesarios 0,67 euros de inversión en ampliación y digitalización de la red de distribución eléctrica para cumplir los objetivos de descarbonización y electri-

ficación de la Unión Europea. Una ingente inversión que debería acelerarse incrementando la inversión anual en un 84% desde 2023 a 2050, es decir, un desafío en la gestión de proyectos para los DSO.

EL STATU QUO

El sector de distribución de gas y electricidad ha operado durante décadas en marcos regulatorios estables en forma de monopolios u oligopolios sobre tecnologías maduras que han sufrido muy pocas variaciones. A la vista del desafío que supone la transición energética emerge una pregunta fundamental, ¿en qué situación de partida se encuentran estas compañías para alcanzar con éxito los objetivos climáticos planteados?

La Teoría de Capacidades de Recursos (Wernerfelt, 1984) (Barney, 1991) y los años 80 del siglo pasado ya demostraba que las organizaciones por el mero hecho de tener un cierto tamaño y un determinado presupuesto no necesariamente tenían que obtener unos resultados excelentes. Es más, organizaciones con menos recursos, pero con un mejor uso y desarrollo de sus activos intangibles, es decir, con capacidades y

know-how diferencial estaban más preparadas que las primeras.

Si se realiza a continuación un somero análisis estratégico contemplando las cinco fuerzas del mercado de Michael Porter (Porter, 2008) se observa lo siguiente. El poder de negociación de los clientes se ha incrementado basado en las exigencias de los Gobiernos, a fin de cumplir con los tratados internacionales en materia de clima, y de los reguladores, en defensa de los consumidores. Asimismo, se observa que, pese a disponer barreras de entrada altas consecuencia de la situación de monopolio territorial, sí existe una verdadera amenaza de nuevos competidores entrantes y servicios sustitutivos, en el ámbito eléctrico, como son las comunidades energéticas, gracias a las dinámicas de descentralización y democratización que podrían hacer la necesidad de red irrelevante.

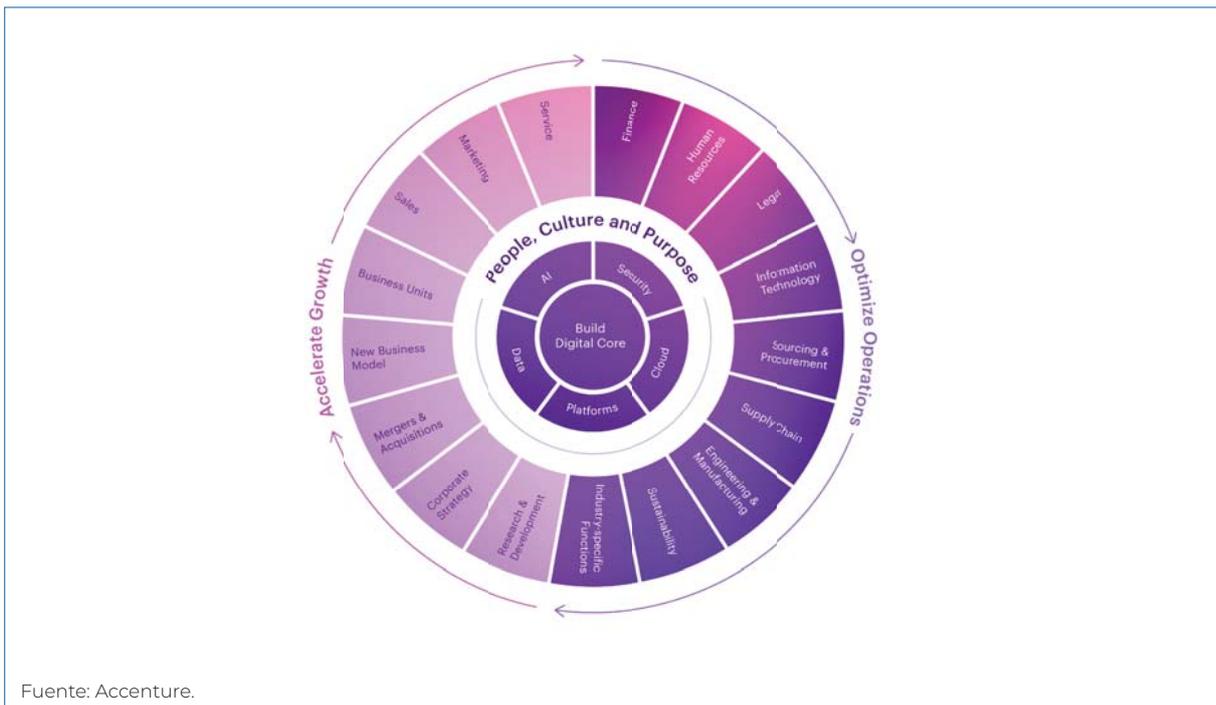
El contexto del sector ha provocado que la inercia de éste ante los cambios sea mucho más alta que en otros sectores económicos donde la competencia del mercado y la necesidad de innovación son imperativos. Las propias características de la regulación donde los activos de distribución se plan-

tean con una vida regulatoria de 40 años, que incluso se suele extender más allá, influyen en esta mentalidad. A ello se añade, de forma general, una configuración organizativa tradicional en silos con tasas de rotación baja y con dificultades para atraer nuevo talento que considera más atractivo otro tipo de sectores.

HACIA LA REINVENCIÓN TOTAL

Si bien el camino de lucha contra el cambio climático arrancó hace más de tres décadas, y ha sido muy lento, los compromisos políticos y las obligaciones regulatorias de los últimos años han acelerado la necesidad de avanzar hacia las metas climáticas dada la proximidad cada vez mayor de 2030 y 2050. El cambio que requieren los DSO para alcanzarlas ha de empezar necesariamente por generar un sentido de urgencia interno siguiendo el modelo de Kotter (Kotter, 1996). Con todo, es tal el tamaño del desafío y la disrupción que supone en el negocio tradicional de distribución, que sólo a través de la reinvencción total del mismo se afrontará con garantías aquél.

FIGURA 4
MODELO DE REINVENCIÓN TOTAL DE ACCENTURE



¿A qué nos referimos con el concepto de reinención total (Accenture, 2023)? Se trata de una estrategia consciente e intencionada cuyo objetivo es llevar a las compañías y al sector en que operan a una nueva frontera de rendimiento y desempeño. La reinención total concentra sus esfuerzos en crear un núcleo digital que impulse el crecimiento y optimice las operaciones en un entorno de incertidumbre, disrupción y volatilidad, como se muestra en la Figura 4.

La reinención total se caracteriza por los siguientes elementos. En primer lugar, reinención y estrategia pasan a ser sinónimos. Es decir, la reinención deja de ser una palanca para la ejecución y se convierte más en una manera de ser que de hacer. El núcleo digital se convierte en la principal fuente de ventaja competitiva, en línea con lo que ya se adelantaba en (Westerman, Bonnet, McAfee, 2014). *“Todo negocio, es un negocio digital”* (Accenture, 2013) y por eso cualquier estrategia empresarial lleva a la tecnología. Aprovechar al máximo la potencia de la computación en la nube, los datos, la creación de plataformas y las posibilidades de la inteligencia artificial en un entorno ciberseguro permite a las compañías el rápido desarrollo de nuevas capacidades para abordar el nuevo entorno. Las personas son elementos centrales para la reinención y han de ser tenidos en cuenta desde el comienzo de la puesta en marcha de ésta. La combinación de talento humano y tecnología es lo que posibilita nuevas formas de trabajo. Por ello, la gestión del cambio pasa a ser una competencia ineludible en estas organizaciones ya que la reinención total desarrolla capacidades extremo a extremo eliminando silos organizativos. Finalmente, por su inherente naturaleza, la reinención no es una acción que se lleva a cabo una vez, sino que es continua, pues continuos son los cambios del entorno que afectan a la organización.

Las implicaciones de la reinención total son amplias. La tecnología que anteriormente se consideraba como un elemento de disrupción pasa a ser ahora un habilitador. La permanente transformación demanda a los principales líderes de las compañías replantearse las capacidades y competencias básicas de sus equipos y

construir una cultura de cambio que se inserte en el ADN de la organización.

El estudio llevado a cabo por (Accenture, 2023) demuestra que las compañías que están llevando a cabo esta reinención cuentan con un potente núcleo digital. Con su adopción están logrando mejores resultados operativos, acelerando su capacidad para lograr una innovación continua, incrementando su resiliencia ante la disrupción y mejorando el modo en que crean valor para todos sus grupos de interés.

EL MODELO DE REINVENCIÓN TOTAL DE LOS DSO

El modelo de Accenture para la reinención total de la distribución de gas y electricidad en el contexto de la transición energética se sintetiza en la Figura 5 y se desarrolla en detalle a continuación.

Si la transición energética ya supone en sí misma un punto Jonbar, la misma categoría alcanza la otra disrupción de nuestro tiempo: la digitalización, la última de las D's, dinámicas, para la resolución del trilema energético. Esto es, no es posible avanzar en la transición energética sin escoger el camino de la digitalización.

Como comentábamos anteriormente, los fundamentos para la reinención total comienzan con la creación de un núcleo digital. En la literatura académica son escasas las referencias a la digitalización en el ámbito del sector energético español (González García, 2016) (Sopena Daganzo, 2016) (Millares, 2017), de ahí la criticidad para los DSO de acelerar y profundizar en ella. La digitalización en sí misma deja de ser un fin para convertirse en el habilitador tecnológico de la transformación digital. Aunque no existe un consenso en la literatura académica sobre la definición del concepto de transformación digital, a los efectos de la reinención total tomaremos dos de las más ajustadas a ésta. Disponemos de la de (Westerman, 2014), *“el uso de la tecnología para mejorar radicalmente el rendimiento o alcance de las empresas”*, que se completa con la de (Furr, Shipilov, 2019), *“simplemente adaptar la estrategia y estruc-*

FIGURA 5
MODELO DE REINVENCÓN TOTAL DE LOS DSO



tura de una organización para capturar oportunidades habilitadas por la tecnología digital”.

La Figura 6 muestra las tres tecnologías fundamentales que conforman el núcleo digital: cloud, datos e inteligencia artificial. Estas tecnologías se construyen sobre tres capas. Partiendo de una primera capa de infraestructura cloud y seguridad automatizada, ágil y segura por diseño, se superpone otra de datos e inteligencia artificial que permite compartir y explotar los datos a lo largo y ancho de toda la compañía a través de una capa altamente interoperable de aplicaciones y plataformas en la parte superior del modelo.

La tecnología por sí sola no es suficiente para materializar la reinvención. No es posible la transformación digital sin el componente humano que como apuntaban las definiciones anteriores es el encargado de aprovechar la tecnología para optimizar las operaciones y generar nuevas oportunidades de negocio ante los retos que se presentan. Aún así tampoco se hallan referencias en la literatura académica sobre la relación entre la transformación digital y el

capital intelectual, compuesto éste por los capitales humano, estructural y relacional (Bueno, Merino, 2007) que nos darían pistas sobre cómo maximizar este aprovechamiento.

En cualquier caso, afrontar nuevos retos y adaptarse al cambio que supone operar en la transición energética demanda de una nueva cultura y liderazgo. Los líderes de los DSO han de generar una cultura centrada en las personas donde ellos, en primer lugar, se desarrollen como líderes transformacionales a la vez que impulsan una mentalidad de crecimiento y aprendizaje. Generar esta cultura e irradiarla hacia el exterior de la compañía, personificada por los propios líderes, resulta crítico a la hora de atraer talento con capacidades digitales de las generaciones Z o *millennial* a la búsqueda de organizaciones guiadas por el propósito y la sostenibilidad, aspectos ambos inherentes a los DSO por su papel en la descarbonización y la lucha contra el cambio climático. Los DSO también se han caracterizado por bajas tasas de rotación en sus plantillas por lo que cuentan con personas con gran experiencia en el negocio. Su formación y reconversión en habilidades digi-

tales es parte de la nueva cultura. Para obtener el máximo valor de esta combinación de talentos, los líderes pueden impulsar la gestión del conocimiento como motor de crecimiento del capital intelectual de la organización.

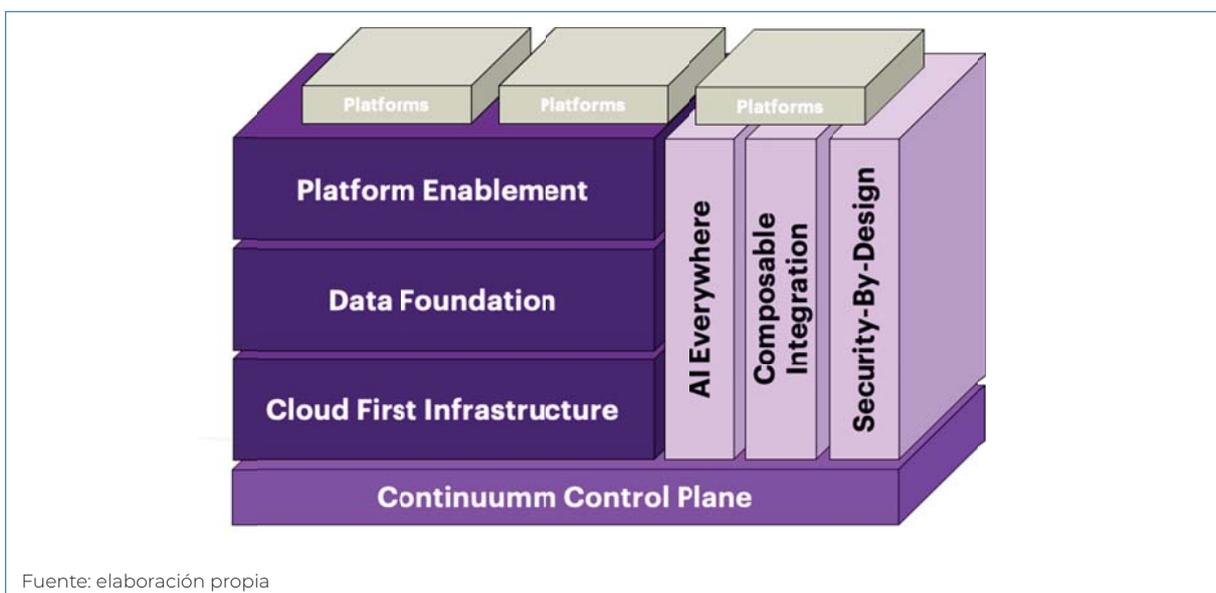
Asentados los dos pilares fundamentales para la transformación digital, la tecnología y las personas, podemos avanzar en la construcción del modelo de reinención de los DSO. Éste consta de cuatro capas (Figura 5) a las que se suma una quinta que envuelve a todas las demás: liberación de valor, construcción de sistemas y operaciones sostenibles, atención a las necesidades crecientes de los clientes, búsqueda y escalado de nuevo crecimiento y sostenibilidad.

Tradicionalmente los DSO se han orientado a la optimización de costes y al cumplimiento regulatorio, con modelos operativos basados en formas de trabajar con muchas capas, limitada automatización, silos de procesos, datos y aplicaciones y respuesta reactiva a los cambios regulatorios con un análisis limitado de riesgos y oportunidades. La liberación de valor se produce cuando la organización es capaz de disponer de modelos con una visión 360° que distribuyen los recursos dinámicamente y maximizan no sólo el ROI con perspectiva financiera, sino también los indicadores co-

respondientes a talento, clientes o sostenibilidad. Esto es posible en buena medida gracias al uso de los datos en una organización ágil que pone énfasis en el aprendizaje y el conocimiento a través de la experimentación y rápida adaptación y que se dota de modelos operativos modulares con capacidad de decisión. Además, el uso de la inteligencia artificial facilita el análisis continuo de riesgos y oportunidades y la proactividad en el ámbito regulatorio con el uso de modelados económicos avanzados.

El núcleo digital de la organización impulsa la construcción de sistemas y operaciones sostenibles. La gestión de proyectos de inversión en redes de distribución se ha realizado hasta la fecha con bajos niveles de automatización y escasa obtención y compartición de datos, así como con responsabilidades fragmentadas que producían una falta de visión global debido a la organización en silos. Con el empleo de datos, las plataformas inteligentes son capaces de digitalizar la gestión de proyectos proveyendo modelos digitales de los activos con los que realizar simulaciones avanzadas de programaciones y costes. Asimismo, es posible una gestión integral de los activos desde su concepción en la fase de planificación, pasando por las de ingeniería, construcción y mantenimiento y, finalmente, desmantelamiento. Si sobre una potente

**FIGURA 6
EL NÚCLEO DIGITAL**



estructura de datos, se aplica la inteligencia artificial a los mismos, se obtienen los beneficios de eficiencia en las operaciones, sirviendo como ejemplo para ello el mantenimiento predictivo de activos o la gestión de averías con técnicas de machine learning.

En la transición energética los consumidores han dejado de ser meros espectadores para convertirse en protagonistas activos de primer nivel, es decir, en clientes, y en muchos casos prosumidores, que desean participar en el proceso de descarbonización con una experiencia digital. Nuevamente, la tecnología del núcleo digital habilita experiencias personalizadas y conectadas con ellos mediante interacciones y comunicaciones automatizadas cuando, por ejemplo, solicitan una nueva conexión a la red para consumo o autoconsumo o tiene lugar una avería.

La búsqueda de nuevas propuestas de valor que generen crecimiento con la creación de nuevos negocios, junto con la consiguiente capacidad para su escalado, es una enorme oportunidad para los DSO en el contexto de transición energética. El fomento de una cultura de innovación continua impulsada por el liderazgo de la organización y la apertura a alianzas estratégicas con las que cocrear nuevas soluciones de descarbonización, resiliencia y flexibilidad se acelera con el uso de plataformas digitales.

Resultaría paradójico que los DSO llevaran adelante sus objetivos climáticos sin que el camino hacia ellos y su ejecución fueran igualmente sostenibles. De ahí que la construcción de las nuevas infraestructuras de las redes de distribución tenga embebidas desde su diseño soluciones con baja o nula huella de carbono, máxima reducción de consumo de agua o completa seguridad laboral para los trabajadores. Más aún, una sensorización y monitorización intensivas de las instalaciones, tanto de las nuevas como de las existentes en servicio, que alimente con datos los modelos digitales definidos en la fase de ingeniería habilita una gestión del ciclo de vida de estos activos mucho más sostenible.

A continuación, se presentan una serie de casos que muestran cómo el modelo de reinvención total se vuelve tangible en experiencias y propuestas concretas. Todas ellas tienen un factor común como elemento central: el empleo de la tecnología y la digitalización.

FLEXIBILIDAD

Tal y como se ha señalado previamente, la transición energética está siendo completamente disruptiva para el sector energético al transitar éste desde un sistema centralizado, *commoditizado* y predecible a uno descentralizado y orientado al cliente. La necesidad imperativa de descarbonizar la generación de electricidad está acelerando el despliegue masivo y descentralizado de energías renovables y almacenamiento eléctrico a gran escala, así como la inyección de gases renovables en las redes de gas. El descenso en los costes y los marcos regulatorios favorables hace lo propio en cuanto a los recursos energéticos distribuidos, tales como instalaciones fotovoltaicas en tejados de viviendas y cubiertas de industrias, baterías o aerotermia. La democratización en el acceso a los recursos energéticos distribuidos y la involucración activa de los consumidores está propiciando el surgimiento de nuevos agentes en el sistema energético; las comunidades energéticas, los agregadores de demanda o las VPP (Virtual Power Plant) son ya una realidad debido a las tecnologías digitales. La eficiencia energética es básica para la descarbonización ya que, como señalamos anteriormente, la energía más sostenible es aquella que no se consume. Los altos precios de la energía han despertado una conciencia entre la población sobre el consumo de ésta y está motivando la puesta en marcha de medidas de eficiencia energética a través del uso de soluciones digitales, como por ejemplo, contadores inteligentes tanto de gas como de electricidad o domotización de edificios y viviendas. Adicionalmente a las características anteriores internas al sistema energético han surgido situaciones externas que acrecientan los desafíos del trilema energético. Los cada vez más frecuentes fenómenos climáticos extremos

causan daños sobre las redes e impactan en la seguridad y continuidad del suministro. Con la digitalización pueden aparecer brechas en los sistemas de ciberseguridad susceptibles de ser aprovechadas por hackers para atacar los sistemas OT y provocar apagones.

Varios son los retos que se presentan a los DSO para operar las redes de distribución. La naturaleza dinámica, o intermitencia, debido a la dependencia de la meteorología de las fuentes de energías renovables y los recursos energéticos distribuidos propiedad de los consumidores resultan en un enmascaramiento de la carga real de la red eléctrica, así como en congestiones localizadas en media, y principalmente, en baja tensión. En estas circunstancias la complejidad para predecir el comportamiento de la red y llevar a cabo una precisa gestión de ésta con el objetivo de asegurar el equilibrio entre generación y demanda se incrementa exponencialmente. Se añaden a esta complejidad las expectativas de los consumidores que se ponen de manifiesto por su mayor toma de conciencia en cuanto al creciente volumen de los datos y el valor inherente de los mismos asociado a los recursos energéticos distribuidos y su deseo de participar de manera más activa en la transición energética en búsqueda de una mayor trazabilidad, capacidad de elección y diversificación del uso de la energía.

El abordaje de este nuevo paradigma es posible gracias a la flexibilidad, que podemos considerar como la respuesta para enfrentar el trilema energético. Por flexibilidad se entiende la capacidad para aumentar o reducir la producción de energía o la demanda de consumo de forma dinámica como forma de adaptación a las circunstancias de cada momento. Se trata de un tema clave tanto en gas como en electricidad, si cabe más aún en este último caso para mantener la seguridad del sistema eléctrico casando en todo instante la demanda de electricidad con la generación necesaria. La flexibilidad se puede proporcionar con diversas estrategias. Una de ellas es la gestión de la demanda, siendo uno de sus ejemplos la petición a los consumidores para que reduzcan su consumo en momentos puntuales en los que la generación

no es capaz de satisfacer dicha demanda. Es decir, los consumidores pasan de tener una potencia contratada para su pico de consumo a una potencia dinámica en función de la situación de la red, con el consiguiente impacto de complejidad para los DSO que tendrán que realizar sus estudios de red con una aproximación más estadística y basada en escenarios, y no sólo para la punta de demanda, situación para la cual se diseñaban y construían hasta el momento sus instalaciones. En el otro extremo del sistema encontramos el mecanismo de *curtailment*. Mediante dicho mecanismo se requiere a las plantas de generación que dejen de producir, provocando pérdidas o vertidos de energía disponible y útil en el caso renovable, bien por una baja demanda o porque existen congestiones en la red que impiden que se inyecte toda esa energía. Con la descentralización y democratización de los recursos energéticos el número de instalaciones objeto de esta técnica ha crecido exponencialmente ya que entran en juego los prosumidores. La disminución de los vertidos se puede lograr por dos vías que a su vez son también estrategias de flexibilidad. Así encontramos el almacenamiento, bien orientado a la potencia bien hacia la energía, para acumular excedentes de generación cuando ésta es superior a la demanda y verterlos a la red en situaciones inversas. Por otro, la construcción de nueva red, el aumento de la capacidad de la existente y el mallado en baja tensión son soluciones para evitar congestiones y por tanto el empleo del *curtailment*.

La estabilidad de la red, la calidad del suministro eléctrico y la gestión de congestiones han sido siempre tareas principales de los DSO eléctricos. Éstos eran ya retos antes de la transición energética, aunque su complejidad ha crecido con ésta y se ha intensificado con la necesidad de flexibilidad. La estabilidad de la red depende de que la frecuencia y la tensión se mantengan dentro de unos niveles establecidos. Los desajustes entre suministro y demanda de electricidad afectan a la estabilidad de la red y pueden provocar apagones y la inestabilidad de todo el sistema eléctrico. Una buena calidad del suministro eléctrico implica disponer de un correcto factor de potencia y de un nivel de tensión sin ar-

mónicos. Las nuevas tecnologías bajas en carbono, tales como el vehículo eléctrico, el almacenamiento o la generación fotovoltaica, se basan en electrónica de potencia y no en máquinas rotativas como lo son las tecnologías convencionales de generación capaces de proporcionar la inercia que el sistema necesita. Es por ello que la calidad del suministro se ve afectada y podría redundar en ineficiencias en la red y en daño para el equipamiento de la misma, así como de los dispositivos de los consumidores. Por último, la gestión dinámica de las cargas, la generación y los activos de la red evitan las congestiones y las sobrecargas. Éstas se producen por determinados patrones de comportamiento del binomio generación/demanda y la capacidad de la red en determinados puntos o áreas y pueden derivar también en problemas para los equipos de la red y cortes de suministro.

Las estrategias de flexibilidad son susceptibles de encuadrarse en dos grandes categorías: físicas y digitales. Los desarrollos de red con nuevas líneas, subestaciones y transformadores, el mallado de las redes, fundamentalmente de las radiales en baja tensión, y el almacenamiento caerían dentro de la primera. La gestión de la demanda, el *curtailment*, el aprovechamiento de la capacidad real de los activos de red de manera dinámica más allá de la nominal, la previsión de generación renovable o la integración del vehículo eléctrico pertenecen al ámbito digital mayoritariamente. Los DSO han empleado las estrategias físicas para solucionar los problemas de congestión en las redes desde épocas anteriores a la transición energética. Los procesos de construcción de nuevos elementos de red son, en ocasiones, de larga duración, siempre demandantes de inversiones de CAPEX relevantes y una solución necesaria, en algunos casos, pero no definitiva, para toda la casuística de flexibilidad. Las estrategias digitales de flexibilidad representan un campo de juego nuevo para los DSO y les plantean el dilema de inversiones en distintos elementos de la tabla periódica: ¿cobre/hierro o silicio? Sin embargo, no existe tal disyuntiva ya que ambos términos son necesarios y gran parte de las inversiones totales de los DSO deberían destinarse al ám-

bito digital para ofrecer la flexibilidad que demanda el nuevo paradigma energético.

En el modelo de reinención total la construcción de un potente núcleo digital es el primer pilar para construir soluciones de flexibilidad. Comenzando por el primer vértice del trilema energético, la seguridad de suministro, se observa que la disponibilidad de las redes resulta cada vez más crítica por su sensibilidad ante climatología extrema o ciberataques. Contar con mayor cantidad de datos, de más calidad y en tiempo real desde los diversos componentes de la red facilitaría a los DSO una mejor predicción y anticipación, así como una reacción más efectiva ante incidentes y averías en la red, así como un fortalecimiento de la ciberresiliencia. Continuando por el segundo vértice del trilema, los consumidores y las empresas demandan cada vez más, conjuntamente con un suministro energético seguro, un suministro energético más económico. Con la transición energética se han empoderado a través de la generación distribuida y el autoconsumo para contribuir a la descarbonización, y por tanto a la sostenibilidad, último vértice del trilema. Las redes eléctricas son vitales para este cambio gracias a una mayor visibilidad de lo que ocurre en cada instante en sus propios activos, en la generación distribuida conectada, en el almacenamiento y en el papel activo de los prosumidores. Sin visibilidad y mayor control, especialmente de la baja tensión, no es posible ofrecer la flexibilidad que requiere la integración de las energías renovables. Tampoco los consumidores pueden tomar decisiones sin disponer de datos de calidad en cada momento.

Para la construcción del núcleo digital se arrancarían con el mejor uso posible de los datos existentes y la creación de una arquitectura de datos que soporte y se adapte a las necesidades cambiantes de la transición energética. A continuación, se trataría de ampliar la visibilidad y el control de la operación de la red sobre la generación distribuida conectada en baja tensión y las soluciones necesarias para integrarla. Como tercer paso se encontraría el despliegue de dispositivos IoT conectados a la nube que sensorizarían los activos de la red. Con ello la cantidad y calidad de datos disponibles

se incrementarían de una forma drástica mejorando la visibilidad de los elementos de la red y optimizando la predicción en la generación y demanda de los prosumidores con inteligencia artificial. Por último, el estado más avanzado de digitalización de las redes eléctricas dotaría a la red de inteligencia (*smart grid*) y control distribuido por medio del cloud, edge-computing, gemelos digitales y plataformas. Las plataformas permitirían la interacción con los generadores, consumidores y prosumidores a través de servicios avanzados. De este modo se lograría una optimización cercana al tiempo real de la actuación de los elementos de la red y una creciente coordinación entre la generación distribuida y la gestión de la demanda, sin olvidar que la ciberseguridad se contempla en todas las fases anteriores.

TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN EN LOS DSO

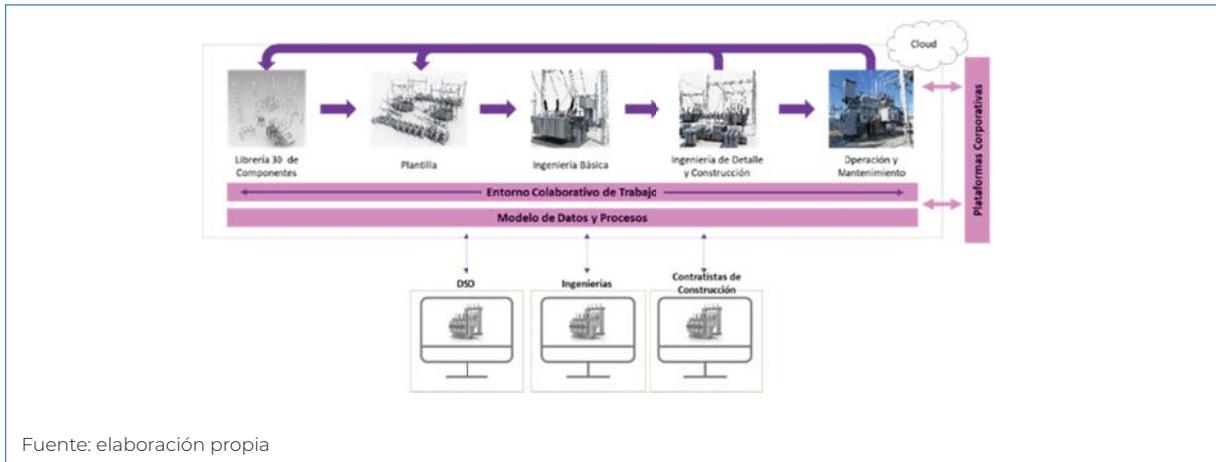
Como se ha mencionado previamente, la construcción de nuevas infraestructuras de red y la adecuación de las existentes conforman una de las estrategias de flexibilidad, además de ser indispensables para la integración de energías renovables con su acceso y conexión a la red. Los compromisos climáticos adquiridos por España implican que los desarrollos de red a llevar a cabo de acuerdo con el PNIEC son de un volumen sin precedentes y con unos plazos muy exigentes para que estén disponibles en 2030. Se trata además de inversiones cuya vida regulatoria se extiende durante 40 años, por lo que la eficiencia en el diseño, la construcción y el mantenimiento de estos activos son esenciales para la rentabilidad de estos. La digitalización en este caso puede ayudar a los DSO a cumplir los objetivos anteriores acelerando los plazos, reduciendo drásticamente, e incluso eliminando, errores desde la fase de ingeniería y proporcionando una orientación extremo a extremo del ciclo completo vida de cada activo desde su planificación y diseño hasta su operación y mantenimiento.

La digitalización de la ingeniería y la construcción comienza con un cambio de mentalidad transformador de la forma tradicional de llevarlas a cabo. Cada activo de la red deja de describirse usando planos, hojas de cálculo o documentos de texto para hacerlo mediante contenedores de datos. Esto es, cada activo se representa por un modelo digital compuesto por los elementos constructivos de lo componen que contienen información estructurada con el nivel de detalle necesario para los casos de uso que se hayan definido. Uniendo estas piezas se construye el proyecto digital de la instalación que pasa de ser una colección de planos a una base de datos interrogable. Esta base de datos digital facilita la obtención de planos, la detección de colisiones entre elementos, como es la comprobación de distancias eléctricas, para una ingeniería sin errores, la extracción automática de mediciones y presupuestos, la comprobación automática de los criterios de diseño, la simulación y contraste de las programaciones de obra o el inventariado para mantenimiento. El conjunto de metodologías para realizar esta transformación se denomina BIM (Building Information Modelling).

La reinención total implica la eliminación de silos organizativos extremo a extremo. Como transformación digital que es, la de la ingeniería y construcción, conlleva en los DSO contar con un entorno colaborativo de trabajo, repositorio común y único de información, también denominado CDE (Common Data Environment) para que las interacciones entre las diferentes áreas del DSO y su ecosistema de colaboradores externos (ingenierías, contratistas de construcción, etc.) sea posible al trabajar todos sobre un modelo único digital del proyecto. Para maximizar estos beneficios el CDE se conecta e integra con el núcleo digital. El CDE ofrece flujos de trabajo, registro de incidencias, notificaciones o cambios de diseño asociados a los elementos afectados. A través de este registro se centralizan las comunicaciones entre equipos, fomentando la coordinación y la trazabilidad (Figura 7).

Los beneficios de digitalizar la ingeniería y construcción mediante metodologías BIM están alineados con las exigencias de la transición energética de contar con las

FIGURA 7
TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN CON METODOLOGÍAS BIM



infraestructuras necesarias a en los plazos establecidos, sin errores, fiables y resilientes para todo su ciclo de vida y económicamente viables en el marco regulatorio de los DSO. La capacidad de contar con un modelo digital único para todo el ciclo de diseño básico, ingeniería de detalle, construcción, puesta en servicio y mantenimiento garantiza la consistencia documental en la generación de planos y mediciones suprimiendo las posibles descoordinaciones. Las reducciones de plazos en la ejecución de los proyectos se producen gracias a que se pueden realizar de forma automática comprobaciones de los estándares de diseño y de las colisiones entre elementos, así como mejoras en la interpretación de incidencias, y consulta, control y trazabilidad de su estado, tanto en fase de ingeniería como en obra. Más aún, la capacidad de simular las diferentes secuencias constructivas en fase de diseño hace posible la previsión de medios auxiliares para maniobras complejas y garantiza la viabilidad y seguridad de la ejecución cuando los principales desembolsos de CAPEX no han tenido lugar. Por otro lado, la digitalización facilita la tramitación y aceptación social de las instalaciones de red con la generación de infografías y vídeos sobre la evolución e impacto en el entorno destinadas a los grupos de interés. En último término, al describir los activos con modelos digitales, éstos pueden contar desde su creación con la estructura de datos para la fase de operación y mantenimiento, anticipando ya los planes de man-

tenimiento por el área correspondiente, habilitando el espacio para albergar los datos provenientes de los sensores de campo y abriendo el camino a la aplicación de la inteligencia artificial para el desarrollo de sistemas de mantenimiento predictivo basados en salud y condición del activo.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AVANZADO PARA LA FLEXIBILIDAD

Los sistemas habituales de los DSO no fueron diseñados para el crecimiento exponencial de fuentes de datos, ni los nuevos requerimientos operativos y de servicios que conlleva la transición energética. La transformación digital de la distribución demanda la redefinición de las estrategias de datos, arquitectura y sistemas para proporcionar una fluidez en el intercambio de datos dentro del propio perímetro del negocio de distribución y más allá de él. Nuevamente, el núcleo digital se constituye en el habilitador de ello.

Habitualmente los DSO han mantenido arquitecturas monolíticas separadas de IT y OT por razones de ciberseguridad (Figura 8). Sin embargo, la transición energética necesita de una aproximación integrada con un reto principal: mantener la integridad y seguridad del ADMS (Advanced Distribution Management System) combinando los datos de éste con los de los recursos energéticos distribuidos y otros dispositivos

IoT propiedad de los generadores, consumidores y prosumidores. El destino de los datos es el de ser analizados para realizar predicciones, proporcionar servicios de flexibilidad y dar soporte a las interacciones con los clientes con un sistema flexible y ágil que permita el desarrollo de nuevos servicios.

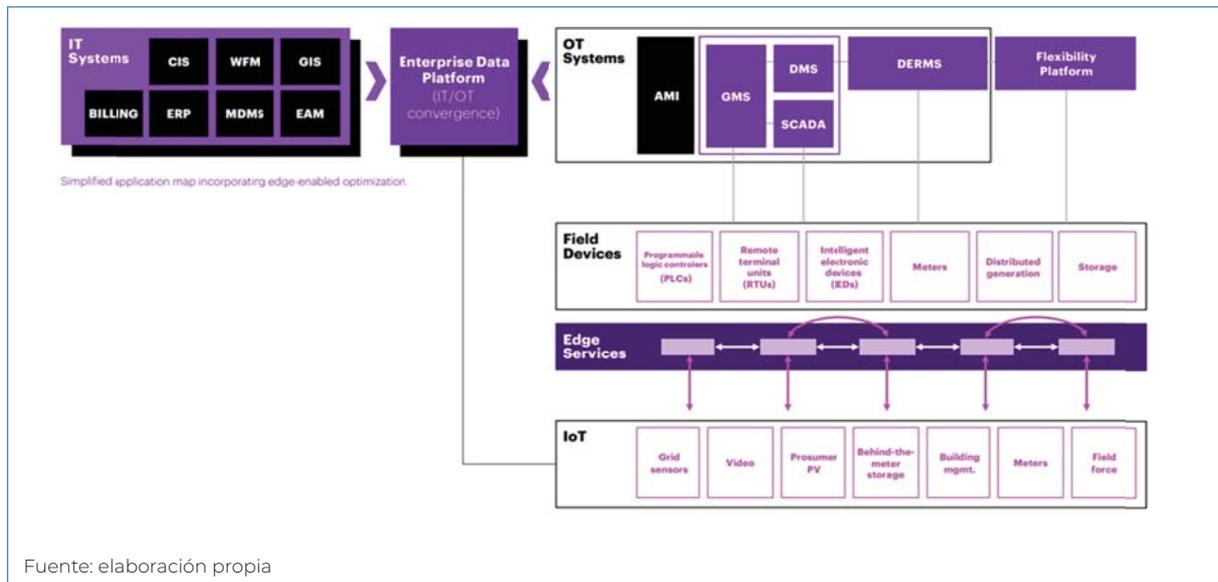
Este flujo de datos tiene lugar a través de tecnologías de comunicaciones que son críticas para la gestión de la red. Con el incremento del volumen de datos, fruto del despliegue acelerado de sensores y actuadores en la red, se pone de manifiesto que las tecnologías de comunicaciones existentes en los DSO no cumplen con los requisitos de ancho de banda, fiabilidad y latencia para una red inteligente. Las tecnologías 5G sí ofrecen baja latencia y gran ancho de banda.

Los DSO tienen experiencia contrastada en la monitorización y control de los activos de alta y media tensión mediante SCADA y ADMS, a los que han ido dotando de nuevas capacidades para alcanzar mayor visibilidad en niveles de tensión más bajos. Asimismo han ido adoptando de forma progresiva herramientas habitualmente vinculadas a los TSO, tales como los estimadores de estado, para los cuales necesitan más datos y de mayor calidad. La generación distribuida puede producir flujos inversos en las subestaciones por lo que es necesaria una mayor monitorización de los elementos que las componen. Los contadores inteligentes se diseñaron en su momento para la facturación de los consumidores. Sin embargo, actualmente los DSO necesitan acceder a una mayor granularidad en los datos que pueden ofrecer los contadores inteligentes para conocer la carga de los circuitos de baja tensión, la influencia de los vehículos eléctricos o el comportamiento de generación y consumo de los prosumidores, y de esta manera afinar sus modelos predictivos. Es en este punto donde entran en juego los sistemas DERMS (Distributed Energy Resources Management Systems) junto con plataformas de flexibilidad con las que tienen un cierto nivel de solapamiento. Los servicios de coordinación, trading, despacho y ajuste son provistos por las plataformas de flexibilidad.

Sin embargo, son los sistemas DERMS los encargados de dar el soporte técnico y de ingeniería necesario para la planificación y puesta en marcha de los servicios de flexibilidad de terceros. Además, el sistema se completa a este nivel con el despliegue de dispositivos IoT con el objetivo de mejorar los modelos predictivos en la red a través de la captura de información meteorológica, tal como velocidad del viento, punto de rocío e irradiación, o para conocer la cantidad de generación distribuida en cada momento. También sirven los dispositivos IoT para saber el estado de las variables fundamentales del sistema eléctrico (tensión, frecuencia, ángulo de fase) o de los activos (situación operativa, temperatura, etc.).

Según se intensifique la transición energética, más complejos serán los flujos de energía dando lugar a problemas localizados. La enorme cantidad de datos a recoger y analizar podrían saturar la capacidad de comunicación y computación de los DSO a causa de las siguientes situaciones. Es imprescindible gestionar una enorme y compleja variedad de sensores y dispositivos de control que requiere de una transferencia eficiente de grandes cantidades de datos desde los dispositivos IoT a través de comunicaciones con gran ancho de banda para ser procesados en potentes servicios en la nube. Los tiempos de respuesta ante estas situaciones problemáticas localizadas en la red han de estar en el orden de los milisegundos y por tanto no son válidas las soluciones centralizadas de control de dispositivos remotos que típicamente rondan el segundo o dos segundos. Se hace necesario un paso adicional en los sistemas de distribución con la incorporación del edge-computing o computación distribuida para avanzar hacia la red inteligente. Los dispositivos edge poseen capacidades avanzadas de tratamiento de datos (filtrado, compresión, almacenamiento y agregación) por lo que pueden optimizar el volumen de datos transmitidos a través de la red de comunicaciones enviando sólo aquellos datos que necesitan procesamiento en la nube. Se añade a lo anterior, su potencia de computación local y control autónomo capaz de satisfacer tanto las exigencias del tiempo real como las de ciberseguridad por su facilidad para ejecutar software de seguridad

FIGURA 8
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AVANZADO PARA FLEXIBILIDAD



y transmitir una baja cantidad de datos. El edge-computing abre así la puerta a una amplia gama de casos de uso relacionados con la flexibilidad: monitorización en tiempo real, mantenimiento predictivo, dynamic line rating, algoritmos de procesamiento edge de faltas, respuesta a la demanda, etc.

DESCARBONIZACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS MEDIANTE DETECCIÓN DE EMISIONES DE METANO

La descarbonización del sector del gas es un imperativo en la transición energética. Las emisiones de metano tienen un fuerte impacto climático como se ha señalado anteriormente, por lo que la monitorización, medida y gestión de las fugas de metano en los DSO gasistas son una prioridad. Accenture ha creado una plataforma para Duke Energy en Estados Unidos (Accenture, 2022) con este propósito que se apoya en datos suministrados por satélites, drones y sensores. Con ella se ha pasado de un enfoque basado en la reducción de emisiones y su intensidad a uno de cero emisiones en el que ya no es suficiente con "detectar y arreglar" para el cumplimiento regulatorio, sino que se avanza hacia el "predecir y prevenir" con una gestión integrada.

Desde las pantallas de los centros de control los operadores seleccionan las áreas a inspeccionar. Los satélites de infrarrojos de onda corta y los drones proporcionan datos a la plataforma que se combinan con otras fuentes de datos de la compañía para calcular en la nube con machine learning la tasa de flujo de pérdidas. En función del resultado, la plataforma crea y prioriza las órdenes de trabajo para los técnicos de campo. Estos validan la existencia de la fuga, realizan la reparación y actualizan la plataforma para que ésta genere informes de seguimiento visuales y refine los algoritmos de inteligencia artificial. Se trata de un ejemplo más de la importancia del núcleo digital.

CONCLUSIONES

Las redes de distribución de gas y electricidad son los elementos vertebradores del sistema energético al conectar la generación y la demanda. Se encuentran ante la gran oportunidad de ser los protagonistas de la transición energética si aprovechan esta disrupción para reinventar completamente su forma de operar en el nuevo escenario descarbonizado, descentralizado, democratizado y digitalizado. Ante los desafíos que plantea el trilema energético son las redes las que pueden proporcionar la

flexibilidad necesaria para su resolución. La flexibilidad sólo puede proporcionarse mediante la digitalización y ésta se materializa en un núcleo digital basado en datos, cloud, inteligencia artificial, plataformas y ciberseguridad. Combinando la potencia del núcleo digital con el talento humano y el liderazgo y la cultura centrados en las personas se construye la reinención de los DSO. Las estrategias de flexibilidad guían a los DSO, tradicionalmente orientados hacia lo físico, en su transformación en negocios digitales. Para ello ante el dilema de si abrazar la tecnología y el talento o no, para cumplir con los objetivos de lucha contra el cambio climático, sólo hay una opción: coger el imán.

REFERENCIAS

Accenture (2013). *Accenture Technology Vision 2013*. <https://newsroom.accenture.com/news/2013/accenture-technology-vision-2013-report-highlights-convergence-of-it-trends-driving-companies-to-go-digital>

Accenture (2022). *Keeping an eye on methane emissions. Case Study Duke Energy*. <https://www.accenture.com/us-en/case-studies/utilities/duke-energy-powers-ai-platform>

Accenture (2023). *Total Enterprise Reinvention. The strategy that leads to a new performance frontier*. <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-Total-Enterprise-Reinvention.pdf>

Bueno, E., Merino, C. (2007). *El capital intelectual y la creación de empresas en la sociedad del conocimiento*. Encuentros multidisciplinares, vol 9, nº 26, pp 37-46

Camacho Parejo, M. (2013). *El trilema energético*. Cuadernos de energía, ISSN 1698-3009, Nº. Extra 1, 2013 (Ejemplar dedicado a: Separata del número 38.), pp 1-22

Eurelectric (2023). *Power Barometer 2023*. <https://powerbarometer.eurelectric.org/>

European Commission (2019). Document 52019DC0640 "Communication from the Commission to the Euro-

pean Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *The European Green Deal*". <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

European Commission (2022). Document 52022DC0230 "Communication from the Commission to the European Parliament, the European Parliament, the European Council, the Council, the European an Social Committee and the Committee of the Regions *REPowerEU Plan*". https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

European Council (2021). *European climate law: Council and Parliament reach provisional agreement*.

Furr, N., Shipilov, A. (2019). "Digital doesn't have to be disruptive". Harvard Business Review.

González García, M. T., (2016). *La transformación digital en el sector eléctrico*. Cuadernos de energía, ISSN 1698-3009, 49, 116-124

Millares, R. (2017). *Gas 4.0: la transformación digital. retos y oportunidades de la industria gasista en la Cuarta Revolución Industrial*. Gas actual, ISSN 9950-0892, nº 144 (julio-septiembre), pp 22-30

MITECO. Gobierno de España (2021). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*.

MITECO. Gobierno de España (2023). *Borrador de actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2023-2030*.

Sopena Daganzo, E. (2016). *Iberdrola, la energética del futuro. La transformación digital y la lucha contra el cambio climático, claves en su modelo de negocio*. El siglo de Europa, ISSN 2254-9234, nº. 1178, pp 24-30

United Nations (1997). *Kyoto Protocol on the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

United Nations (2015). "The Paris Agreement".

Westerman, G., Bonnet, D., McAfee, A. (2014). *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*. Harvard Business Review.

Westerman, G., Bonnet, D., McAfee, A. (2014). The Nine Elements of Digital Transformation. MIT Sloan Management Review. January 07, 2014. <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>

World Energy Council (2012). "World Energy Trilemma. Time to get real – the case for sustainable energy policy".

SOBRE EL AUTOR

Andrés Cadenas es Director de Utilities de Transporte y Distribución de Electricidad y Gas en Accenture, donde ayuda a la transformación de las compañías de este sector con proyectos de estrategia, consultoría, tecnología y operaciones. Previamente ha desarrollado su carrera profesional en compañías eléctricas internacionales tales como Red Eléctrica de España, Réseau de Transport d'Électricité (RTE) e Inelfe (Interconnexion Électrique France – Espagne). Andrés es Ingeniero de Telecomunicaciones por la Escuela de Ingeniería de Bilbao de la Universidad del País Vasco, Máster en Historia Militar por la Universidad de Santiago de Compostela y actualmente doctorando de Economía y Gestión de la Innovación en la Universidad Autónoma de Madrid.