



SANTIAGO ALEZA ENCISO

Subdirector de Ingeniería. Dirección técnica de Seguridad Nuclear. Consejo de Seguridad Nuclear

Texto: Matilde Pelegrí y Gema Ortiz Fotos: Grupo SENDA

Con más de tres décadas de trayectoria en el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Santiago Aleza Enciso analiza la evolución de la seguridad nuclear en España, los retos que plantean la digitalización, la ciberseguridad y la gestión del combustible gastado, y la importancia de mantener una cultura de seguridad sólida en un sector marcado por la exigencia técnica, la mejora continua y el relevo generacional. Desde su responsabilidad como subdirector de Ingeniería de la Dirección Técnica de Seguridad Nuclear del CSN, defiende el papel de reguladores robustos, eficaces y técnicamente solventes para afrontar los desafíos presentes y futuros de la energía nuclear.

Santiago Aleza nació en Madrid, en marzo de 1966. Es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid, cursando sus estudios en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM) con especialidad en técnicas energéticas.

Entre 1990 y 1993, trabajó en la cátedra de Tecnología Nuclear de la UPM. Desde 1993 es miembro del cuerpo técnico del Consejo de Seguridad Nuclear. Actualmente desempeña las labores de subdirector de Ingeniería dentro de la dirección técnica de Seguridad Nuclear.

LA SEGURIDAD NUCLEAR COMO PROFESIÓN

¿Cómo ha evolucionado la profesión desde que usted comenzó hasta la actualidad?

Desde los años noventa hasta ahora se han producido cambios radicales, especialmente en el entorno de trabajo. Diría que el cambio más relevante tiene que ver con la digitalización de nuestra actividad diaria. El uso de los ordenadores, de internet, las comunicaciones, el acceso a una cantidad de información mucho mayor, o las reuniones telemáticas, convierten al entorno de trabajo en algo que en 1993 hubiera sido impensable.

Por otro lado, la edad del parque nuclear español hace que algunos temas hayan cobrado un gran protagonismo, como los contenedores, el almacenamiento del combustible gastado o la gestión de vida, de los que se hablaba poco entonces.

Sin embargo, la profesión sigue siendo, en lo sustancial, muy parecida. El aprendizaje continuo y la necesidad de tener un buen conocimiento técnico y regulador siguen siendo los cimientos de este trabajo.

¿Qué conocimientos o competencias son imprescindibles hoy para trabajar en seguridad nuclear?

Desde el punto de vista del regulador, lógicamente es necesario tener un conocimiento profundo de la regulación y la normativa. Esto implica no solo conocer los reglamentos y normas de carácter técnico sino también la normativa internacional aplicable, además de entender el alcance de conceptos que se manejan en nuestro vocabulario, como puede ser de base de licencia. Además, es importante saber cómo se estructura la documentación de cada instalación, en especial los documentos oficiales de explotación y aquellos procedimientos en los que se desarrollan.

“Mediante la seguridad nuclear se garantiza que las instalaciones operan de manera segura, minimizando la probabilidad de que se produzcan accidentes”

Pero, además del conocimiento regulador, en el CSN no podríamos hacer un buen trabajo si no tuviéramos un conocimiento técnico suficiente, que nos permita entender cada instalación y sus sistemas, tanto su funcionamiento como los análisis de accidentes, procedimientos y guías de operación, por ejemplo.

Luego es necesario ser capaz de integrar ambas áreas de conocimiento para llevar a cabo una tarea adecuada. Para ello, la capacidad de poder trabajar en equipo para que cada técnico aporte su experiencia es muy necesaria.

Además, como en cualquier otro trabajo, también son necesarias actitudes positivas en cuanto a la motivación, proactividad y capacidad de trabajo.

¿Cómo definiría la seguridad nuclear para un público técnico que no trabaja directamente en el sector?

Hay definiciones de seguridad nuclear derivadas de normas nacionales (Reglamento de Seguridad Nuclear) e internacionales (Directiva de Seguridad Nuclear de Euratom, y del OIEA). Todas apuntan en la misma dirección lógicamente, y son bastante intuitivas, no es necesario ser un especialista para entenderlas.

Sin embargo, por decirlo de manera un poco más intuitiva, la seguridad nuclear sería un conjunto de capas protectoras que se ponen sobre una instalación nuclear para que no suponga un riesgo para las personas ni para el medio ambiente desde el punto de vista de las radiaciones.

Mediante la seguridad nuclear se garantiza que las instalaciones operan de manera segura, minimizando la probabilidad de que se produzcan accidentes. Y, si ocurren, las medidas asociadas a la seguridad nuclear persiguen mitigar las consecuencias tanto en el interior de la central como en el exterior.

LA CULTURA DE LA SEGURIDAD

La cultura de seguridad es un concepto ampliamente utilizado en el sector. ¿Cómo se traduce en la práctica diaria?

La cultura de seguridad es un concepto que se utiliza en muchos sectores con altos requisitos de fiabilidad y suele definirse como el conjunto de características y actitudes compartidas por todo el personal, que asegura la prioridad de la seguridad. Esto significa que la cultura organizativa de este tipo de organizaciones debe estar orientada a la seguridad y ponerla en el centro de las decisiones y actuaciones, como principio rector, frente a otros criterios de decisión, como puede ser la producción. Esto es aplicable tanto a las instalaciones como al regulador.



PERFIL PROFESIONAL

Estudié Ingeniería Industrial en la UPM (ETSIM), especialidad en Técnicas Energéticas, entre 1984 y 1990.

Durante dos años estuve trabajando en la Cátedra de Tecnología Nuclear de la ETSIM, tiempo durante el cual estuve simulado secuencias accidentales de accidente severo con el código MELCOR para el experimento PHEBUS C9+ y para una central PWR-W de tres lazos.

En 1993 me incorporé al CSN formando parte del Cuerpo Técnico de SN y PR, escala superior. Desde esta fecha hasta la actualidad presto mis servicios en el CSN, habiendo ocupado los siguientes puestos:

1993 a 2010: técnico del área de Sistemas Nucleares de la subdirección de Ingeniería, llevando a cabo, entre otras tareas, tareas de evaluación e inspección en aspectos relacionados con los sistemas de seguridad de las centrales nucleares y también con los procedimientos y guías de operación en accidente de las centrales nucleares

2011 a 2022: jefe de área del área de Ingeniería de Sistemas de la subdirección de Ingeniería

2022 a 2025: jefe de gabinete de la dirección técnica de Seguridad Nuclear

2025 hasta la actualidad: subdirector de la subdirección de Ingeniería

He sido vocal del tribunal de licencias de CN Trillo y he participado en numerosas actividades internacionales (WENRA, ENSREG, OIEA, NEA, bilaterales con otros países).

“ El CSN define sus exigencias de regulación con el objetivo de alcanzar un nivel de seguridad nuclear suficiente ”



La cultura de seguridad no es una idea abstracta que se refleja en los documentos de la política de las organizaciones, sino que es algo que realmente debe estar presente en el día a día y dirigir todas nuestras acciones.

En el día a día, una buena cultura de seguridad se manifiesta, por ejemplo, en la toma de decisiones basada en los aspectos relevantes para la seguridad, en la priorización de actividades en función de su importancia para la seguridad, y también en la creación de un ambiente de trabajo que facilite el intercambio de ideas, en un liderazgo centrado en la seguridad mediante el compromiso, la conducta personal ejemplar, y en el ejercicio de la independencia.

¿Qué indicadores permiten evaluar si una organización mantiene una cultura de seguridad sólida?

Todas las instituciones que trabajan sobre cultura de seguridad, incluyendo organismos internacionales de referencia para el CSN como el OIEA, consideran que la medida de cultura de seguridad a través de indicadores no proporciona una idea realista de la misma.

Esto se debe a que la cultura de seguridad, como expresión de la cultura organizativa, se define por actitudes, formas de hacer y de pensar, compartidas en una organización y como tal, requiere de una evaluación por métodos de análisis socio-culturales.

El estudio de la cultura de seguridad de las organizaciones se lleva a cabo a través de evaluaciones que combinan métodos cuantitativos, como las encuestas, y cualitativos, como entrevistas, observaciones y revisiones documentales. Estas evaluaciones identifican fortalezas y oportunidades de mejora organizativa que deben encuadrarse en programas de mejora continua.

El CSN requiere a las centrales que tengan sus propios programas de mejora de cultura de seguridad, contando con especialistas en la materia, programas de sensibilización y evaluaciones, tanto externas independientes como autoevaluaciones, de las cuales se derivan planes de acción de mejora.

Además, el propio Consejo ha llevado a cabo recientemente una evaluación externa, con ayuda de una entidad independiente, de su cultura de seguridad y en la actualidad está desarrollando un programa de mejora basado en las oportunidades identificadas en ese momento.

¿Cómo equilibra el CSN la exigencia regulatoria con la necesidad de que las instalaciones mantengan su competitividad y viabilidad?

El CSN define sus exigencias de regulación con el objetivo de alcanzar un nivel de seguridad nuclear suficiente. Ese es el marco en el que se debe mover el CSN. Puesto que en ninguna actividad industrial existe el riesgo nulo, la pregunta clave es ¿hasta dónde se debe incrementar la seguridad nuclear?

El nivel de seguridad está marcado por la normativa existente, pero no podemos olvidar que hay otras circunstancias que conducen a una nueva regulación o a una mayor exigencia. Además de la mejora continua asociada a las Revisiones Periódicas de la Seguridad, un ejemplo muy claro es el uso de la experiencia operativa como mecanismo de mejora, y el caso más claro en lo que va de siglo es el impacto del accidente de la central de Fukushima. Este accidente generó un proceso que derivó en una exigencia de defensa ante accidentes no previstos que condujo a un incremento de regulación significativo y en la puesta en marcha de mejoras en las centrales.

La redefinición del marco regulador y de las exigencias novedosas no se movió únicamente en clave nacional, los desarrollos

“El CSN mantiene una exigencia reguladora al más alto nivel que garantiza que las centrales españolas cumplen con los más elevados estándares internacionales de seguridad”

siguieron en todo el mundo, tanto desde el punto de vista de nueva regulación (por ejemplo, las pruebas de resistencia europeas, dirigidas por ENSREG, y que desembocaron en la revisión de la Directiva de Seguridad Nuclear de Euratom) como desde el punto de vista de los desarrollos de la industria (por ejemplo, las mejoras planteadas por los grupos de propietarios de centrales nucleares o por las empresas de las tecnologías, que las centrales españolas asumieron desde el primer momento en 2011).

En definitiva, el CSN mantiene una exigencia reguladora al más alto nivel y homologable a la de otros países europeos, que garantiza que las centrales españolas cumplen con los más elevados estándares internacionales de seguridad. Esto es muy importante porque conduce a un nivel de seguridad nuclear muy elevado, pero también es bueno para el sector porque contribuye a generar credibilidad y confianza en la sociedad.

LOS DESAFÍOS DE LA SEGURIDAD NUCLEAR

¿Cuáles considera que son hoy los principales desafíos para la seguridad nuclear en España?

Hay un desafío permanente que es el de mantener los niveles de seguridad obtenidos a lo largo de estas décadas de experiencia. Es preciso no bajar la guardia en ningún momento.

También hay desafíos adicionales, que tienen más protagonismo ahora. Están asociados al momento de la vida de las centrales nucleares, que en España ya han sobrepasado, o están a punto de sobrepasar los 40 años. La gestión de vida



exige una atención especial. Afortunadamente, la vigilancia de los procesos asociados no es nueva, los programas existentes en las centrales y la normativa y la supervisión del CSN tienen ya una madurez. Pero, nuevamente, la potencial complacencia siempre es una amenaza. Es necesario no bajar la guardia y mantener los niveles de seguridad e incluso incrementarlos.

La gestión del combustible gastado es otro reto que está requiriendo una dedicación creciente. El CSN dedica un gran esfuerzo a los temas de contenedores y de almacenamiento temporal en las centrales, y ya se está preparando el camino del almacenamiento definitivo.

Por último, hay un desafío genérico: el de la atracción de talento y la renovación del personal técnico. El CSN se mantiene atento a la evolución de las plantillas para garantizar la seguridad de las instalaciones. Como organización tampoco somos ajenos al desafío; el CSN nació en 1980 y la distribución de edades de los técnicos hace que sea necesario un relevo generacional. El Plan de Recursos Humanos del CSN contempla la necesidad de captar talento, para ello, la oferta de empleo público permite, en los últimos años, cubrir plazas con la incorporación de profesionales altamente capacitados cada año para mantener el tamaño del cuerpo técnico.

¿Cómo están influyendo la digitalización y los sistemas basados en software en las estrategias de supervisión y licenciamiento?

Los sistemas digitales, desde el punto de vista de la seguridad nuclear, introducen un escenario diferente a los sistemas analógicos usados en el diseño original de las centrales españolas. Sin embargo, no son novedosos, hace mucho tiempo que se han ido implantando en las instalaciones. Existen normas y guías que deben cumplir los sistemas digitales de seguridad. Por ejemplo, en el OIEA está la SSG-39 (*Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*) y en la Comisión Electrotécnica Internacional el IEC 61513 (Requisitos generales de sistemas I&C importantes para la seguridad).

En el caso de las centrales nucleares españolas se han introducido sistemas digitales, pero son escasos los que tienen que

MUY PERSONAL

- **El libro que tiene en su mesilla de noche (o aquel que quiere volver a leer).** *El dios incomprendido. El desafío del clima en la historia de la humanidad*, de Francisco J. Jiménez Espejo y José Soto Chica. Me vienen muchos a la cabeza que volvería a leer. Me quedo con *En busca del unicornio* de Juan Eslava Galán.
- **El lugar al que siempre regresa.** El lugar son los veranos de mi infancia. En un pueblo de Soria.
- **Una música inolvidable.** *Nocturno para piano Opus 9 número 2*, de Frédéric Chopin.



ver con sistemas relacionados con la seguridad, dado que los requisitos para garantizar su robustez son muy estrictos.

En el ámbito internacional el uso de sistemas de instrumentación y control digitales va a ser generalizado en nuevos reactores como los SMR.

El CSN se mantiene al día en estos desarrollos, así como en las normas internacionales y en la experiencia de su uso. Por eso el Consejo es muy activo y está muy involucrado en actividades internacionales, como el *Working Group on New Technologies* de la NEA o la *Task Force on Safety-Critical Software*.

Más novedosa es la inteligencia artificial. Hay casos de aplicación, pero el uso en las instalaciones nucleares no está muy desarrollado. Además, la regulación avanza lentamente. Los organismos reguladores ya están iniciando tareas y existen muchas iniciativas internacionales, en las que el CSN participa.

¿Qué impacto tienen las amenazas emergentes, como la ciberseguridad, en el enfoque regulador del CSN?

La ciberseguridad es una preocupación permanente vinculada al uso de sistemas digitales y de inteligencia artificial. Por sus características, es un tema en el que están implicados varios actores de la administración. El CSN participa en grupos internacionales en los que también se aborda este tema. Un ejemplo es el documento de 2022 de la NEA *Consensus Position on the Impact of Cyber Security Features on Digital Instrumentation and Control Systems Important to Safety at Nuclear Power Plants*.

EL APRENDIZAJE PERMANENTE

¿Cómo se incorporan las lecciones aprendidas de incidentes internacionales a la regulación española?

Este es un tema al que el CSN da una gran importancia, dado que una buena gestión permite canalizar la experiencia operativa hacia la identificación de potenciales debilidades e identificar posibles mejoras en seguridad nuclear. En 2025, el CSN emitió la Instrucción IS-48, donde se establecen los criterios que deben cumplir los programas de experiencia operativa de las centrales nucleares.

Las centrales tienen una condición en su autorización de explotación que obliga a analizar la experiencia operativa propia y ajena, y a enviar un informe anual al CSN. Los detalles de esta condición

se desarrollan en una Instrucción Técnica Complementaria, donde se indican las experiencias nacionales e internacionales que deben analizarse (ISN, eventos reportados por WANO o INPO, etc.). El CSN analiza estos informes, de modo que las lecciones aprendidas se incorporan a la planta y a la regulación cuando se considera conveniente.

Además, dentro de los procesos del CSN para analizar la experiencia operativa, tenemos dos paneles de revisión de incidentes, uno en el que se tratan los sucesos notificados por las centrales de manera mensual y otro trimestral, en el que se tratan experiencias internacionales que resulten de especial interés por su posible aplicación a las centrales españolas.

¿Qué papel desempeña la experiencia operativa internacional en la mejora continua de la seguridad nuclear?

Es un aspecto imprescindible. Debemos aprender de lo bueno que se hace fuera, pero también de lo que no se hace bien o de los problemas que aparecen. Una de las características fundamentales del uso de la experiencia operativa es su carácter preventivo, supone una oportunidad de corregir posibles problemas larvados antes de que den la cara.

Las centrales dedican mucho esfuerzo y tienen sistemas muy robustos para tener en cuenta la experiencia operativa internacional, lo cual es muy positivo. El CSN monitoriza dichos esfuerzos y emitió la mencionada IS-48.

En el plano internacional el CSN participa en grupos sobre el tema, tanto a nivel de la Unión Europea, como en el OIEA y la NEA lo que nos permite disponer de un amplio conocimiento de la experiencia reguladora en diferentes países.

Los sucesos de gran envergadura, como los accidentes de Fukushima o los más lejanos de TMI o Chernobil, también se pueden considerar experiencia operativa internacional. Todos ellos producen cambios en la regulación y en la implantación de mejoras en las centrales nucleares españolas, haciéndolas más robustas.

UNA MIRADA AL FUTURO

¿Cuáles son las áreas donde prevé una mayor evolución regulatoria durante la próxima década?

En el caso del almacenamiento geológico profundo se prevén desarrollos relevantes. El 7º Plan General de Residuos

“Las centrales dedican mucho esfuerzo y tienen sistemas muy robustos para tener en cuenta la experiencia operativa internacional, lo cual es muy positivo”

Radiactivos establece que el AGP deberá estar operativo en 2073, parece mucho tiempo, pero es un proyecto de gran envergadura y las organizaciones implicadas ya estamos avanzando.

En el ámbito internacional, estamos atentos a los procesos reguladores de países en los que se prevé un gran número de solicitudes de nuevos reactores de fisión basados en nuevas tecnologías.

Otro ámbito en el que ya se están dando pasos es el de la fusión nuclear. Y de la mano del avance tecnológico y la posibilidad de que se hagan realidad a nivel comercial irá el desarrollo regulador. Es algo que ya se está tratando en los foros internacionales, en los que el CSN participa.

¿Qué retos específicos plantean los reactores modulares pequeños (SMR) y otras tecnologías avanzadas desde la perspectiva de la seguridad nuclear?

El CSN, como regulador nacional, no tiene en estos momentos la responsabilidad de identificar y resolver estos retos. Pero la seguridad nuclear es realmente un asunto transnacional, y es por ello que el CSN está informado y participa en foros internacionales que tienen que ver con nuevas tecnologías y con el desarrollo y construcción de nuevos reactores.

Desde el punto de vista del diseño y de los análisis de accidentes, algunos tipos de SMR están basados en tecnologías muy probadas. Pero hay otros tipos de SMR en los que, aunque las tecnologías no sean novedosas, realmente no existe experiencia operativa. En estos casos, es necesario conocer bien los posibles accidentes, las interacciones entre sistemas, etc. Esto hace necesario que los desarrolladores tengan sólidos programas de pruebas e investigación.

Existen otros desafíos para los nuevos reactores que implican de lleno a los reguladores como, por ejemplo, los aspectos relacionados con el emplazamiento o la necesidad de planes de emergencia exteriores en caso de accidente, por citar solo un par de ellos.

El gran aumento de diferentes tecnologías y de posibles solicitudes supone, para los reguladores, un transitorio muy relevante que pone en tensión la capacidad de desarrollo real. La cadena de suministro y la disponibilidad de personal técnico adecuado para hacer frente a los desarrollos, que exige una alta capacitación, son dos problemas que el sector debe resolver.

Desde el punto de vista más puramente regulador, un reto muy significativo que se está poniendo en evidencia, por ejemplo, en países como EE UU o Reino Unido es el del proceso de licenciamiento y la optimización de los plazos y de la evaluación y aceptación de los diseños y de la construcción.

Mirando hacia los próximos veinte años, ¿qué aspectos cree que definirán el futuro de la seguridad nuclear y cuál debería ser la prioridad principal de los reguladores?



El OIEA estimó en septiembre de 2025 que en 25 años se va a pasar de una potencia nuclear instalada 377 GW eléctricos a un valor de entre 561 y 992 GW eléctricos.

Desde el punto de vista regulador, el incremento del número de reactores y, por tanto, del riesgo, solo puede ser posible mediante nuevas generaciones de reactores más seguros, en los que la probabilidad de accidente sea menor y en los que, si se diera un accidente, las consecuencias en el exterior fueran irrelevantes o poco significativas. Precisamente este es uno de los requisitos más importantes de la Directiva de Seguridad Nuclear de Euratom. Asegurarlo en las centrales del futuro es la prioridad para los reguladores. No solo en el diseño, sino también en la construcción y en la operación.

En mi opinión, otra de las prioridades es garantizar que la cultura de seguridad está presente de forma real en las organizaciones que diseñan, construyen y operan las centrales nucleares. En este momento, hay una gran cantidad de promotores y de agentes novedosos que deben integrarse en la cultura que requiere este sector.

Para esto se necesitan organismos reguladores técnicamente robustos y fiables, que además deben ser eficaces, reguladores que dirijan sus recursos a los temas relevantes para la seguridad.

Si tuviera que transmitir un único mensaje a los jóvenes ingenieros y científicos que están considerando dedicarse a la seguridad nuclear, ¿cuál sería?

La seguridad nuclear supone un desafío intelectual apasionante para un científico o un joven ingeniero; se trabaja con tecnologías punteras que se hacen realidad en instalaciones muy complejas y variadas. No conozco a ningún ingeniero o científico a quien esto no le resulte atractivo.

Además, la motivación no solo es intelectual o técnica, también tiene un componente ético muy importante. El objetivo es proteger a la población, a los trabajadores y al medio ambiente. Para mí, que soy ingeniero y que formo parte del organismo regulador desde hace más de treinta años, esto ha sido un motor muy importante, me he sentido y me siento útil para la sociedad y sigo disfrutando de mi trabajo.