

LA RESILIENCIA DE LAS CENTRALES NUCLEARES ANTE LOS NUEVOS DESAFÍOS ENERGÉTICOS



MARTA BALADÍA OLMEDO
 Presidenta de la Comisión Técnica de la
 Sociedad Nuclear Española
 CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO,
 A.I.E. / SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

RESILIENCIA NUCLEAR ANTE NUEVOS DESAFÍOS ENERGÉTICOS

El cambio climático, la transición energética y la evolución del sistema eléctrico están modificando las condiciones en las que operan las centrales nucleares. La Jornada Técnica organizada por la Sociedad Nuclear Española analizó las capacidades necesarias para reforzar la resiliencia de las instalaciones y mantener su contribución a un sistema eléctrico seguro, fiable y descarbonizado.

UNA JORNADA PARA MIRAR MÁS ALLÁ DEL PROCESO

La resiliencia de las centrales nucleares ha dejado de ser un concepto asociado únicamente a la respuesta frente a sucesos extremos. En el contexto actual se entiende como una capacidad permanente de anticipación, adaptación, respuesta y aprendizaje. No aparece en el momento de una emergencia; se construye mucho antes. Se apoya en el diseño de las instalaciones, en la ingeniería que las mantiene actualizadas, en el entrenamiento de las organizaciones, en la cultura de seguridad, en la experiencia operativa y en la cooperación entre todos los agentes del sector.

Con este enfoque, la Sociedad Nuclear Española celebró el 30 de junio de 2026, en el Instituto de la Ingeniería de



Figura 1. La resiliencia como elemento central de la operación segura y sostenible de las centrales nucleares.

España, la Jornada Técnica «Resiliencia de las centrales nucleares ante los nuevos desafíos climáticos y del sistema eléctrico» [1]. El programa reunió trece ponencias que abordaron el tema desde perspectivas complementarias: el contexto energético europeo, la evolución del sistema

eléctrico español, la experiencia operativa tras el cero eléctrico del 28 de abril de 2025, la visión reguladora, los retos de la operación flexible, la ingeniería aplicada a la adaptación de las centrales, la fabricación y los servicios en planta, la digitalización, el almacenamiento energético de larga duración y la cooperación internacional [2].

El interés de la jornada radicó precisamente en esa visión de conjunto. No se trataba de analizar un único suceso ni de revisar una tecnología concreta. El objetivo era comprender cómo cambia el entorno en el que operan las centrales nucleares y qué capacidades deben reforzarse para mantener su contribución a un sistema eléctrico seguro, fiable y descarbonizado.



Figura 2. Inauguración de la Jornada Técnica «Resiliencia de las centrales nucleares ante los nuevos desafíos climáticos y del sistema eléctrico», organizada por la Sociedad Nuclear Española.

UN ENTORNO ENERGÉTICO EN TRANSFORMACIÓN

Las primeras intervenciones situaron el debate en un escenario energético marcado por tres grandes vectores: seguridad de suministro, competitividad y sostenibilidad. La crisis energética europea, las tensiones geopolíticas y la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles han reabierto en muchos países el debate sobre el papel de la generación nuclear. En ese marco, la nuclear aporta potencia firme, producción estable, bajas emisiones directas de CO₂ y una contribución relevante a la autonomía energética.

La transición energética, sin embargo, no consiste solo en sustituir unas tecnologías por otras. Implica transformar la forma en que se opera y se planifica el sistema eléctrico. La penetración creciente de generación eólica y fotovoltaica reduce emisiones, pero introduce variabilidad, dispersión territorial y una menor contribución de inercia sincrónica en determinados momentos. A la vez, la electrificación de usos industriales, transporte y climatización incrementa la sensibilidad de la demanda. El sistema pasa de un modelo relativamente predecible, basado en grandes centros de generación gestionable, a otro más dinámico, distribuido y dependiente de la coordinación en tiempo real.

En este contexto, las centrales nucleares no pueden analizarse únicamente por su producción anual. Su valor debe entenderse también por los atributos eléctricos que



Figura 3. Análisis del nuevo contexto energético y del papel de la energía nuclear en un sistema eléctrico en transformación

aportan: estabilidad, disponibilidad, control de tensión, inercia, capacidad de operar de forma coordinada con el resto del parque generador y contribución a la seguridad de suministro. Varias ponencias pusieron de manifiesto que estos atributos adquieren mayor importancia en un sistema con más renovables variables y con mayores necesidades de servicios complementarios.

El análisis de mercados eléctricos mostró además que la operación de las centrales nucleares españolas se desarrolla en un entorno económico más complejo. La presión de las renovables, los precios horarios bajos o incluso negativos, la evolución de los mercados de servicios, la necesidad de gestionar coberturas y la aparición de nuevos mecanismos de flexibilidad modifican las decisiones operativas y comerciales. El reto consiste en compatibilizar esa realidad de mercado con la naturaleza técnica de las centrales nucleares, diseñadas para operar con elevados factores de carga y sometidas a requisitos estrictos de seguridad, planificación y mantenimiento.

EL CLIMA COMO CONDICIONANTE DE DISEÑO Y OPERACIÓN

La jornada abordó también la influencia del cambio climático sobre las instalaciones nucleares. Los fenómenos extremos son cada vez más frecuentes, intensos o simultáneos en determinadas regiones. Olas de calor, sequías, lluvias torrenciales, inundaciones, incendios, tormentas severas o episodios de elevada turbidez en captaciones de agua pueden afectar a infraestructuras críticas, redes eléctricas, sistemas auxiliares y cadenas logísticas.

La respuesta del sector no se limita a revisar hipótesis de diseño. Requiere integrar datos actualizados, desarrollar modelos, reforzar márgenes cuando sea necesario y adaptar la explotación de las centrales a condiciones ambientales más exigentes. La ingeniería desempeña aquí un papel esencial. No basta con aplicar criterios históricos; es necesario interpretar tendencias, evaluar escenarios compuestos y convertir la información técnica en decisiones operativas útiles.

Algunos de los casos presentados ilustraron con claridad esta evolución [2]. El control del nivel freático ante eventos hidrológicos, el comportamiento térmico de los vertidos,

la mejora de sistemas de pretratamiento de agua frente a episodios de alta turbidez o la sustitución de equipos HVAC por razones ambientales y de disponibilidad son ejemplos de cómo la adaptación climática se materializa en proyectos concretos. En todos ellos aparece un mismo patrón: identificación del riesgo, análisis de alternativas, integración con sistemas existentes, control de interfaces y validación de la solución implantada.

EL CERO ELÉCTRICO COMO EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE

El cero eléctrico del 28 de abril de 2025 estuvo presente en buena parte de la jornada [3]. Su valor técnico para el sector nuclear reside en las enseñanzas obtenidas sobre la respuesta de las instalaciones y de las organizaciones.

La exposición relativa a Vandellós II permitió recorrer de forma ordenada la secuencia vivida en planta [3]. La central se encontraba en operación a plena potencia cuando se produjo la parada automática del reactor y de la turbina, con apertura del interruptor principal. Se produjo la pérdida de suministro eléctrico exterior en barras de salvaguardias y arrancaron los generadores diésel previstos. La organización aplicó los procedimientos de emergencia correspondientes, se declaró la categoría establecida en el Plan de Emergencia Interior y se siguieron las instrucciones asociadas a la pérdida de suministro eléctrico exterior.



Figura 4. Ponencia dedicada a las lecciones aprendidas del cero eléctrico del 28 de abril de 2025 y a la respuesta de las centrales nucleares ante la pérdida de suministro eléctrico exterior.

La recuperación progresiva del suministro mostró la importancia de disponer de sistemas redundantes, procedimientos entrenados y coordinación con el operador del sistema. La energización de líneas, la alimentación de barras de salvaguardias, la parada escalonada de generadores diésel, la validación del estado de la instalación y la preparación para el posterior acoplamiento a red describen una secuencia en la que la planta mantuvo sus funciones de seguridad y recuperó de forma controlada su condición operativa.

El mensaje técnico más relevante no fue solo que los sistemas actuaran conforme a diseño. También se identificaron áreas de mejora. Las comunicaciones, el acceso a determinadas herramientas informáticas, la autonomía

“La resiliencia no empieza cuando llega la emergencia. Se construye cada día, mediante diseño, ingeniería, entrenamiento, experiencia operativa y cultura de seguridad”

de servidores y la disponibilidad de documentación local aparecieron como aspectos a reforzar. Estas conclusiones son especialmente valiosas porque muestran cómo una organización madura convierte un suceso real en aprendizaje. La resiliencia se demuestra durante la emergencia, pero se refuerza después, cuando las lecciones se incorporan a procedimientos, equipos, formación y organización.

La jornada recordó asimismo la importancia del entrenamiento. Los simulacros periódicos, los ejercicios de alcance integrado, la coordinación con organismos externos y la práctica de escenarios de pérdida de suministro, incendios, terremotos, meteorología severa o intrusión no son actividades accesorias. Son parte de la infraestructura invisible que permite responder con orden cuando un evento real rompe la normalidad.

LA VISIÓN REGULADORA Y LA CULTURA DE SEGURIDAD

La resiliencia de las centrales nucleares no puede entenderse sin el marco regulador. La visión del regulador aportó un elemento de equilibrio al debate: la adaptación a nuevos escenarios debe realizarse manteniendo los principios básicos de la seguridad nuclear y la protección radiológica. La introducción de nuevas tecnologías, los cambios en las condiciones externas, los estudios de operación flexible o la digitalización deben evaluarse con rigor, trazabilidad y una adecuada gestión del cambio.

Este enfoque evita dos errores frecuentes. El primero consiste en considerar que la experiencia acumulada basta para afrontar cualquier situación futura. El segundo, asumir que toda innovación es positiva por sí misma. La resiliencia exige combinar prudencia y capacidad de adaptación. La cultura de seguridad proporciona precisamente ese marco: actitud crítica, aprendizaje continuo, comunicación abierta, toma de decisiones conservadora cuando existe incertidumbre y atención permanente a las barreras de defensa en profundidad.

En este punto, varias intervenciones coincidieron en la necesidad de reforzar la colaboración entre operadores, regulador, ingeniería, fabricantes, suministradores y



Figura 5. Intervención dedicada al papel de la regulación y de la cultura de seguridad en el refuerzo de la resiliencia de las centrales nucleares.

organizaciones internacionales. Los nuevos desafíos no respetan fronteras organizativas. Un fenómeno climático extremo puede afectar a infraestructuras externas; una perturbación de red puede involucrar a múltiples agentes; una solución digital requiere coordinación entre explotación, ciberseguridad, mantenimiento e ingeniería. La resiliencia se convierte así en una propiedad del sistema, no solo de cada instalación individual.

OPERACIÓN FLEXIBLE Y ESTABILIDAD DEL SISTEMA

La operación flexible fue uno de los temas más relevantes de la jornada. En un sistema con alta penetración renovable, la flexibilidad adquiere un valor creciente. Sin embargo, trasladar este concepto a centrales nucleares requiere un análisis técnico detallado. No se trata de aplicar de forma directa criterios propios de otras tecnologías, sino de conocer con precisión el comportamiento de los sistemas, los límites de diseño, las condiciones de operación y los posibles efectos sobre equipos y componentes.

Los estudios presentados sobre operación a cargas parciales en el ciclo secundario de centrales PWR mostraron la utilidad de los modelos termohidráulicos y de simulación para evaluar escenarios de reducción de carga, validarlos con datos de planta y detectar equipos sensibles [2]. Caudales mínimos, cavitación, desgaste, refrigeración insuficiente o transitorios térmicos deben analizarse antes de definir estrategias operativas. La conclusión no fue que la flexibilidad sea imposible, sino que debe abordarse con ingeniería, datos y criterio operativo.

La estabilidad del sistema eléctrico español apareció como el otro lado de la misma cuestión. La nuclear puede contribuir a reducir necesidades de restricciones técnicas, aportar control de tensión e inercia y complementar a las renovables. Las soluciones futuras deberán combinar generación firme, redes reforzadas, almacenamiento, gestión de demanda, compensadores síncronos y mecanismos de mercado que valoren adecuadamente los servicios necesarios para la seguridad del sistema.

INGENIERÍA, FABRICACIÓN Y SERVICIOS EN PLANTA

Una parte sustancial de la jornada estuvo dedicada al papel de la ingeniería y de la industria nuclear. Las centrales actuales

no son instalaciones estáticas. Durante décadas han incorporado modificaciones de diseño, renovación de equipos, mejoras post-Fukushima, modernización de instrumentación y control, actualización de sistemas auxiliares, refuerzos frente a sucesos externos y programas de gestión de vida. Esa evolución exige una base industrial sólida.

La ingeniería actúa como integrador entre datos, modelos, experiencia y decisión. Analiza, simula, predice, identifica causas, plantea alternativas y permite que la explotación disponga de información fiable para actuar con confianza. Los ejemplos presentados mostraron una ingeniería muy próxima a la realidad de planta: soluciones para agua, climatización, operación flexible, adaptación ambiental, mejora de disponibilidad y control de riesgos.

La fabricación y los servicios especializados completan esa cadena de valor. La experiencia de fabricantes nacionales en componentes nucleares, reparaciones, servicios en parada, mantenimiento, inspección, soldadura, mecanizado, gestión de residuos, contenedores y apoyo a operación demuestra que la resiliencia también depende de disponer de capacidades industriales cercanas, cualificadas y mantenidas en el tiempo. En un contexto de relanzamiento nuclear en varios países, preservar conocimiento, atraer talento y reforzar la cadena de suministro son condiciones necesarias para afrontar tanto la operación a largo plazo de las centrales existentes como los nuevos proyectos que puedan desarrollarse.



Figura 6. Proyectos de ingeniería y servicios especializados para centrales nucleares.

DIGITALIZACIÓN, DATOS Y CRITERIO EXPERTO

La digitalización apareció en la jornada como una oportunidad, pero no como un sustituto del criterio técnico. Modelos predictivos, gemelos digitales, monitorización en tiempo real, sensores, herramientas de diagnóstico e inteligencia artificial pueden mejorar la capacidad de anticipación y reducir incertidumbres. Permiten detectar tendencias, simular escenarios, priorizar actuaciones y apoyar la toma de decisiones.

No obstante, el valor de estas herramientas depende de la calidad de los datos, de la validación de los modelos y de la integración con los procesos reales de operación y mantenimiento. Un gemelo digital útil no es una representación atractiva de una planta, sino una herramienta capaz



Figura 7. Ponencia sobre digitalización, modelos predictivos y gemelos digitales aplicados a la mejora de la resiliencia de las centrales nucleares.

de responder a preguntas concretas con una trazabilidad suficiente. Del mismo modo, un modelo predictivo solo aporta valor si sus resultados se interpretan correctamente y si existe un proceso claro para actuar ante sus señales.

La combinación adecuada parece clara: datos, simulación y experiencia. La tecnología permite ver antes y con más detalle; el criterio experto permite decidir mejor. Esa unión será cada vez más importante en plantas que conviven con equipos de distintas generaciones tecnológicas, sistemas digitales en expansión, requisitos regulatorios cambiantes y condiciones externas menos previsibles.

ALMACENAMIENTO DE LARGA DURACIÓN E INTEGRACIÓN ENERGÉTICA

El almacenamiento energético de larga duración fue presentado como una de las piezas necesarias para un sistema eléctrico con elevada participación renovable. Las soluciones basadas en almacenamiento térmico y ciclos de CO₂ supercrítico ofrecen una vía interesante para desacoplar temporalmente producción y demanda. Permiten almacenar energía cuando existe excedente y recuperarla cuando el sistema lo necesita, con materiales convencionales, bajo riesgo de incendio, vida útil prolongada y posibilidad de integración a gran escala.

Su conexión con la generación nuclear abre nuevas perspectivas. Una central nuclear podría mantener una producción térmica estable mientras parte de la energía se desvía hacia almacenamiento, producción de hidrógeno, calor de proceso, calefacción urbana o desalación, según las necesidades del sistema y del emplazamiento. Este enfoque de sistemas energéticos integrados no sustituye el objetivo básico de operación segura, pero amplía el papel potencial de la nuclear en un sistema descarbonizado.

La clave estará en demostrar la viabilidad técnica, económica y reguladora de estas soluciones, evitar planteamientos comerciales prematuros y valorar cada caso en función de la red, la demanda, el emplazamiento y los requisitos de seguridad. El interés de la jornada fue precisamente presentar estas tecnologías dentro de un debate técnico más amplio, junto a la operación flexible, las redes, los mercados y la planificación energética.

COOPERACIÓN Y APRENDIZAJE COMPARTIDO

Uno de los aspectos más valiosos del encuentro fue la presencia de perspectivas distintas. Organismos internacionales, operadores de centrales, regulador, transportista, empresas de ingeniería, fabricantes y suministradores abordaron la resiliencia desde ángulos diferentes. Esa diversidad permitió evitar una visión parcial del problema.

La resiliencia nuclear no pertenece solo al explotador de una central. Depende también de la calidad del marco regulador, de la capacidad de la red, de la robustez de las comunicaciones, de la disponibilidad de proveedores, de la formación de los profesionales, de la cooperación internacional y de la capacidad de compartir experiencias sin complacencia. El sector nuclear dispone de una tradición sólida de análisis de experiencia operativa. En el contexto actual, esa tradición debe ampliarse para incorporar sucesos externos, perturbaciones de red, ciberseguridad, impactos climáticos y dependencia de infraestructuras no nucleares.



Figura 8. Mesa redonda sobre cooperación, intercambio de experiencias y aprendizaje compartido para reforzar la resiliencia de las centrales nucleares.

La jornada mostró que este aprendizaje ya está en marcha. El apagón del 28 de abril se ha convertido en una referencia para revisar procedimientos y comunicaciones [3]. Los estudios climáticos impulsan modificaciones y análisis específicos. Los modelos digitales permiten anticipar escenarios. Los fabricantes adaptan sus capacidades a nuevas necesidades. Los organismos internacionales promueven el intercambio de buenas prácticas. Todo ello configura una respuesta sectorial que no busca transmitir una imagen de invulnerabilidad, sino demostrar capacidad de preparación y mejora.

CONCLUSIONES

La principal conclusión de la Jornada Técnica es que la resiliencia de las centrales nucleares debe entenderse como un proceso continuo. No se limita a resistir un suceso extremo ni a recuperar la operación después de una perturbación. Implica anticipar amenazas, preparar a las organizaciones, mantener sistemas robustos, adaptar diseños, incorporar nuevas tecnologías con rigor, entrenar escenarios, aprender de la experiencia y cooperar con todos los agentes del sistema eléctrico.

“La resiliencia de las centrales nucleares debe entenderse como un proceso continuo de anticipación, adaptación, respuesta y aprendizaje”

El nuevo contexto energético refuerza esta necesidad. La transición hacia un sistema descarbonizado requiere renovables, redes, almacenamiento, flexibilidad, demanda gestionable y generación firme. En ese conjunto, la energía nuclear aporta atributos que deben valorarse de forma completa: producción baja en emisiones, disponibilidad, estabilidad, potencia firme y capacidad de apoyo al sistema. Para mantener esa contribución, las centrales deben seguir evolucionando.

La jornada celebrada por la Sociedad Nuclear Española permitió comprobar que esa evolución está en marcha. Las trece ponencias no ofrecieron una respuesta única, sino una suma de enfoques técnicos: análisis del sistema

eléctrico, experiencia operativa, regulación, ingeniería, industria, digitalización, almacenamiento y cooperación. Todas convergieron en una idea sencilla y exigente: la resiliencia no empieza cuando llega la emergencia. Se construye cada día, en la operación normal, en la preparación de las personas, en la calidad de la ingeniería y en la voluntad de aprender de cada experiencia.

Ese es, probablemente, el mensaje más importante para el futuro. En un sistema eléctrico más complejo y en un clima menos previsible, la seguridad seguirá dependiendo de instalaciones bien diseñadas, organizaciones entrenadas y profesionales capaces de convertir conocimiento técnico en decisiones prudentes. La energía nuclear cuenta con esa cultura. La tarea ahora es seguir reforzándola para que las centrales continúen contribuyendo, con seguridad y fiabilidad, a un sistema eléctrico preparado para los desafíos de las próximas décadas.

REFERENCIAS

[1] Sociedad Nuclear Española. Jornada Técnica 2026: Resiliencia de las centrales nucleares ante los nuevos desafíos climáticos y del sistema eléctrico. Madrid, 30 de junio de 2026.

[2] Presentaciones técnicas de la Jornada Técnica SNE 2026 aportadas por los ponentes.

[3] Experiencia operativa y lecciones aprendidas del cero eléctrico del 28 de abril de 2025 presentadas durante la jornada.