



CINCUENTA AÑOS (1968-2018) DE PROGRESO NACIONAL EN LA SEGURIDAD DE LAS CENTRALES NUCLEARES



AGUSTÍN ALONSO SANTOS

Expresidente
de la Sociedad Nuclear Española

EL CONCEPTO DE MÁXIMO ACCIDENTE PREVISIBLE

Se entiende por máximo accidente previsible a "...el accidente verosímil de consecuencias ambientales peores" (Diccionario Nuclear JEN). Se ha utilizado en muchos países para ubicar, diseñar, construir y operar las centrales sin riesgo indebido. El concepto sirvió de base para la norma *Reactor Site Criteria, 10 CFR Part 100*, en la que se definían los radios de la zona de exclusión y de la zona de baja densidad de población en función de la radiactividad emitida, el llamado *término fuente*, en el máximo accidente previsible. La norma fue utilizada en la evaluación de los más de 25 emplazamientos propuestos por las empresas eléctricas españolas.

El desarrollo legislativo

La introducción de las centrales de la primera generación coincidió con la iniciación del desarrollo legislativo. En 1988 comenzó el funcionamiento de Zorita, estaba en construcción la central de Garoña y se concedía la autorización de construcción de Vandellós I. La Ley sobre Energía Nuclear se había promulgado en 1984, pero el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas se demoró hasta 1972.

El Reglamento decreta que la aplicación de sus preceptos "...co-

PREÁMBULO Y PRESENTACIÓN

De acuerdo con el desarrollo nuclear nacional, la seguridad de las centrales nucleares se ha ajustado a las pautas internacionales legislativas, científicas, técnicas y sociales.

España fue un *importador neto* de las centrales de la primera generación: Zorita, Garoña y Vandellós I, que fueron ubicadas, construidas y explotadas de acuerdo con los requisitos de seguridad de los países de origen. La experiencia ganada fue aplicada a la segunda generación, Almaraz, Lemoniz, Ascó, Cofrentes, Vandellós II, Trillo y Valdecaballeros, que permitió al país ser un *importador cualificado*; se crearon leyes y reglamentos propios, se participó en el desarrollo de las ciencias y tecnologías nucleares y se creó una industria creciente de

equipos y servicios de calidad. Esta presentación se divide en cuatro apartados que representan los hitos del progreso realizado y previsible.

El concepto de máximo accidente previsible cubre el periodo inicial del desarrollo nuclear nacional, se refiere a las centrales de la primera generación y a la búsqueda de emplazamientos para la siguiente. **La aproximación determinista** describe las mejoras introducidas en el diseño y explotación de las centrales de la segunda generación. La metodología probabilista reconoce las ventajas de cuantificar los riesgos de las centrales para mejorar la seguridad del diseño y la explotación. **Visión integrada de la seguridad nuclear** describe los desarrollos nacionales e internacionales en marcha para alcanzar la cima de la seguridad.



Construcción de la central nuclear de José Cabrera (Zorita).



Construcción de la central nuclear de Santa María de Garoña.

responde al Ministerio de Industria, con el asesoramiento preceptivo de la Junta de Energía Nuclear". Las sucesivas revisiones del Reglamento no han modificado la autoridad del Ministerio, tan sólo se ha añadido al asesoramiento de la JEN el carácter de "...vinculante, cuando sea negativo". Esta característica se ha mantenido en la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear.

Los procesos legales de las centrales de la segunda generación se ajustaron a los requisitos del Reglamento; los condicionados anexos a las autorizaciones crecieron en amplitud y especificidad, fruto de la experiencia. La amplitud del condicionado aumentó desde una pági-

na, con diecisiete condiciones, para el caso de Almaraz I, hasta dos páginas y veinticuatro condiciones, para Ascó II.

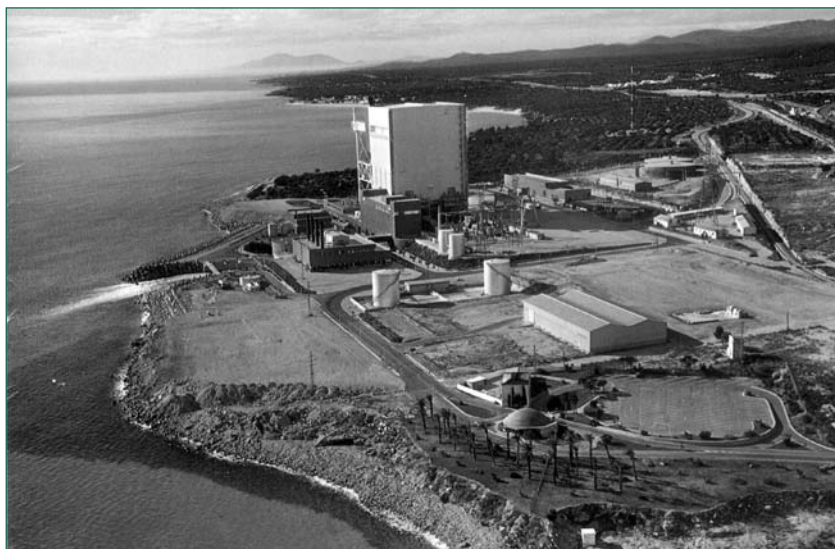
Principio 1	Responsabilidad de la seguridad nuclear
Principio 2	Las atribuciones del gobierno
Principio 3	Dirección y gestión de la seguridad
Principio 4	Justificación de las instalaciones y de las actividades
Principio 5	Optimación de la protección contra las radiaciones ionizantes
Principio 6	Limitación de los riesgos individuales
Principio 7	Protección de las generaciones presente y futuras
Principio 8	Prevención de accidentes
Principio 9	Preparación y respuesta en caso de emergencia
Principio 10	Acciones de protección para reducir riesgos radiológicos existentes o no regulados

Tabla 1. Los principios fundamentales de la seguridad nuclear del OIEA.

El principio de central de referencia

Para facilitar las solicitudes de los titulares y la evaluación preceptiva de la JEN se creó el concepto de *central de referencia*, para probar que la central nacional satisfacía los mismos requisitos de seguridad que otra central, ya construida y aceptada por la autoridad reguladora del país de origen. El concepto no fue aplicado a Zorita, a causa de su peculiaridad, y se aplicó a Garoña y a Vandellós I. Con el objetivo de comprobar la utilización correcta del concepto se estableció un acuerdo entre la JEN y las autoridades reguladores de los países de origen. La AEC, de los EE.UU. en el caso de Garoña y de Zorita, y el CEA francés, en el caso de Vandellós I.

El concepto resultó útil cuando se aplicó a las centrales de la primera generación; limitaciones comenzaron a aparecer en las centrales de la segunda generación. Las características del emplazamiento tenían un efecto sobre el diseño, que requirió ampliar el concepto a *central de referencia en un emplazamiento similar*, que limitaba las opciones. Se observó que los diseños de un mismo fabricante cambiaban con rapidez, lo que limitaba la incorporación de sistemas de seguridad más modernos. Este dilema se resolvió definiendo sistemas y estructuras de referencia. En la operación de la central de referencia, y similares, se descubrían errores que repercutían en el diseño nacional. Para tal eventualidad se creó el concepto de problema de referencia que resultó muy útil en muchos casos; de forma notable en los defectos de diseño de los generadores de vapor de la serie D-3 de Westinghouse que tuvieron que ser cambiados en las centrales de Almaraz y Ascó.



Central nuclear de Vandellòs I.

LA APROXIMACIÓN DETERMINISTA

La creciente participación nacional en el diseño y construcción de las centrales invitaba a crear un sistema adicional de seguridad, en uso en otros países, que recibió el nombre de aproximación determinista a la seguridad. Los accidentes de TMI-2 y de Chernobil-4, junto con la creciente experiencia en la construcción y operación, constituyeron las bases de la aproximación probabilista, que se consolidó con la publicación del OIEA en 2007 de los *Principios fundamentales de seguridad*, que se definen en la Tabla 1.

Los principios del OIEA cubren las actividades e instalaciones nucleares y radiactivas, contemplan tanto la seguridad como la protección radiológica. Esta descripción se limita a los principios que afectan a las centrales nucleares.

Principio 1. Responsabilidad de la seguridad nuclear

"La responsabilidad primordial de la seguridad debe recaer en la persona u organización a cargo de

las instalaciones y actividades que generan riesgos asociados a las radiaciones".

La responsabilidad primordial corresponde al titular de la autorización y no puede ser transferida. Las autorizaciones van acompañadas de requisitos generales y específicos que el titular debe cumplir. El titular está también obligado a suscribir una póliza de seguro contra riesgos radiológicos a terceros. Los propios estados han establecido y suscrito convenios internacionales específicos para tal fin.

Principio 2. Función del gobierno

"Debe establecerse y mantenerse un marco de seguridad jurídico y gubernamental eficaz, que incluya un órgano regulador independiente".

El Gobierno es responsable de adoptar; "... la legislación, reglamentación y demás normas y medidas que puedan ser necesarias para el cumplimiento efectivo de todas sus responsabilidades nacionales y obligaciones internacionales, y de establecer un órgano regulador independiente". La ley 25/64

sobre energía nuclear, enmendada en varias ocasiones, y sus desarrollos reglamentarios, así como la ley 15/80, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear, también enmendada, constituyen un conjunto reglamentario básico satisfactorio.

Principio 3. Liderazgo y gestión en pro de la seguridad

"Deben establecerse y mantenerse un liderazgo y una gestión que promuevan eficazmente la seguridad en las organizaciones que se ocupan de los riesgos asociados a las radiaciones, y en las instalaciones y actividades que los generan".

El titular de una instalación que genere riesgos asociados a las radiaciones debe crear y mantener una organización responsable de la seguridad que comience en los más altos niveles de la organización e incluya un sistema de gestión eficaz. La experiencia ha demostrado que el principio requiere la promoción de una *cultura de seguridad*, un programa de formación del personal y la retroalimentación de la experiencia de la propia instalación y de otras instalaciones comparables.

Principio 8: Prevención de accidentes

"Deben desplegarse todos los esfuerzos posibles para prevenir los accidentes nucleares o radiológicos y para mitigar sus consecuencias".

Para prevenir accidentes se introdujo el concepto de *seguridad a ultranza* o *defensa en profundidad*, consiste en disponer niveles de protección consecutivos e independientes que tendrían que fallar de forma sucesiva o simultánea para que se produjeran accidentes con efectos nocivos para las personas o el medio ambiente. La seguridad a ultranza garantiza que ningún fallo humano o técnico pueda, por sí solo, causar accidentes y que sólo combinaciones muy poco probables de fallos pudieran dar lugar a

Niveles	Objetivo	Medios
Nivel 1	Prevención de fallos y comportamientos anormales	Diseños redundantes y conservadores, elevada calidad en la construcción y explotación rigurosa
Nivel 2	Detección de fallos y control del funcionamiento anormal	Inclusión de sistemas de control, protección y vigilancia diseñados de acuerdo con criterios de seguridad
Nivel 3	Control de los accidentes base de proyecto	Incorporación de salvaguardias tecnológicas y procedimientos de operación de emergencia diseñados con criterios de seguridad
Nivel 4	Control de los accidentes graves que superen las bases de proyecto	Adición de salvaguardias tecnológicas específicas y previsión de la gestión integral de los accidentes graves
Nivel 5	Mitigación de las consecuencias radiológicas de los escapes radiactivos	Establecimiento de un plan de emergencia radiológica de acuerdo con criterios de protección universales

Tabla 2. La matriz de la seguridad a ultranza.



accidentes con efectos radiológicos. La Tabla 2 representa la esencia de la seguridad a ultranza.

Principio 9: Preparación y respuesta en casos de emergencia

"Deben adoptarse disposiciones de preparación y respuesta para casos de incidentes nucleares o radiológicos".

"El titular de la licencia, el órgano regulador y las dependencias competentes del gobierno deben adoptar, de antemano, disposiciones de preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica en el lugar de los hechos, en los planos local, regional y nacional y, cuando así lo acuerden los Estados, a nivel internacional". En la normativa nacional se requiere que el titular establezca un plan de emergencia interior y contribuya a la preparación del plan de emergencia exterior. El plan de emergencia exterior requiere la respuesta de los servicios de protección civil y la actuación de las autoridades nacionales regionales y locales. Como parte contratante de la *Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares*, el Gobierno está obligado a comunicar al OIEA las situaciones accidentales que se produzcan.

Contribuciones del accidente de TMI-2

Errores de mantenimiento y de interpretación de la secuencia accidental revelaron la importancia del llamado *factor humano* en la operación de las centrales nucleares. Del análisis del accidente la NRC promulgó nuevas normas sobresaliendo: la cualificación de los operadores, la cualificación ambiental del equipo, y la protección contra incendios, que fueron puestas en práctica por la mayoría de los organismos reguladores europeos. La JEN, en colaboración con los titulares, analizó y aplicó tales normas a las centrales nacionales.

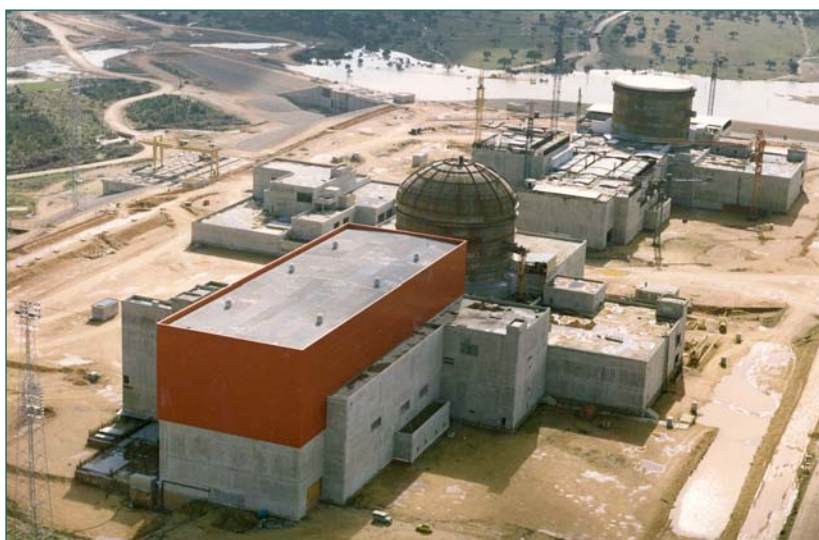
Las empresas eléctricas de los EE. UU. crearon el *Institute for Nuclear Power Operations*, INPO, al que se adhirieron compañías eléctricas de otros países. Las empresas eléctricas españolas lo hicieron a través de Unesa con participación de Tecnatom. Los objetivos de INPO incluían el análisis e incorporación de la experiencia operativa, un proceso estricto para la formación del personal de explotación y un procedimiento para realizar revisiones



Central nuclear de Lemóniz (Vizcaya).



Construcción de la central nuclear de Vandellós II. Al fondo, Vandellós I.



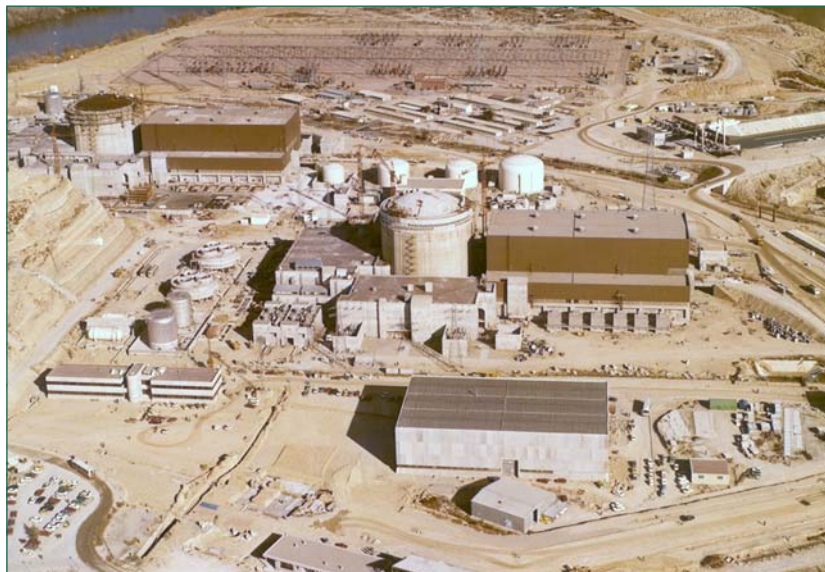
Construcción de la central nuclear de Valdecaballeros (Badajoz).

periódicas, por pares homólogos, de la seguridad de las centrales

Contribuciones del accidente de Chernobil-4

El accidente se debió a una serie desafortunada de decisiones humanas y defectos de diseño. Cuando las autoridades soviéticas hicie-

ron su confesión formal, en agosto de 1996, en la sede del OIEA, los expertos de Occidente dictaminaron que la causa principal del accidente había sido la falta de cultura de seguridad en la normativa, el diseño, la operación y en la propia gestión del accidente. El concepto



Construcción de la central nuclear de Ascó (Tarragona).

fue desarrollado en detalle y recomendado por el OIEA, recogido por los reguladores y aceptado por los titulares, que decidieron establecer una asociación mundial de explotadores llamada *World Association of Nuclear Operators*, WANO, cuyos objetivos y procedimientos se tomaron de INPO.

LA METODOLOGÍA PROBABILISTA

La seguridad de las instalaciones industriales es el resultado de aplicar normas y tecnologías, para que las situaciones accidentales sean muy poco probables. Esta consideración introduce la probabilidad de que se manifieste un daño por errores y deficiencias en el diseño, fabricación o explotación inadecuada. La estimación de las probabilidades, o frecuencias temporales, de situaciones que produzcan daño es el proceso adecuado para cuantificar la seguridad de la instalación.

En 1957, la AEC de los EE. UU. publicó el documento: *WASH-740, Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants*. Concluía que, conocido el término fuente, era posible estimar los daños radiológicos causados a la población y al medio ambiente, pero que no era posible determinar la probabilidad o la frecuencia esperada del término fuente. Esta consideración derivó la seguridad nuclear hacia el concepto del máximo accidente previsible y a la aproximación determinista, antes descritas.

Las conclusiones del informe WASH-740 no dejaron de ser considerados por los expertos. En octubre de 1975 se publicó el documento *WASH-1400, Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risk in U. S. Commercial Nuclear Power Plant's*. Extenso documento de 14 volúmenes en el que se analizan y cuantifican los riesgos asociados a dos centrales nucleares, Surry (PWR) y Peach Bottom (BWR), ambas en un emplazamiento representativo de todos los emplazamientos nucleares del país. Usando la misma metodología, la autoridad de seguridad alemana publicó en 1981 el llamado *Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke*, tomando como referencia la central de Biblis, similar a Trillo, con resultados muy parecidos. Ningún otro país ha realizado un trabajo tan completo.

La metodología probabilista se desarrolla en tres niveles. El nivel I pretende definir los sucesos que pueden originar accidentes y cuantificar la frecuencia esperada de las secuencias que conduzcan a un deterioro del núcleo del reactor. El nivel II estima los términos fuente integrados de las secuencias accidentales definidas en el nivel I. El nivel III cuantifica los daños causados y relaciona las frecuencias esperadas de los términos fuente con los daños causados.

Tanto los expertos de la JEN como los Titulares se interesaron por conocer y aplicar el nuevo proceso, que ha sido escrito con detalle en la *Revista del Consejo de Seguridad Nuclear*, núm. 21, IV trimestre 2001. A instancia del CSN todas las centrales

nucleares han realizado estudios probabilistas de nivel I y II. Los análisis realizados han servido para mejorar la seguridad de las centrales.

VISIÓN INTEGRADA DE LA SEGURIDAD NUCLEAR

Reconocida la superioridad de la metodología probabilista, también su complejidad e incertidumbres, surgió la idea de combinar la aproximación determinista y la metodología probabilista. La propuesta, formulada en 2011 por el *International Nuclear Safety Group*, INSAG-25, junto con el desarrollo normativo que realiza el OIEA con la colaboración amplia de expertos, fomentó la esperanza de conseguir una visión integrada satisfactoria de la seguridad de las centrales nucleares. A tal expectativa se ha añadido la contribución del exhaustivo análisis del accidente de Fukushima.

Las causas y consecuencias del accidente Fukushima han sido analizadas con detalle dentro del OIEA por más de cien expertos internacionales, con notoria participación de expertos nacionales. El extenso Informe, dividido en seis volúmenes, fue presentado por el director general, en la Conferencia General del Organismo correspondiente al año 2014.

El Consejo de la Unión Europea reconoció la necesidad de responder de forma eficaz al accidente realizando una revisión completa de los riesgos y de la seguridad de las centrales de la Unión, con el asesoramiento del Grupo de Reguladores europeos de la seguridad Nuclear, Ensreg, y haciendo uso de la experiencia europea acumulada por la Asociación de reguladores nucleares, Wenra. Se alcanzó el compromiso de someter a pruebas de resistencia cada una de las centrales de la Unión ante sucesos naturales y actos terroristas. La participación del Consejo de Seguridad Nuclear en este notable ejercicio ha sido descrito en la revista *Alfa*, núm. 18, III Trimestre 2012, mientras que las aportaciones y decisiones de los titulares se han expuesto en el núm. 371, marzo 2016, de *Nuclear España*.

Cabe esperar que se alcance la visión integrada de la seguridad de las centrales nucleares, que tal percepción sea aceptada por la sociedad y por los gobiernos y que se mantenga el desarrollo de la energía nuclear como medio para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad. ■