

Miguel Sánchez Perez

Jefe del Área de Modelación y Simulación del CSN

La modelación y la simulación son áreas claves para el mejor conocimiento del diseño y la operación de una central nuclear, y constituyen elementos fundamentales para garantizar la seguridad.

Miguel Sánchez Perea es un experto en esta materia, y nos da a conocer las líneas más importantes que el organismo regulador lleva a cabo en el campo de la simulación.

Miguel Sánchez Perea es Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid, y Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Ha desarrollado desde 1985 su carrera profesional en el Consejo de Seguridad Nuclear, en diversas áreas involucradas en el desarrollo, mantenimiento y aplicación de herramientas de simulación para los análisis de seguridad de las centrales nucleares españolas, participando asimismo en proyectos de investigación nacionales e internacionales relativos a la validación, verificación y uso de códigos de simulación termohidráulica. Desde el año 2001 es jefe del Área de Modelación y Simulación de la Subdirección de Tecnología Nuclear.



¿Qué papel desempeña la simulación en el ámbito de la ingeniería nuclear?

El uso de las técnicas de simulación ha sido esencial para el desarrollo tecnológico nuclear en todas sus fases, como diseño, construcción, licenciamiento u operación, de centrales e instalaciones. A su vez, el propio desarrollo nuclear también propició el desarrollo de técnicas modernas avanzadas en otros campos, en particular en el de la simulación, como métodos numéricos, estructuras y técnicas computacionales.

Ciñéndonos al ámbito de la seguridad nuclear, el recurso al análisis es una de las vías, dado que no se puede recurrir a la experimentación porque no se trata de evaluar lo que ocurre sino lo que podría ocurrir, lo que lleva necesariamente a la simulación con ordenador. Las herramientas de cálculo son los dispositivos que nos permiten extrapolar la informa-

ción conocida a las condiciones de accidente y disponer de capacidad predictiva.

Estos análisis de seguridad pretenden demostrar el cumplimiento del principio de defensa en profundidad, de la protección por barreras sucesivas para el control de materiales radiactivos, y de los niveles múltiples de protección contra el daño a las barreras, y consideran los dos ingredientes del riesgo: daño y frecuencia de ocurrencia del daño. Según el énfasis y nivel de detalle que se utilice en la cuantificación de cada término del riesgo, se obtienen dos diferentes métodos de análisis: Análisis de Transitorios (método determinista) en los daños a las barreras, y Análisis Probabilista de Seguridad (APS) en la frecuencia de ocurrencia del daño severo al núcleo (análisis del riesgo residual).

Ambos tipos, aunque con sus particularidades, utilizan modelos de simu-

lación para comparar la respuesta simulada con determinados objetivos de seguridad definidos en la regulación, en términos de valores limitantes de variables de daño, o de frecuencia en algunas

El uso de las técnicas de simulación ha sido esencial para el desarrollo tecnológico nuclear en todas sus fases. A su vez, el propio desarrollo nuclear también propició el desarrollo de técnicas modernas avanzadas en otros campos, en particular en el de la simulación ■

regulaciones, que en caso de no cumplirse obligan a replantear la capacidad o diseño de los sistemas de seguridad de la planta. En caso de ser las conclusiones aceptables, se permite definir unos requisitos operacionales en términos de Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF).

Tradicionalmente los problemas de seguridad, y consecuentemente las herramientas empleadas, se han dividido para su análisis dando origen a una clasificación de los códigos según su uso:

1. Herramientas de simulación de los procesos físicos: Neutrónicos, Termohidráulicos, Accidente severo, Termomecánicos, Códigos de simulación de sistemas.
2. Herramientas de simulación de actuaciones humanas
3. Herramientas de APS

Un aspecto relevante a mencionar es que en muchas de las aplicaciones es esencial el uso de metodologías envolventes y de códigos de simulación e hipótesis conservadoras, para acotar el margen a los límites de seguridad preestablecidos en la regulación.

Desde el punto de vista del regulador, ¿en qué facilita la simulación la tarea del CSN?

Muchas de las actividades realizadas en el proceso de licencia de una central nuclear con el objetivo básico de emitir y/o renovar la autorización de explotación, están soportadas tanto desde el punto de vista del regulador como del regulado, por análisis cuantitativos realizados con herramientas de cálculo. La complejidad del problema exige el uso de la simulación aunque con enfoques diferentes en la industria y en el regulador. Frente a los análisis realizados por los titulares para justificar sus propuestas, el CSN realiza análisis independientes para confirmar la aceptabilidad de éstas. El alcance de estos análisis no obvia la metodología de los suministradores principales, normalmente muy sofisticada e imbricada en el proceso de licencia global, sino que determina con métodos y modelos independientes si las propuestas que se hacen son aceptables.

Estas metodologías de análisis de seguridad han de ser evaluadas, e incluyen herramientas de simulación. Para el organismo regulador, el objetivo es la

El CSN utiliza herramientas de simulación para realizar análisis independientes que confirmen la aceptabilidad de las propuestas de los titulares de las centrales. ■



identificación de posibles aspectos de seguridad no cubiertos por la metodología de la industria o en su aplicación al caso concreto. Los códigos no son más que una parte de esas metodologías, cuyo uso y capacidad es también necesario evaluar.

El propio cuerpo de doctrina nuclear como tarea reguladora de protección a trabajadores, población y medio ambiente es muy sofisticado, y una manera de verificarlo es mediante el uso de simulación con computador. Pensando en esta protección, es más importante la característica de envolvente y de completitud de los análisis que conocer con mucho detalle y precisión las características de una secuencia particular. Lo esencial es asegurar que se cubren todos los escenarios posibles, asignándoles una probabilidad o frecuencia de ocurrencia. En esta idea el uso de códigos exploratorios resulta particularmente conveniente; los códigos de estimación óptima permiten acto seguido, confirmar que determinadas situaciones son envolventes y afinar los márgenes, por lo que debe asegurarse su validación y verificación.

Entre las actividades cotidianas del regulador en las que se requiere el uso de diferentes códigos de cálculo se encuentran aquellas relacionadas con la evaluación de solicitudes de los titulares de modificación de las condiciones de la licencia, la supervisión de la actuación de los titulares, estudios de revisión y mejora de la seguridad de las centrales, la verificación de procedimientos de emergencia y guías de gestión de accidente, el apoyo a los tribunales de licencias del personal de operación y la formación de personal, la promoción y participación en proyectos de investigación, o el apoyo en la gestión de emergencias.

Otro grupo de herramientas de simulación que se vienen proponiendo para su aplicación en el caso de los organismos reguladores u organizaciones de apoyo técnico (TSO) son las que facilitan la integración de metodologías de análisis de seguridad, en particular la probabilista y determinista, para su aplicación en el nuevo contexto de Regulación Informada por el Riesgo (RIR). Aquí también el propósito es el de plantear métodos y herramientas de verificación de la consistencia de los resultados e hipótesis utilizados en las propuestas de los titulares soportadas por información de riesgo. El CSN viene trabajando también en este tipo de planteamientos integradores a través una plataforma de simulación denominada SCAIS (Sistema de Códigos de Simulación para el Análisis Integrado de Seguridad), con el objetivo de armonizar los análisis probabilistas y deterministas.

¿Cuál ha sido la historia de la I+D en simulación en el ámbito del organismo regulador español?

Desde su creación, el CSN, a través de los diferentes planes de I+D, ha promovido actividades y proyectos con componente de simulación, y aunque hay que recordar que los intereses y objetivos de I+D pueden ser diferentes entre compañías de ingeniería, suministradores, titulares y organismos reguladores, siempre ha habido una vocación de hacer partícipes en los proyectos a las diversas organizaciones nacionales.

Ejemplo notable de estas acciones coordinadas es la serie de proyectos en torno a los códigos de simulación termohidráulica de la NRC. Desde mediados de los 80, el CSN y UNESA, además

de otras organizaciones coordinadas por el CSN, han venido colaborando activamente en proyectos para la asimilación, mejora y aplicación de estos códigos termohidráulicos (proyectos LOFT, ICAP, CAMP). El esfuerzo ha estado siempre justificado por la gran importancia que los códigos tienen en el licenciamiento y diseño de los sistemas de protección, seguridad y salvaguardia de las centrales nucleares de la misma tecnología que las españolas. En todos ellos ha habido un programa nacional asociado, con amplia y notable participación.

Cuando a finales de los 90 la NRC lanza su programa de Consolidación y Modernización de códigos, el CSN y UNESA se anticipan al resultado final del proceso, organizando el proyecto de Obtención del Código Termohidráulico Consolidado de la NRC (actual código TRACE), con actividades de asimilación y colaboración en el desarrollo, así como de migración de los modelos de planta desarrollados previamente para otros códigos (RELAP5 y TRAC/B) al formato que requería el nuevo código consolidado.

Ha habido también actividades en el ámbito de análisis de resultados experimentales, disponibles en su mayoría por la participación española en iniciativas promovidas por el CSNI de NEA o la UE, como los de la instalación BETHSY o SETH, o los proyectos PKL y ROSA, en los que hay actualmente participación nacional.

Todo ello ha permitido colaborar con organizaciones internacionales, aumentando y mejorando la disponibilidad de modelos de instalaciones experimentales y de plantas españolas con un nivel de validación alto y creciente, así como de un conjunto de equipos humanos entrenados en su aplicación.

Otras actividades promovidas por NEA en las que ha habido participación nacional han sido en relación con la simulación acoplada neutrónica-termohidráulica, y diversos proyectos de desarrollo y aplicación de métodos de estimación óptima con análisis de incertidumbres.

Por su parte, en el contexto del accidente severo, se ha mantenido un esquema de organización similar a las del ámbito termohidráulico.

Finalmente, es importante mencionar que también ha habido desarrollos

Desde el CSN siempre ha habido una vocación de hacer partícipes en los proyectos de I+D de seguridad nuclear a las diversas organizaciones nacionales

propios de métodos y herramientas de simulación en diversas organizaciones nacionales, basadas en otros códigos previos, como es la metodología GIRALDA de Iberdrola, o en modelos propios, como los códigos TRETA y TIZONA del CSN en colaboración con la Escuela de Minas de la UPM.

¿Qué programas de I+D se están realizando en este momento patrocinados por el CSN?

Uno de los ocho programas del vigente plan estratégico de I+D del CSN se refiere a la Modelación y Simulación, y aplicación de estas técnicas en metodologías de análisis de seguridad dirigidas hacia un realismo cada vez mayor y hacia la integración de metodologías que requieren plataformas combinadas de simulación. En las actividades lanzadas dentro de este programa se mantiene la pauta de participación en proyectos de amplia colaboración internacional, así como de desarrollo de iniciativas propias y específicas del organismo regulador.

En esta línea, conviene destacar proyectos como:

1) Proyecto CAMP (Code Applications and Maintenance Program)-España

Siguiendo una estructura similar a la de proyectos anteriores, CSN, UNESA y cinco grupos universitarios realizan tareas de contribución a la verificación y validación de los códigos termohidráulicos de la NRC (RELAP5 y TRACE). En esta fase, las contribuciones técnicas están basadas en las aportadas a dos programas experimentales organizados por NEA: PKL y ROSA. Estos dos programas han surgido como conse-

cuencia de un informe de un grupo de expertos del CSNI recomendando el establecimiento de programas experimentales de las instalaciones existentes para cubrir ciertas necesidades en el área termohidráulica y ayudar al mantenimiento de infraestructuras técnicas básicas necesarias para la evaluación de la seguridad de las centrales nucleares existentes y futuras.

La estructura de las actividades de CAMP-España cubre la realización de cálculos pre y post test, que configuran las contribuciones aportadas a la NRC como casos de validación, así como la aplicación de las configuraciones experimentales a casos equivalentes en plantas españolas para analizar su impacto en la seguridad, operación o disponibilidad.

2) Proyectos BEMUSE y UAM

Proyectos para la profundización y ampliación del estudio de metodologías realistas con tratamiento de incertidumbres (métodos BEPU) en aplicaciones de licencia. En este ámbito hay también iniciativas para la consideración conjunta de incertidumbres termohidráulicas y neutrónicas.

3) Proyectos SMAP (Safety Margin Action Plan) y SM2A (Safety Margin Assessment Application)

SMAP fue un mandato del CSNI con el objetivo esencial de definir un marco metodológico que planteara la extensión a un concepto de margen de seguridad capaz de integrar consideraciones deterministas y probabilistas, la cuantificación y evaluación de márgenes de seguridad, así como identificar métodos y herramientas de cálculo necesarias a tal efecto.



Cuando en 2007 finalizó el proyecto SMAP, el CSNI planteó otro proyecto, continuación del anterior, que ilustrase la aplicación práctica de la metodología desarrollada. El ejercicio consistió en la aplicación de la metodología propuesta, al caso de la evaluación de un hipotético aumento de potencia en una central PWR de diseño Westinghouse de cuatro lazos.

En este proyecto, recién terminado, han participado 10 países, que se distribuyeron los escenarios más relevantes desde el punto de vista del riesgo. La participación del CSN ha consistido en la adaptación del Sistema de Códigos de Simulación para el Análisis Integrado de Seguridad (SCAIS) que el CSN viene desarrollando, y su aplicación al escenario asignado de Pérdida del Sistema de Refrigeración de Componentes (LCCWS).

4) Proyecto APSRIT de "Métodos Avanzados de APS para una Regulación Independiente de Tecnología"

A consecuencia de la aparición del gran número de conceptos y diseños avanzados, desde el OIEA y la NRC se proponen planteamientos de regulación innovadores con el objetivo de ser independientes de la tecnología. Estas propuestas concretas permiten incorporar objetivos de seguridad de alto nivel, así como la información sobre riesgo, desde la fase de diseño, introduciendo por tanto la visión reguladora desde el origen del desarrollo. Aspectos de relevancia que se consideran en ambas propuestas son la definición de unas funciones fundamentales de seguridad, la relación entre defensa en profundidad y criterios de éxito del APS, y la necesidad de integrar armónicamente las consideraciones de índole determinista y probabilista, para lo cual se demandan metodologías y herramientas adecuadas.

APSRIT, proyecto desarrollado en colaboración con la UPM, plantea explorar dichas aproximaciones, el desarrollo de herramientas y métodos avanzados de APS necesarios, y la realización de una aplicación de esas técnicas a la evaluación de seguridad de un reactor nuclear de diseño avanzado piloto.

5) Proyectos en el contexto del análisis de accidentes severos.

El planteamiento que se ha hecho en este contexto es similar al del ámbito termohidráulico: aprovechar la participación en programas experimentales de NEA para aplicar las herramientas de simulación en uso en el CSN (MELCOR). La participación está coordinada a través de un convenio con el CIEMAT que integra, entre otras, actividades analíticas en los proyectos internacionales:

- SFP (Sandia Fuel Project), cuyo objetivo es el análisis del comportamiento del combustible de centrales PWR almacenado en las piscinas de combustible gas-



tado en escenarios de accidente severo.

- ARTIST-II (AeRosol Trapping In a Steam Generator), para analizar la retención de productos de fisión en el generador de vapor en aquellos accidentes severos originados en caso de rotura de un tubo del generador de vapor.

Inciendiando en el proyecto CAMP-España, ¿qué resultados destacaría?

Como he comentado anteriormente, CAMP es un programa de cooperación internacional promovido por la NRC, que tiene como objetivo fundamental la verificación y validación de los códigos termohidráulicos desarrollados por ésta (actualmente RELAP5 y TRACE).

Se trata de un programa internacional que se ha mantenido de manera continua desde mediados de los años 80, aunque inicialmente con otras denominaciones, y desde ese entonces con notable participación española. En los últimos años noventa, CAMP-España llegó a reunir hasta 18 organizaciones españolas. Esta amplia implicación nacional ha sido una de las notables aportaciones del programa a la mejora de la seguridad de nuestras plantas.

Es opinión generalizada de los diferentes participantes en CAMP-España que los objetivos generales perseguidos en las diferentes etapas han sido altamente satisfechos. Desde el punto nacional se dispone de unos códigos de simulación termohidráulica apropiados a las tecnologías de nuestras plantas, todas nuestras centrales disponen de modelos de planta al servicio de la explotación y la seguridad, y la comu-

nidad nuclear nacional dispone de un amplio grupo de expertos entrenados en su uso. Mientras que desde el punto de vista del proyecto internacional, se colabora con contrastada solvencia dentro de un amplio grupo internacional en la validación y verificación de estas herramientas.

Cabe destacar también que el modelo de organización de CAMP-España, aglutinando a las diferentes partes interesadas del sector nuclear nacional, llamó la atención de organismos reguladores de otros países que tomaron la estructura como referencia para la organización de sus respectivos programas nacionales.

¿En qué situación se encuentra España en materia de capacidad de simulación y modelización?

La llegada a España de los grandes códigos, como RELAP o TRAC como consecuencia de proyectos internacionales ha aumentado significativamente la capacidad termohidráulica y de modelación de las organizaciones españolas, lo que supuso una mayor independencia frente a suministradores y empresas consultoras extranjeros.

Sin duda, podemos asegurar que hoy la comunidad nuclear española conoce bastante mejor los fenómenos que tienen lugar durante la operación de nuestras plantas y durante los incidentes reales o simulados, y está más capacitada para tomar decisiones valoradas en términos de seguridad.

Para ser un poco más preciso, conviene destacar varios aspectos. En primer lugar, se dispone de códigos termohidráulicos

licos apropiados a las tecnologías de nuestras plantas. Estas complejas herramientas de cálculo, cuyo desarrollo exige capítulos costosísimos en recursos humanos, son ineludibles en la mayoría de los estudios de seguridad que se acometan.

Aparte de diversos códigos propietarios de los cuales algunas compañías de ingeniería disponen de licencia de uso, las organizaciones nacionales han accedido a códigos públicos a través de la participación en programas conjuntos de validación y mantenimiento, para disponer de herramientas de cálculo de primer nivel, que permiten hacer evaluaciones independientes, ampliando así capacidades y conocimientos.

Por otra parte, todas nuestras centrales disponen de modelos de planta con un alto grado de calidad, necesaria para garantizar las pretensiones de los cálculos que se plantean. Estos modelos se encuentran plenamente operativos al servicio de la explotación y la seguridad, con capacidad y cualificación suficientes para dar respuesta a un gran número de preguntas de operación, seguridad, ingeniería y formación, experiencia operativa, apoyo al licenciamiento, APS, etc. Prueba de ello es la diversidad de aplicaciones de los códigos termohidráulicos que se vienen realizando en las diversas organizaciones vinculadas al campo nuclear, lo cual supone un amplio espectro de posibilidades

para aplicación de estas herramientas a la seguridad de las centrales nucleares.

Además, este esfuerzo colectivo de los últimos años ha significado un gran avance en la asimilación de la tecnología involucrada y en el aumento del grupo de expertos entrenados en su uso. Hay que poner de manifiesto el alto grado de asimilación tecnológica conseguido en nuestro país, así como la capacidad adquirida en la simulación de accidentes, pruebas nucleares e incidentes reales, encaminada a incrementar la seguridad en nuestras centrales nucleares.

¿Cuáles son las líneas de futuro en la industria y en la I+D con respecto a los códigos termohidráulicos?

La potencia de cálculo actual permite prever grandes desarrollos en este campo. Aunque muchos son de largo plazo, algunas actividades ya han sido lanzadas y existen desarrollos bastante avanzados.

Me atrevería a estructurarlos en dos grandes conjuntos:

- 1) Ampliación de capacidades de modelación y simulación, con el objetivo de mejorar capacidades fundamentales de los modelos, como por ejemplo la incorporación de modelos necesarios en seguridad nuclear a los actuales códigos CFD, el desarrollo e implantación del modelo de transporte de área interfacial

Hay que destacar el alto grado de asimilación tecnológica conseguido en nuestro país, así como la capacidad adquirida en la simulación, encaminada a incrementar la seguridad en las centrales ■

y eliminación de los mapas de regímenes de flujo estáticos, o el acoplamiento de códigos.

- 2) Extensión de aplicaciones, como por ejemplo el desarrollo y aplicación de metodologías BEPU, que faciliten el cálculo automatizado de incertidumbres, y el desarrollo de técnicas de APS dinámico (o de fiabilidad dinámica en algunos contextos), para facilitar la integración de metodologías de seguridad determinista y probabilista.

Finalmente, todos estos desarrollos seguirán haciendo necesario un esfuerzo conjunto de validación y verificación de los códigos, por lo que se prevé también una continuación de programas asociados y ejercicios de intercomparación de códigos frente a sucesos en plantas o frente a resultados experimentales. ■



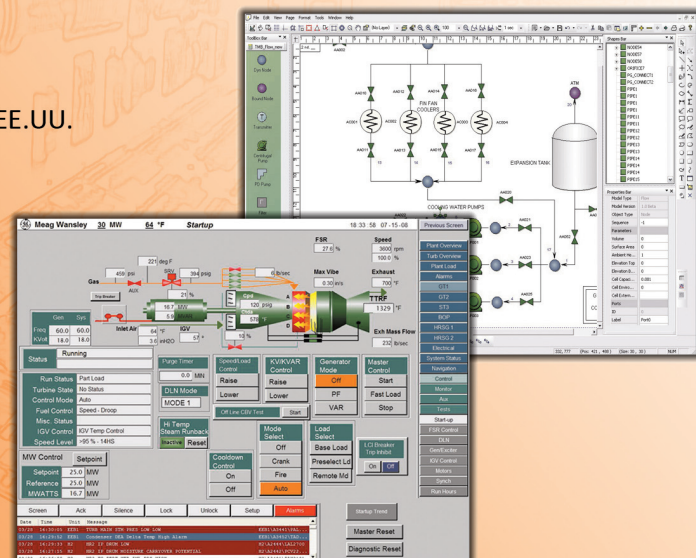
Servicios integrales en simulación para el entrenamiento

Especialistas en:

- Emulación de sistemas de control y monitorización
- Entorno de simulación **T-Rex**, instalado en más de 20 nucleares de EE.UU.
- Desarrollo de aplicaciones: **ThunderEdit**, editor gráfico y constructor de modelos hidráulicos y eléctricos
- Modelado de sistemas con el código de alta fidelidad **THOR**

Referencias recientes:

- Sistema de Control Mark de General Electric DEHC · Calvert Cliffs, Hope Creek (EE.UU.)
- DCS · Wansley (EE.UU.), Ratchaburi (Tailandia), Sabiya (Kuwait)
- Plant Monitoring System · Vogtle (EE.UU.)
- QSPDS · Waterford 3 (EE.UU.)
- Modelo del BOP y la contención · V.C. Summer (EE.UU.)
- Modelo de la contención · Laguna Verde (México)



www.thunderesp.com

CDTUC · Avenida de los Castros · 39005 · Santander
(+34) 942 764 984 · info@thunderesp.com