

GESTIÓN DEL ENVEJECIMIENTO: LA CLAVE DE LA OPERACIÓN A LARGO PLAZO



LAURA MARTÍN HUETE
Ingeniero del proyecto
IDOM



JOAQUÍN FOLE HERNÁNDEZ
Ingeniero del proyecto
IDOM



XAVIER AMORÓS TRIAS
Responsable de cliente
IDOM



ÓSCAR SALVADOR FERNÁNDEZ
Director del proyecto
IDOM

El sector energético mundial está atravesando una profunda transición impulsada por la necesidad de ampliar el acceso a la energía para dar soporte al desarrollo socioeconómico, especialmente a las economías emergentes, al mismo tiempo que se limitan los impactos del cambio climático, la contaminación y otras crisis ambientales globales. Es por ello, que se requiere de un cambio en el uso de las fuentes de energía contaminantes hacia un uso de alternativas sostenibles [1].

En el Escenario Balance Neto Cero Emisiones 2050 (NZE2050) –con el que se pretende conseguir la neutralidad de las emisiones globales de CO₂ en el horizonte del año 2050– se deberá aumentar la potencia instalada de energías limpias ya conocidas, además de tomar nuevas iniciativas, como incluir programas de innovación a través de un amplio abanico de tecnologías, desde electrolizadores para la producción de hidrógeno hasta reactores nucleares modulares pequeños [2].

En este contexto, las energías renovables han representado casi el 90 % del aumento de la capacidad total de la energía en todo el mundo durante el último año [3]. Son capaces de soportar una parte importante de las demandas energéticas, no obstante, siguen adoleciendo de un problema fundamental y es que dependen del flujo del agente energético, algo inviable en una sociedad fluctuante que exige ser satisfecha en cada instante y con un aumento constante de la demanda energética.

Por otro lado, la energía nuclear constituye una base firme y predecible para la garantía del suministro eléctrico. La

disponibilidad, fiabilidad, estabilidad y predictibilidad que ofrece, al saber que funciona de forma continua, en cualquier circunstancia y con altísima regularidad, posibilita una adecuada gestión del sistema eléctrico. Además, al ser una fuente libre de CO₂ puede hacer una contribución significativa para lograr los objetivos de sostenibilidad y mejorar la seguridad energética [4].

Por todo lo anterior, se confirma que la energía nuclear es indispensable para conseguir el desarrollo sostenible global y tiene un papel crucial en la descarbonización del sector energético y, en consecuencia, se puede afirmar que la continuidad de la operación de los reactores nucleares es una estrategia energética acertada, que además permitirá mantener una industria capacitada y tecnológica, creadora de riqueza y empleo y con gran proyección internacional.

A nivel mundial, actualmente hay 427 reactores nucleares en operación con una capacidad total neta instalada de 382 796 MWe y 56 reactores nucleares en construcción con una capacidad total neta instalada de 57 664 MWe [5].

Con el objetivo de cumplir con los compromisos medioambientales internacionales y ante la transformación del sector eléctrico, con el rápido crecimiento que están experimentando las energías renovables, el *mix* energético constituye hoy en día una necesidad de adaptación competitiva de las centrales nucleares, teniendo en cuenta que la energía nuclear es el soporte idóneo para cubrir la variabilidad de las energías renovables. Además, cada vez más países están optando por la puesta en marcha de nuevas plantas, el reacondicionamiento y reactivación de las existentes, o bien

apostando por una estrategia de Operación a Largo Plazo (OLP).

Con la OLP se persigue continuar con la operación de una instalación industrial más allá de su vida de diseño original, manteniendo o mejorando los niveles de seguridad y fiabilidad, a la vez que se cumplen los requisitos de seguridad aplicables a las estructuras, sistemas y componentes (ESC) de la misma. Además, según el informe *“Projected Costs of Generating Electricity 2020”*, la OLP es la fuente de producción de electricidad limpia con costes más eficientes [6].

En el mundo hay 147 reactores nucleares a los que los distintos organismos reguladores les han concedido autorización para operar más allá de 40 años, adoptando distintos esquemas: en unos casos se han concedido autorizaciones para 20 años adicionales, en otros, por un periodo determinado y, en otros casos, de forma indefinida. En Estados Unidos, cuatro unidades han recibido, por primera vez en la historia, autorización para operar durante 80 años [7] (Figura 1).

Resumiendo, la energía nuclear ofrece altos niveles de seguridad, un rendimiento excepcional con una alta disponibilidad, así como electricidad fiable, asequible y con bajas emisiones de carbono. Para lograr una explotación de la planta con estas características es necesario llevar a cabo un correcto mantenimiento estratégico de las ESC de la central, el cual se basa en la realización de actividades necesarias para la gestión del envejecimiento de modo que se asegure la vigilancia, control y mitigación de los mecanismos de envejecimiento y degradación de los elementos relacionados con la seguridad y/o relevantes para la seguridad, al mismo tiempo que se puedan reducir los costes de mantenimiento y operación.

GESTIÓN DEL ENVEJECIMIENTO

La gestión del envejecimiento es una sistemática para garantizar de forma razonable la funcionalidad de un grupo discreto de elementos, a lo largo del ciclo de vida de una central nuclear, superando, en caso de ser necesario, su vida de diseño.

Para lograr una explotación segura, económica y fiable de una central nuclear es fundamental disponer de un progra-

ma de gestión del envejecimiento flexible y efectivo, desarrollado en las fases preliminares de diseño, implementado desde la fase de construcción y durante la operación de dicha central, determinando todas sus necesidades e incluso en la fase final de desmantelamiento.

Para que el programa de gestión del envejecimiento sea eficaz y útil para la planta, se debe integrar transversalmente en las principales actividades que forman parte del proceso de generación de energía eléctrica, disponiendo de un equipo proactivo y multidisciplinar con recursos a lo largo del desarrollo, implantación y monitorización del programa.

El programa de la gestión del envejecimiento debe tener establecidos unos objetivos y expectativas claras, concisas y cuantificables a largo plazo, patrocinadas por la Dirección e interiorizadas por los técnicos de ejecución, determinando una metodología definida y adecuada a las necesidades de la organización.

Así pues, una organización incapaz de adoptar el cambio de mentalidad y de ejecución o con ausencia de un mecanismo de apoyo para incorporar el cambio de manera permanente, raramente completará con éxito la implementación de un sistema de gestión del envejecimiento.

Metodología

En cuanto a la metodología, la bibliografía de la industria ofrece a las organizaciones múltiples pautas que pretenden ser una guía en cuanto al desarrollo y ejecución del plan de gestión del envejecimiento.

Cabe mencionar que todas estas metodologías comparten un índice de atributos común con el objetivo de describir y poner en marcha procesos sistemáticos para vigilar, controlar y mitigar determinados modos de fallos postulados.

Se debe determinar el alcance del programa donde se incluirán aquellas ESC con funciones críticas. Cuán críticas sean las funciones radica en los resultados deseados.

Las diferentes referencias del sector utilizadas para la extensión de la vida de la planta tienen en común términos de incremento de la seguridad que definen las funciones críticas como importantes o relevantes relacionadas con la seguridad, parada segura, calificación ambiental, *station*

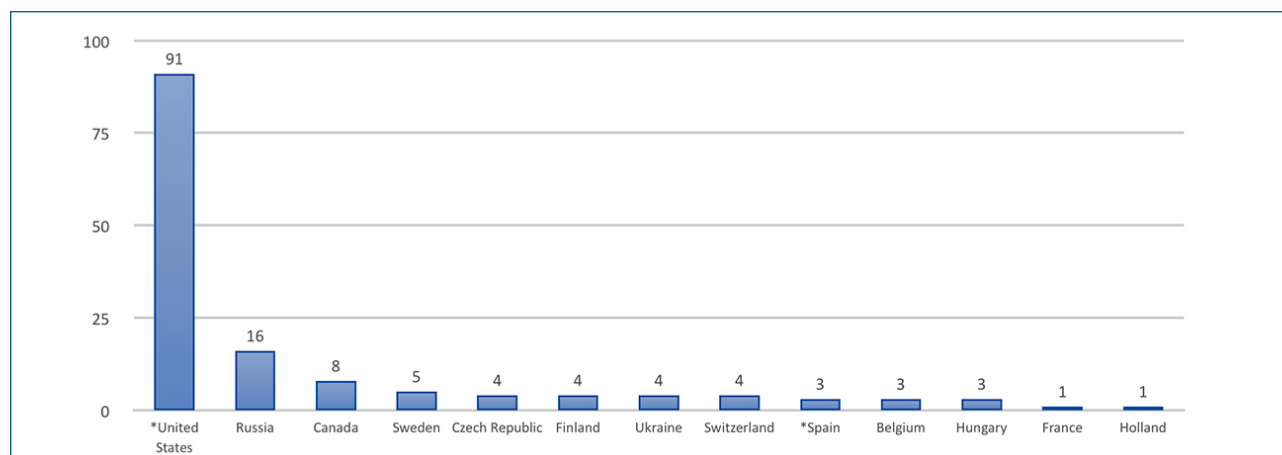


Figura 1. Representación de la continuidad de la operación del parque nuclear (*datos actualizados del 2021) [8].

blackout (SBO), protección contra incendios, *anticipated transient without scarm* (ATWS), *pressurized thermal shock* (PTS), entre otros.

Hay que tener en cuenta que las estrategias de las compañías para la OLP y la competencia del sector energético pueden introducir indirectamente términos de capacidad de producción, reducción de costes, optimización de repuestos o incluso otros de tipo documental.

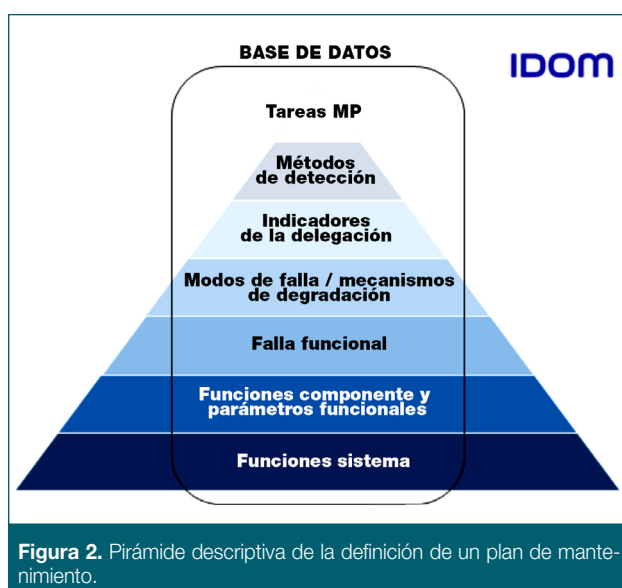
Independientemente de si se prevé un programa de gestión del envejecimiento para ESC específicos o agrupaciones o si se considera la caracterización de las ESC, es importante conocer bien las partes o subcomponentes que los componen, materiales de construcción, modos de operación, condiciones de servicio, condiciones ambientales, otros condicionantes particulares del sistema, capacidades iniciales de funcionamiento, vida útil esperada o repuestos, entre otros.

Para que el programa de gestión del envejecimiento sea eficiente, se debe establecer una relación clara entre las tareas de mantenimiento y las funciones que desempeñan las ESC incluidas en el estudio.

Una de las posibilidades para establecer esta relación, puede ser el desarrollo de ejercicios tipo análisis modal de fallos y efectos (AMFE). La matriz AMFE responde a preguntas como: ¿Cuál es el componente o parte del componente que podrá fallar? ¿Cuál es la función a analizar? ¿Cuáles son los modos de fallo potenciales? ¿En qué forma se concibe que podría fallar la ESC? ¿Cómo podría la ESC dejar de cumplir las funciones asignadas?

Una buena práctica consiste en contemplar el análisis descrito anteriormente en todas las fases del ciclo de vida de las ESC, así como incorporar las experiencias ocurridas en el sector.

Puesto que esta relación pretende ser la base sobre la que se diseñará el programa de gestión del envejecimiento, el análisis y desarrollo de la misma repercutirá, de manera directa, en la eficiencia y optimización de las tareas de mantenimiento y operacionales incluidas en los manuales de implantación. Por tanto, cabe sopesar la profundidad en la que se realiza el ejercicio ya que debe estar alineada con los objetivos y expectativas que se persiguen.



Con objeto de mitigar o prevenir cada modo de fallo postulado serán definidas una serie de tareas preventivas, predictivas o de monitorización eficientes. A fin de adoptar tareas de mantenimiento estandarizadas y de referencia, los modos de fallo pueden ser agrupados de diversas maneras.

Si la normativa de referencia lo permite, a fin de optimizar las frecuencias de ejecución de las tareas, los modos de fallo podrán ser caracterizados, por ejemplo, por criticidad, ocurrencias, etc.

Así mismo, como ya se ha comentado anteriormente, dependiendo del valor y peso que se le quiera dar a los objetivos indirectos repercutidos en el programa, podrán realizarse ejercicios y análisis técnico-económicos a fin de obtener el compromiso entre seguridad, fiabilidad y costes.

El resultado de este proceso será estructurado mediante manuales de implantación que indicarán qué actividades de mantenimiento y con qué requisitos deben realizarse y procedimientos de ejecución.

Todo programa de gestión del envejecimiento requiere de un seguimiento de cada uno de sus manuales. En él se debe verificar que se realiza una gestión efectiva y que las tareas se ejecutan de forma correcta. También se deberá comprobar si es necesaria la actualización del mismo por la inclusión de nuevas ESC, nueva normativa, por deficiencias en la implantación, por sucesos detectados en las plantas, etc.

Se realiza una monitorización tanto de los indicadores (KPI – *key performance indicators*) para comprobar que se cumplen las expectativas en cuanto a degradación, como de los resultados de las tareas evaluando que cumplen los criterios de aceptación, desarrollando un histórico del estado de los ESC y analizando recurrencias y tendencias podrán motivar una revisión del proceso realizado o la ejecución de acciones correctivas.

Así pues, el programa de gestión del envejecimiento implantado debe ser un proceso vivo que permita continuas revisiones para mejorar las tareas, ajustar las frecuencias e identificar estrategias alternativas.

Por tanto, una vez que se cumple con la vida de diseño de la planta, es posible plantear un programa de gestión adaptado para el periodo de OLP que ofrezca garantías de que todos los sistemas continúan cumpliendo con sus funciones.

Ventajas de instaurar un programa de gestión del envejecimiento

La experiencia operativa demuestra que el análisis de una instalación, basándose en la metodología RCM (*Reliability Centered Maintenance*) y la aplicación práctica de las medidas preventivas y paliativas que emanan de este riguroso proceso de análisis, tiene una serie de ventajas sobre otras formas de abordar el mantenimiento de una instalación y de evitar la degradación y sus daños colaterales. Estas ventajas tienen mucho que ver con la profundidad de realización del análisis y el rigor en su aplicación y con el hecho de que se trata de un programa de mantenimiento que considera no solo los equipos, sino la planta como un todo que va más allá de una simple suma de equipos. Se citan a continuación:

- **Mejora de la seguridad:** la implantación de un programa de mantenimiento permite identificar y monitorizar la función crítica de los ESC incluidos en el análisis, que es aquella que puede afectar a la seguridad. De ese modo, automáticamente, se proporciona una seguridad razonable de que los efectos de envejecimiento son gestionados de forma que los componentes continúen funcionando sin comprometer sus funciones. Al consolidar y fortalecer la seguridad de la planta se obtiene el beneficio colateral de mejorar el impacto ambiental ya que, al estudiar los fallos con implicación medioambiental se analizan y definen las bases para evitar los accidentes y fallos con una afectación negativa al medioambiente.
- **Aumento de fiabilidad de la instalación:** en muchas empresas en las que la fiabilidad es importante, se constata que el mantenimiento que se realiza es excesivo, es decir, están sobremantenidas. Los fabricantes de los equipos y componentes de las instalaciones proponen unas tareas de mantenimiento exageradas o que deben ser realizadas con frecuencias muy elevadas. Es por ello por lo que, uno de los principales beneficios de la metodología RCM es evitar manipular las ESC, reduciendo el error humano (disminuyendo la aparición de fallos asociados al montaje y desmontaje sistemático) y las degradaciones resultantes de dicha manipulación.
- **Reducción de los costes de mantenimiento:** una implantación eficiente y lógica del programa de mantenimiento y la identificación de las tareas de mantenimiento condicionales suficientemente efectivas, ocasiona una disminución de los costes de mantenimiento, obteniendo adicionalmente un aumento en la disponibilidad y fiabilidad de la planta. Además, aplicando una estrategia de mantenimiento eficaz, automáticamente se aumenta la eficiencia en la gestión de repuestos, y se eliminan las sustituciones innecesarias de los equipos.
- **Reducción de las paradas no programadas:** orientar la estrategia del plan de mantenimiento de los equipos tratando modos de fallo específicos según su relevancia para realizar su función en el sistema y mediante una monitorización eficiente de las principales características de las ESC, se logra detectar los fallos antes de su suceso,

garantizando que el equipo cumpla con su función reduciendo tiempos improductivos.

- **Optimización de recursos:** la optimización de recursos humanos y materiales en la realización del mantenimiento de los equipos guarda estrecha relación con la eficacia y la eficiencia ya que, una mejor planificación de las tareas de mantenimiento aportará una consecución mayor de resultados o un menor empleo de recursos para la ejecución de los objetivos definidos.
- **Aumento en el conocimiento de la instalación:** otra de las indudables ventajas de la aplicación de RCM es la mejora que se produce en el conocimiento de las instalaciones. Este análisis permite a los técnicos que deben ocuparse de la instalación tener un conocimiento muy profundo de los equipos, de su funcionamiento y de su importancia relativa, lo que les ayudará en el futuro a tomar decisiones más convenientes y acertadas en la operación y mantenimiento de las diferentes partes de la instalación.

Por tanto, es evidente que la gestión del envejecimiento es clave en el desarrollo de las principales líneas de actuación que garantizan la operación eficiente y segura a largo plazo de las instalaciones nucleares.

REFERENCIAS

- [1]. UNECE, Aplicación de la clasificación Marco de las Naciones Unidas para los recursos y sistemas de gestión de recursos de las Naciones Unidas., 2020.
- [2]. Foro Nuclear, “Así crecerá la energía nuclear, según el World Energy Outlook 2020”.
- [3]. Enrique Pérez, “Un año histórico para las energías renovables en Europa: en 2020 por primera vez superaron a los combustibles fósiles,” 2020.
- [4]. Foro Nuclear, “Valores del sector: Garantía de suministro”.
- [5]. International Atomic Energy Agency (IAEA), Power Reactor Information System (PRIS), 2022.
- [6]. IEA, “Projected Costs of Generating Electricity 2020”.
- [7]. Foro Nuclear, Energía nuclear en el mundo.
- [8]. Foro Nuclear, “Resultados nucleares del 2019 y perspectivas de futuro”.
- [9]. Foro nuclear, Catálogo industria nuclear española, 2020. ■