FUKUSHIMA
ACCIDENTE NUCLEAR

UNIDAD DIDÁCTICA 6

IMPACTO DEL ACCIDENTE Y LECCIONES APRENDIDAS

CC BY NC SA

Introducción

Vídeo Introducción: https://www.youtube.com/watch?v=U-0GCw5XO30

6.1 Reacción internacional al accidente.

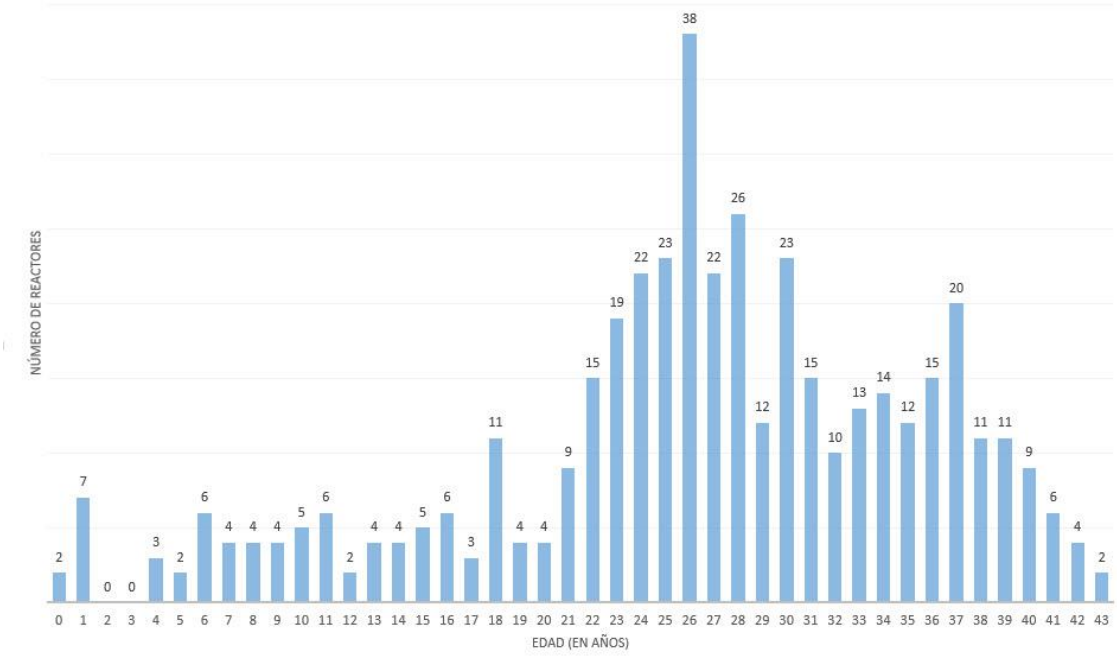
Antecedentes: la industria nuclear antes de Fukushima

Según el informe Worldwatch sobre la Industria Nuclear Mundial 2010-2011, a principios de abril de 2011 en el mundo se contabilizaban 437 reactores operativos, siete menos que el máximo histórico de 444 reactores alcanzado en 2002. En los años anteriores, se conectaron 25 nuevos reactores a la red y se desconectaron 32, incluyendo los seis reactores de Fukushima que ya no volverán a funcionar. La potencia nuclear nominal mundial era de unos 370 GWe y tradicionalmente había seguido una tendencia ligeramente al alza por las mejoras de potencia y por la sustitución de viejos reactores por otros más modernos y potentes, pero desde 2007 también se había estabilizado.

La producción total de electricidad de origen nuclear, por otra parte, llevaba tres años descendiendo, representando en aquel momento el 13% del total mundial, un 4% menos de lo que representaba en 2006. La mitad de los 30 países que utilizan energía nuclear se encontraban en la Unión Europea y representan casi la mitad de la producción mundial. Francia generaba la mitad de la producción nuclear europea, y seis países: EE UU, Francia, Japón, Rusia, Corea del Sur y Alemania, suponían casi el 75% de la producción eléctrica nuclear mundial. El descenso de la producción eléctrica nuclear por tercer año consecutivo se debía a problemas técnicos en las flotas nucleares de los países más nuclearizados.

En el 2011 se estaban construyendo nuevos reactores en catorce países, todos ellos con retrasos y sobrecostes notables. La Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) contabiliza 64 reactores en construcción, doce de los cuales llevaban más de veinte años en este estado y 35 no tenían fecha prevista de finalización. El 75% de los reactores en construcción pertenecían a cuatro países: China, India, Rusia y Corea del Sur. Al haberse reducido sustancialmente las nuevas construcciones, la edad de los reactores en operación seguía aumentando, alcanzando en ese momento los 26 años, y ante las incertidumbres y dificultades económicas que presentaban las nuevas construcciones, las empresas eléctricas abogaban por prolongar la vida útil de sus centrales más allá de los 40 años inicialmente previstos.

Figura 1: Edad de los 437 reactores en funcionamiento en el 2011



Fuente: Elaboración propia con datos de la IAEA

Como puede observarse en la figura 1, sólo 12 reactores habían superado la barrera de los 40 años, pero como ilustra la pirámide de edad, este número crecería significativamente con los años, si se generalizaba la política de prologar la vida de los reactores más allá de los 40 años.

Fukushima y el mundo

Inicialmente, la crisis nuclear de Fukushima representó un serio revés para las intenciones anunciadas por muchos países de reconsiderar su uso de la energía nuclear. Pese a todo, la reacción ha sido muy desigual en los distintos países del mundo. A continuación se explica por regiones las distintas reacciones ante el accidente:

Países Asiáticos

Así, en los países del sudeste asiático, China, India y Corea de Sur, los planes de sus gobiernos siguen considerando la necesidad de seguir contando con la energía nuclear en sus cestas de generación eléctrica. De hecho, de los 64 reactores nucleares actualmente en construcción en el mundo, el 60% se está construyendo en estos países.

En el caso de China resulta difícil pensar en una reducción de los planes aprobados, aunque sí es probable que se pongan en cuestión cifras mucho más ambiciosas que últimamente se habían puesto en circulación y que ahora sufrirán una desaceleración. Los planes de China para 2020 han fluctuado entre los 40 y los 120 GWe.. Después de Fukushima, el primer ministro Wen Jiabao anunció que “suspendemos temporalmente la aprobación de nuevos proyectos, incluyendo

aquellos que se encuentran en etapas preliminares de desarrollo. Primero debemos entender mejor la importancia y la urgencia de la seguridad nuclear y hacer de ella la principal prioridad". China cuenta en 2016 con 33 reactores en operación y 22 en construcción.

En India, se desencadenaron protestas públicas en casi todos los lugares en los que estaban previstas nuevas construcciones y algunos observadores indicaron que después del desastre japonés le sería muy difícil a cualquier partido vender a la población la energía nuclear. En 2016, en la India hay 21 reactores en operación y 6 en construcción.

En Indonesia, otro país también expuesto a terremotos y tsunamis, el ministro de Medio Ambiente manifestó que no están preparados para construir reactores nucleares y que en su lugar hay que promover las energías renovables y la generación descentralizada.

El caso de Japón lo trataremos aparte más adelante.

Estados Unidos

En Estados Unidos se sometió al conjunto del parque, 104 reactores en operación, a pruebas exhaustivas de evaluación de la seguridad y revisión de los márgenes de diseño con que fueron construidos, con especial hincapié en lo referente a posibles desastres naturales similares a los que provocaron el accidente en Japón. Estas pruebas se han concretado en acciones como el Programa IPE (Individual Plant Examination), Programa IPEEE (Individual Plant Examination for External Events), Programa de Investigación sobre Accidentes Severos, Programa de Gestión de Accidentes, Programa de Mejoras en el Comportamiento de Contenciones y el Programa de Mejoras de Operaciones de Planta.

En Estados Unidos, hay consenso entre demócratas y republicanos para favorecer el arranque de las nuevas construcciones, y se han aprobado un importante catálogo de ayudas, que incluye garantías estatales para el 80% de la inversión. El organismo regulador nuclear (NRC), concedió en el mes de febrero de 2012 una licencia combinada de construcción y operación para dos nuevas unidades en la central nuclear de Vogtle en Georgia, y posteriormente dos más para la central de Virgil Summer en Carolina del Sur.

En Estados Unidos hay 100 reactores en operación en el año 2016 y 4 reactores en construcción.

Latinoamérica

En Latinoamérica apenas se ha discutido sobre la conveniencia de esta energía. Los únicos tres países que cuentan con centrales nucleares, Brasil, México y Argentina, mantienen sus planes de construir más. Apenas el 2% de la energía eléctrica latinoamericana proviene de centrales nucleares. Tras el accidente de la central de Fukushima, Venezuela, Perú y Bolivia desistieron de sus planes de desarrollar energía atómica, mientras Chile mantiene una actitud ambigua al respecto. En Latinoamérica hay 7 reactores en operación en el 2016 y 2 en construcción.

Europa

En Europa, se han realizado las *pruebas de resistencia* en los reactores nucleares de la Unión Europea. Sabremos en profundidad sobre las pruebas de resistencia en el próximo capítulo.

Respecto a las políticas nucleares de los distintos países la impresión general en la opinión pública puede que sea muy distinta de la realidad de los hechos.

En 2010 la Comisión Europea propuso la llamada Estrategia Europa 2020 (EE2020) como marco sobre el que fomentar el *crecimiento inteligente, sostenible e integrador* de la Unión Europea, con objetivos específicos en materia de cambio climático y energía.

La EE2020 propone medidas para garantizar el abastecimiento, reducir la vulnerabilidad y mejorar la seguridad energética en la Unión. Como prioridad, la EE2020 plantea objetivos de reducción del consumo mediante la implementación de medidas de eficiencia energética, la integración del mercado de la energía a nivel regulatorio y fiscal, el acceso seguro y asequible a la energía para ciudadanos y empresas, el cambio tecnológico, esencialmente enfocado a la investigación e innovación en energías renovables, redes inteligentes o fusión nuclear, el refuerzo de las relaciones internacionales, especialmente con los países vecinos y el incremento de la interdependencia mediante la implementación de infraestructuras pan-europeas de conexión de gas y electricidad.

En marzo de 2011, el accidente nuclear de la central de Fukushima dio lugar a la decisión del Parlamento alemán de cerrar ocho de las diecisiete centrales nucleares del país y de comprometerse a clausurar progresivamente el resto antes de 2022.

A la luz de esta decisión, una de las cuestiones fundamentales que se plantea es si Alemania podía en 2011 y puede actualmente permitirse la salida radical de la tecnología de generación nuclear sin afectar a su seguridad ni a la del resto de países de la Unión Europea. La otra es si esta salida podría haber provocado un viraje de las políticas comunes al poner en riesgo la seguridad energética.

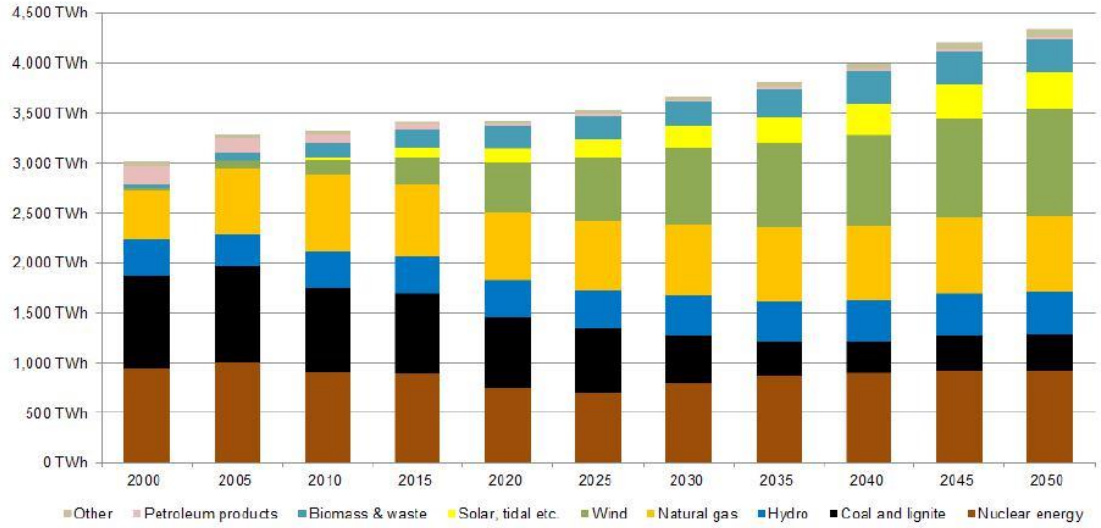
Al contrario de lo que pueda parecer, Alemania es, dentro de la Europa de los 28 (UE28), el único Estado que ha declarado medidas específicas en su mix de generación a consecuencia del accidente en Japón.

Sin embargo, en diciembre de 2011 la Comisión Europea publicó la Hoja de Ruta de la Energía 2050 , con la intención de dar continuidad al proyecto impulsado por la EE2020 y de analizar el reto de la descarbonización del sistema energético europeo en diferentes hipótesis, así como fomentar la integración del mercado eléctrico, la competitividad y la seguridad energética. En este documento, publicado después del accidente de Fukushima, llama la atención cómo, a pesar de la decisión de Alemania, la Comisión Europea apuesta por la energía nuclear como uno de los ejes para el proceso de transformación del sistema energético:

“La energía nuclear será necesaria para aportar una importante contribución al proceso de transformación energética en aquellos Estados Miembros que la fomentan. Continúa siendo una fuente clave de generación eléctrica de baja intensidad en carbono.”

A finales de 2012, la UE28 disponía de 131 reactores nucleares en operación y 4 en construcción y las previsiones de la ESA (Euratom Supply Agency) para 2032 indican un ligero incremento en la producción de electricidad procedente de nucleares con respecto a 2012, como se observa en la figura 2.

Figura 2. Previsión de generación de Electricidad por tecnologías hasta el año 2050



Fuente: In-depth study of European Energy Security. Comisión Europea.
http://www.stromversorgungsrecht.ch/Europa-Welt.html?file=tl_files/media/Themen/Energiestrategie%202050%20%28Themen%29/Energiestrategien%20international/EU_20140528_energy_security_study.pdf
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

La posición de la Comisión es consistente con la de la mayoría de los Estados Miembros, que han mantenido sus previsiones de desarrollo energético cimentado en las nucleares. Así, Bulgaria mantiene las fuentes nucleares como pilar para asegurar su seguridad energética y mantiene su plan de expansión nuclear más allá de 2015. Del mismo modo, la República Checa, que espera incrementar hasta el 80% la contribución de la energía nuclear en su mix eléctrico en 2060, y Hungría, continúan con sus planes de expansión nuclear. Finlandia, Reino Unido, Eslovenia y Francia construirán centrales nucleares de tercera generación y es previsible que remplacen progresivamente los reactores más obsoletos por nuevos reactores nucleares. Estonia, Letonia, Lituania, Polonia u Holanda han reafirmado su intención de construir nuevas plantas de generación nuclear en los próximos años. Lo mismo que Rumanía, Eslovaquia, mientras que en España no hay planes para construir nuevas centrales ni perspectiva de salida definitiva de la energía nuclear en el medio plazo. Sólo Alemania y Bélgica han adoptado una política clara de salida de las nucleares al tiempo que Austria o Italia mantienen su negativa a incluir la generación con esta fuente en su mix. En Suiza, una iniciativa popular del Partido Verde al gobierno ha dado de plazo hasta 2029 para la eliminación total de las centrales nucleares.

Sólo Alemania ha variado sus planes a corto y medio plazo en referencia a las fuentes de generación eléctricas al decidir, tras el accidente de Fukushima, clausurar todas las centrales nucleares en 2022.

La decisión alemana en 2011 de clausurar ocho de los diecisiete reactores nucleares en operación, supuso una reducción inmediata de la capacidad de generación en Europa de 8 GW. No obstante, después de 2011, todos los países de la UE28 (salvo Alemania) mantuvieron los

niveles de generación nuclear y en 2012 incrementaron la producción con carbón y fuentes renovables. Sólo la energía producida con gas natural disminuyó globalmente entre 2011 y 2012.

Por su parte, Alemania incrementó su capacidad de generación con fuentes renovables ligeramente por encima de lo que redujo la nuclear. Concretamente, incrementando entre 2011 y 2012 su capacidad de generación eólica en 2 GW y de solar fotovoltaica en 7 GW.

La clave está en considerar la clausura definitiva de las centrales nucleares germanas antes de 2022 como una decisión repentina e impulsiva del gobierno germano. En realidad es la continuación de una política iniciada en la primera década de los 2000 y que finalmente se plasmó en 2010 en la denominada Energiewende o transición (o revolución, según la traducción) energética.

El término Energiewende fue acuñado por primera vez en 1980 y ha tenido el soporte institucional necesario para convertirse en una realidad después del año 2000, tras el acuerdo entre el Gobierno Federal y las principales empresas de energía para eliminar la electricidad nuclear para uso comercial.

Así, en el año 2002 se publicó el Atomic Energy Act, que comprendía las siguientes acciones:

- Clausurar progresivamente el uso de la energía nuclear para generación de electricidad de uso comercial (vida útil máxima de 32 años).
- Terminar con el uso de la energía nuclear y asegurar la seguridad durante la vida útil de aquellas centrales aún operativas y con licencias.
- Establecer nuevos requerimientos para la gestión de residuos nucleares.
- Incrementar el gasto en seguridad por parte de los operadores de centrales nucleares.

Posteriormente, en el año 2010 una moratoria del gobierno ampliaba una media de 12 años la vida útil de las centrales nucleares sobre lo establecido en el Acto de 2002.

En 2011, tras el accidente nuclear de Fukushima, el riesgo ante la posibilidad de un posible accidente nuclear de dimensiones comparables a las ocurridas en Japón llevó al Gobierno alemán a tomar la decisión, en agosto de 2011, de dejar de generar energía con fuentes nucleares a partir de 2022, retornando al programa previsto en 2002 y a la planificación aprobada en 2010.

Como principal consumidor de energía de la UE28 había miedo de que la decisión del Gobierno Federal pusiera en riesgo el suministro eléctrico, principalmente en el centro de Europa.

La reducción drástica y repentina de la capacidad de generación nuclear en 8GW podría resultar en una mayor dependencia alemana de las importaciones de electricidad y, por tanto, en un incremento de la dependencia europea.

Sin embargo, la posición geográficamente estratégica del país, en el centro de los principales mercados regionales de electricidad, la diversidad y fiabilidad de los países de origen de las importaciones de recursos energéticos (Rusia, Noruega y Holanda), así como la disponibilidad

doméstica de carbón, deja entrever una posición de superioridad sobre la que, aparentemente, descansa la firmeza de la decisión alemana.

Además de una posición físicamente ventajosa en cuanto a la seguridad de suministro y sin consideraciones políticas y económicas adicionales que pudieron afectar a la decisión del Gobierno Federal, éste también era consciente de la situación del país en relación a los objetivos de descarbonización establecidos en las políticas comunes (EE2020): Alemania estaba cumpliendo con creces las metas europeas y podría incrementar la intensidad de su *mix* eléctrico sin consecuencias.

Otros países de la UE28 seguramente no hubiesen podido tomar una decisión semejante unilateralmente sin arriesgarse a incumplir los objetivos europeos, poner en riesgo su propio suministro e incrementar su dependencia de terceros países.

No se puede concluir que las políticas europeas hayan cambiado antes y después de Fukushima ni como reacción a la decisión alemana de clausurar sus centrales nucleares.

La puesta en escena del Gobierno Federal y la firmeza de su decisión lograron, al menos en un inicio, poner en jaque a la Comisión Europea al dar pie a plantear un posible efecto sobre la seguridad energética. Son varias, de hecho, las intervenciones de la Comisión después de 2011 que se refieren a la seguridad energética como asunto estratégico sobre el que trabajar a escala comunitaria.

No se puede concluir que las políticas europeas hayan cambiado antes y después de Fukushima ni como reacción a la decisión alemana de clausurar sus centrales nucleares

Cabe preguntarse si, en una situación en la que su grado de avance e implementación de las renovables estuviese más atrasado o si su posición geográfica no garantizase el suministro de energía como centro de las redes de interconexión, la decisión que Berlín tomó después del accidente de Fukushima hubiese sido la misma. O, en otro sentido, si Fukushima ha sido la excusa perfecta para Alemania para forzar la implementación de medidas que cuesta poner en marcha.

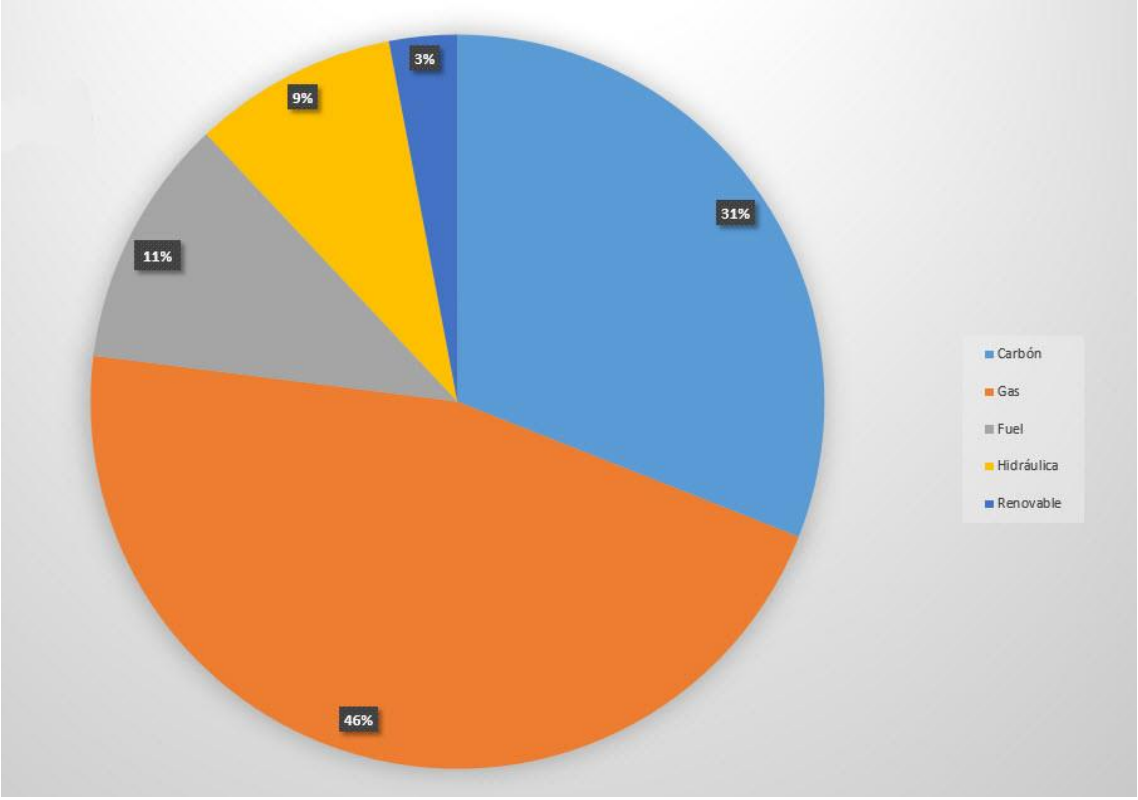
Vídeo 1 UK vs Germany: https://www.youtube.com/watch?v=NepZWPMVxDc

Japón

Tras el accidente, los seis grupos nucleares ubicados en Fukushima Daiichi sufrieron grandes desperfectos en sus instalaciones como consecuencia del tsunami y quedaron inoperables pasando a situación de desmantelamiento definitivo.

El resto de centrales, es decir, los otros 31 que operaban con normalidad en esa fecha fueron parando secuencialmente según un programa establecido de manera que, en mayo de 2012, las 54 centrales nucleares japonesas estaban paradas. Todas ellas tenían que ser sometidas a una fuerte revisión de seguridad y diseño, con nuevos criterios más rigurosos, para verificar si estaban preparadas para afrontar este tipo de grandes fenómenos adversos. En marzo de 2015, otras cinco plantas fueron también declaradas inoperables y pasaron a situación de desmantelamiento. En este complejo y caótico escenario, agravado por los problemas de infraestructuras (caída de torres de alta tensión, carreteras, puentes, etc.), el gobierno japonés se vio obligado a sustituir de forma programada el 30 % de producción nuclear por el resto de las energías disponibles, que se vieron aumentadas hasta alcanzar el mix energético de la figura 3.

Figura 3. Mix energético tras el parón nuclear de Japón.



Fuente: Elaboración propia

En agosto de 2015 se conectó de nuevo a la red eléctrica Sendai-1, reanudando oficialmente su operación comercial el 10 de septiembre. Sendai-2 se conectó en octubre del mismo año y reanudó oficialmente su operación comercial el 16 de noviembre. A finales de enero de 2016 se

conectó Takahama-3, alcanzando su operación comercial el 25 de febrero, y a finales de febrero se conectó Takahama-4. Con éste, cuatro reactores nucleares se encuentran de nuevo en funcionamiento en el país.

El Gobierno japonés aprobó en junio de 2015 un plan para que la energía nuclear contribuya con entre el 20% y el 22% al mix de generación eléctrico del país en el año 2030. Estas medidas están motivadas por la necesidad de reducir el coste de la electricidad para la industria japonesa y reducir el incremento de emisiones de CO_2. Por otra parte, sus empresas propietarias han solicitado los permisos para el desmantelamiento de las unidades 1 y 2 de la central de Mihama, Tsuruga-1, Genkai-1 y Shimane-1.

6.2 Pruebas de resistencia en Europa.

Los "Stress Tests"

Tras el accidente en la central nuclear de Fukushima Dai-ichi, todos los países europeos fueron tomando acciones para verificar las medidas de seguridad de sus centrales, pero rápidamente se planteó el abordar una respuesta coordinada, dentro de la Unión Europea, para asegurar que todas las centrales nucleares de estos países eran suficientemente robustas para afrontar situaciones semejantes a las ocurridas en la central nuclear de Fukushima.

Para llevarlo a cabo se planificó el calendario de la Tabla 1.

Tabla 1. Calendario de las *Pruebas de resistencia* en Europa. Fuente: CSN

15/03/2011	Propuesta de la Comisión para que la UE defina pruebas de resistencia
23/03/2011	La Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA) establece un grupo de trabajo para definir las pruebas
24/03/2011	Acuerdo del Consejo Europeo para definir las pruebas de resistencia
10/05/2011	WENRA envía su propuesta de pruebas de resistencia al Grupo de Reguladores de Seguridad en Europa (ENSREG)
25/05/2011	ENSREG aprueba los criterios de WENRA
15/08/2011	Los titulares presentan sus informes de progreso a los reguladores
15/09/2011	Los reguladores envían a la Comisión Europea (CE) su evaluación de los informes de progreso
31/10/2011	Los titulares presentan a los reguladores sus informes finales.
09/12/2011	El Consejo Europeo revisa el informe de progreso de la CE
31/12/2011	Los reguladores envían a la CE la evaluación de los informes finales.
De 01/2012 a 04/2012	Se desarrollan todos los trabajos de la revisión por pares (peer review)
26/04/2012	ENSREG aprueba informe final del "peer review" de las pruebas de resistencia.
25/07/2012	ENSREG aprueba el plan de acción para el seguimiento de los resultados.
09/2012	Visitas a algunas centrales nucleares europeas para ayudar en la preparación de los planes de acción nacionales.
04/10/2012	La Comisión presenta su comunicación al Consejo y al Parlamento sobre las pruebas de resistencia (stress tests) de las plantas nucleares europeas.
De 01/2013 a 04/2013	Se realiza los peer review de los planes de acción nacionales.

El Consejo Europeo celebrado el 24 de marzo de 2011 acordó la realización de un plan para someter a todas las centrales nucleares europeas a un conjunto homogéneo de "pruebas de resistencia" que permitieran valorar su capacidad para soportar situaciones más allá de sus bases de diseño e identificar los márgenes de seguridad existentes frente a dichas bases, así como las potenciales medidas que se podrían implantar para mejorar su seguridad.

En una reunión celebrada en Bruselas el 15 de abril de 2011, con participación de la Comisión Europea (CE), los organismos reguladores de los países de la UE y representantes de la industria, se acordó que el Grupo de Reguladores de Seguridad en Europa (ENSREG, siglas en inglés) con

el soporte técnico de la Asociación de Autoridades Reguladoras de Seguridad Nuclear de Europa Occidental (WENRA, siglas en inglés) prepararan una propuesta que desarrollara el contenido técnico de las pruebas de resistencia y definiera el método para llevarlas a cabo.

La propuesta, preparada por WENRA, fue aprobada por ENSREG en su reunión de 12 de mayo de 2011 y remitida a la CE. Finalmente fue aprobada el 25 de mayo de 2011 y presentada, posteriormente, al Consejo Europeo celebrado el 10 de junio de 2011.

El documento finalmente aprobado a nivel europeo define las pruebas de resistencia de las centrales nucleares como una reevaluación complementaria de los márgenes de seguridad de estas instalaciones a la luz de los accidentes sucedidos en Fukushima. Por tanto, se consideran fenómenos naturales extremos que podrían poner en peligro las funciones de seguridad y que, eventualmente, podrían llevar a una situación de accidente severo.

Los países que participan en las pruebas son los catorce miembros de la UE además de dos países vecinos que han aceptado participar en el proceso. Estos países son los recogidos en la tabla 2 con mención del número de reactores que disponen.

Tabla 2. Países participantes en las *Pruebas de resistencia*. Fuente: CSN

País	Unidades
Francia	58
Alemania	9
UK	18
Suecia	10
España	8
Bélgica	7
República Checa	6
Finlandia	4
Bulgaria	2
Hungría	4
Eslovaquia	4
Rumania	2
Eslovenia	1
Holanda	1
Total Unión Europea	134
Ucrania	15
Suiza	5
Total Pruebas resistencia	154

Tal y como se recoge en el documento aprobado, los propios titulares de las instalaciones deben realizar estos análisis para cada emplazamiento. La revisión de los análisis deberá ser realizada de modo totalmente independiente por los correspondientes organismos reguladores de cada país, que consolidarán sus resultados en un informe nacional. Finalmente, todo el proceso será sometido a una revisión entre todos los organismos reguladores (*Peer Review*), con participación de la CE. Los resultados de estas revisiones serán publicados y discutidos en seminarios públicos tanto a nivel nacional como internacional, a los cuales serán invitadas las partes interesadas de

diferentes ámbitos, como los organismos reguladores, los titulares de las instalaciones y otros representantes de la industria, organizaciones no gubernamentales, etc.

En sintonía con los objetivos fijados por el Consejo Europeo, el documento recoge el siguiente calendario: los informes de progreso de los titulares debían ser presentados al organismo regulador de cada país el 15 de agosto de 2011 y el informe final con los análisis realizados y las propuestas de mejora identificadas a lo largo del proceso, el 31 de octubre de 2011. Los organismos reguladores, a su vez, debían remitir a la CE el 15 de septiembre de 2011 el informe nacional de progreso, y el 31 de diciembre de 2011 el informe final, con el resumen de los análisis y conclusiones de los titulares y la evaluación realizada por el propio regulador. Finalmente, las mencionadas revisiones entre pares se llevaron a cabo entre enero y abril de 2012.

En definitiva es un proceso con cuatro fases:

1. Realización por parte de los Titulares de las Centrales Nucleares de los informes exigidos
2. Recopilación de dichos informes por parte de los reguladores nacionales
3. La realización de la revisión entre pares.
4. Seguimiento de un Plan de acción nacional.

Acciones desarrolladas en España

A raíz del accidente de Fukushima, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) inició de modo inmediato la recopilación de toda la información disponible acerca de la evolución del mismo con dos objetivos: analizar posibles lecciones aprendidas del accidente e informar a la opinión pública española.

Para ello se marcó una hoja de ruta en función de las recomendaciones propuestas por ENSREG, y se planificó el calendario que podemos ver en la tabla 3.

Las centrales nucleares españolas pusieron en marcha un conjunto de verificaciones y revisiones para asegurar que todas las medidas existentes para hacer frente a sucesos dentro y fuera de la base de diseño estaban operativas, de acuerdo con las recomendaciones de la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO, siglas en inglés). El día 25 de marzo de 2011, el CSN envió una carta a los titulares de las centrales nucleares para solicitar información sobre los resultados de las acciones ya adoptadas por los titulares y para requerir medidas complementarias a las puestas en marcha inicialmente.

El 25 de mayo de 2011, el CSN aprobó y remitió a todas las centrales nucleares unas Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) a las Autorizaciones de Explotación, en las que se les requería la realización de las pruebas de resistencia acordadas en el contexto de la Unión Europea. El informe con los resultados debía incluir una propuesta detallada de las medidas previstas y su correspondiente programación.

Tabla3. Calendario de las *Pruebas de resistencia* en España. Fuente: CSN

12/04/2011	El Congreso requiere al Gobierno y al CSN para trabajar en el desarrollo de las *pruebas de resistencia* para las plantas españolas.
25/05/2011	El CSN aprueba la primera Instrucción Técnica Complementaria (ITC-1) sobre las *pruebas de resistencia* en España siguiendo los criterios de ENSREG.
01/07/2011	El CSN aprueba una segunda ITC sobre sucesos con pérdida potencial de grandes áreas de las centrales nucleares (ITC-2) más allá de los criterios de ENSREG.
15/08/2011	Los titulares presentan al CSN sus informes de progreso de las *pruebas de resistencia*.
15/09/2011	El CSN envía a la Comisión la evaluación de los informes de progreso.
31/10/2011	Los titulares presentan al CSN sus informes finales.
31/12/2011	El CSN envía a la Comisión la evaluación de los informes finales.
31/12/2011	Los titulares presentan al CSN sus informes sobre las acciones que establece la ITC-2.
Del 05 al 17/02/2012	El CSN presenta el informe de evaluación de los informes finales ante el equipo del *peer review* en el marco de la revisión temática.
14/03/2012	El CSN aprueba la ITC sobre análisis complementarios y mejoras a implantar en las centrales nucleares españolas como resultado de las *pruebas de resistencia* (ITC3).
Del 19 al 23/03/2012	España recibe la visita del equipo del *peer review* encomendado con la elaboración del informe de país de España. Se visita la central nuclear de Almaraz.
18/07/2012	El CSN aprueba la ITC en relación con el cumplimiento por los titulares de la ITC 2 (ITC4).
09/2012	Visitas a algunas centrales nucleares europeas (Trillo), por parte de equipos de expertos del "*peer review*" para asesorar en la preparación de los planes de acción nacionales y al informe de la CE al CSN.

Adicionalmente, y de acuerdo con el alcance propuesto a nivel europeo, el CSN envió una ITC similar al titular de la central nuclear José Cabrera, actualmente en proceso de desmantelamiento, que mantiene en su emplazamiento un almacenamiento temporal de combustible gastado. El contenido de esta ITC es una adaptación del programa general de *pruebas de resistencia* a las especificidades y riesgos de la central en cuestión.

Por otro lado, y aunque fuera del marco estricto fijado a nivel europeo, el CSN también envió al titular de la fábrica de combustible nuclear existente en Juzbado (Salamanca), una ITC requiriendo la realización de *pruebas de resistencia* específicas, adaptadas a su diseño.

Finalmente, y en un proceso paralelo al de las *pruebas de resistencia* de las centrales nucleares españolas, y con el fin de reforzar aún más las capacidades de estas instalaciones para hacer frente a las situaciones excepcionales que pudieran ir mucho más allá de las Bases de Diseño consideradas, el CSN ha emitido posteriormente, para cada una de las centrales nucleares en operación, unas ITC en las que se les requiere la realización de un análisis para identificar las medidas adicionales necesarias para mitigar las consecuencias de sucesos que, provocados voluntaria o involuntariamente por la mano del hombre, pudieran suponer la ocurrencia de incendios o explosiones que llevaran a la pérdida de grandes áreas de la central. Los análisis

requeridos fueron presentados por los titulares antes del 31 de diciembre de 2012, y en ellos se plantea un calendario de implantación de las medidas de mejora que hayan resultado de dichos análisis. Debido a que la información resultante de estos análisis podría contener información sensible para las instalaciones, el CSN decidió que la información que se generase en este proceso debía tener un tratamiento específico de confidencialidad.

De acuerdo con lo requerido, los titulares debían analizar para cada emplazamiento las capacidades actuales de la instalación para hacer frente a los siguientes sucesos:

- Sucesos de origen externo: terremotos, inundaciones y otros sucesos naturales.
- Pérdida de las funciones de seguridad, por pérdida de los diferentes escalones de suministro de energía eléctrica y del sumidero final de calor.
- Gestión de accidentes severos en el núcleo del reactor y accidentes con pérdida de inventario y/o refrigeración en las piscinas de combustible gastado.

En el caso de que en la central existiese algún otro tipo de almacenamiento de combustible gastado, se debía analizar también la robustez del mismo frente a los sucesos externos y la pérdida de funciones mencionados.

Para armonizar, en la medida de lo posible, los análisis a realizar por las centrales españolas y establecer el contenido de los informes a elaborar, durante los meses de junio y julio de 2011 se mantuvieron diversas reuniones de coordinación entre el CSN y los titulares, así como reuniones internas de éstos últimos, en las que se abordaron aspectos técnicos relacionados con el alcance y el método de realización de los análisis requeridos. Asimismo, se han celebraron dos reuniones conjuntas con los titulares de las centrales y el operador de la Red Eléctrica Española (REE) para revisar las actuaciones y protocolos relativos a la fiabilidad de la red y la capacidad de recuperación del suministro eléctrico en los escenarios previstos en las pruebas de resistencia.

Siguiendo los plazos establecidos por ENSREG, el 15/09/2011 el CSN preparó un primer informe en el que se valoraban los análisis preliminares (Progress Reports) presentados por los titulares el 15/08/2011.

Como ya hemos explicado, las pruebas de resistencia constan de tres etapas principales: una autoevaluación por los titulares de las centrales, una revisión independiente de las evaluaciones por el órgano regulador nacional y una tercera fase de revisiones por pares internacionales de organismos de regulación.

Tras la tercera fase que es la revisión por pares, se han emitido informes sobre cada uno de los países, que fueron presentados el 26 de abril de 2012. Todos estos informes se publican en la web de ENSREG.

El proceso de revisión entre pares al informe español se realizó siguiendo las directrices de ENSREG. Durante la primera fase de revisión documental, que se llevó a cabo a lo largo de enero de 2012 y en la que cada país formulaba preguntas escritas a los informes de los demás países, se recibieron 179 preguntas al informe español, que fueron contestadas por escrito.

La segunda fase consistió en la presentación y discusión del informe con los equipos de expertos que realizaron la revisión, y que tuvo lugar en Luxemburgo los días 6, 7 y 8 de febrero de 2012.

Finalmente, la tercera fase fue la visita al país, que se llevó a cabo entre el 19 y el 23 de marzo de 2012. El equipo que visitó España estuvo compuesto por ocho expertos, que habían participado previamente en las sesiones de Luxemburgo. El día 20 de marzo visitaron la central nuclear de Almaraz, donde debatieron con los técnicos de la central el alcance y los resultados de las pruebas de resistencia realizadas, así como las medidas de mejora previstas. El resto de los días estuvieron en la sede del CSN, donde se entrevistaron con los técnicos que realizaron el informe español y pudieron revisar y discutir con ellos los escenarios supuestos, las hipótesis, los métodos de análisis, la documentación soporte y los resultados de la revisión del CSN.

En estas reuniones se identificaron algunas áreas con posibilidades de mejora:

- Homogeneizar la base de diseño relativa a temperaturas extremas y fuertes lluvias en todas las centrales**.**
- Incluir los datos geológicos y paleo-sismológicos más recientes en la actualización de la caracterización sísmica de los emplazamientos que el CSN va a requerir a las centrales.
- Implantar las mejoras previstas para proteger contra inundaciones externas algunos edificios con equipos de seguridad.

En relación con la pérdida de funciones de seguridad, destacaron las siguientes fortalezas:

- Alimentación de las centrales desde centrales hidráulicas cercanas. Protocolos de Red Eléctrica de España para dar prioridad a la alimentación eléctrica a las centrales nucleares.
- Capacidad de operaci**ón** manual para refrigerar el reactor en caso de pérdida total de alimentación eléctrica. Pruebas y procedimientos para estas operaciones.
- Mejoras introducidas en los sistemas eléctricos y en el sumidero final de calor como resultado de las revisiones periódicas de la seguridad y otros procesos.

También señalaron las siguientes áreas de mejora (ya previstas por los titulares y requeridas en las ITC del CSN):

- Equipos portátiles para asegurar el mantenimiento de las funciones de seguridad (generadores eléctricos, bombas, baterías…).
- Medidas para asegurar los controles y la instrumentación necesaria en caso de pérdida total de energía eléctrica o del sumidero final de calor.
- Pruebas periódicas de la alimentación desde centrales hidráulicas cercanas.

Respecto a la gestión de accidentes severos, identificaron las siguientes fortalezas:

- Grupo de trabajo de los titulares para analizar los refuerzos necesarios de los medios y la organización de emergencias.
- Guías de gestión de accidentes severos validadas y aplicadas en ejercicios de emergencia, así como personal entrenado.
- Previsiones para la gestión y el confinamiento de grandes cantidades de agua contaminada.

- Posibilidad en la central de Trillo de inyección a la piscina de combustible y de refrigerar la contención desde el exterior del edificio.

Asimismo, señalaron las siguientes áreas de mejora (la mayoría de las cuales también estaban ya identificadas en los informes de los titulares y requeridas en las ITC del CSN):

- Instalación de venteos filtrados de contención y quemadores pasivos de hidrógeno.
- Elaboración de guías de gestión de accidentes severos en condiciones de parada y de control de hidrógeno en el edificio de combustible gastado.
- Inclusión explícita de la gestión de accidentes severos en la Guía de seguridad para la revisión periódica de seguridad.

Plan de Acción de Seguimiento Post-Fukushima de la Unión Europea

Una vez concluido el proceso de las pruebas de resistencia y las correspondientes revisiones entre pares, el 1 de agosto de 2012, ENSREG aprobó el Plan de Acción de Seguimiento Post-Fukushima, que tiene por objeto comprobar el grado de implantación de las acciones de refuerzo de la seguridad establecidas, e intercambiar información sobre aquellas que están planificadas, o en estudio, en todas y cada una de las centrales nucleares de la Unión Europea.

El plan de acción de ENSREG incluye las siguientes acciones, que ya han sido llevadas a cabo en su mayoría:

- Elaboración de planes nacionales de acción, que se someterán a una revisión entre pares.
- Apoyo a las acciones adoptadas por WENRA para desarrollar nuevos niveles de referencia, con el fin de armonizar la normativa en los países europeos sobre riesgos naturales, comportamiento de la contención en accidentes severos, gestión de accidentes y asistencia mutua entre los reguladores en caso de accidente.
- Visitas de seguimiento adicionales a centrales nucleares para intercambiar experiencias sobre las mejoras previstas o ya implantadas.
- Otras acciones adicionales en temas relevantes que requieren un desarrollo posterior, como la preparación para emergencias en el exterior de las centrales, el tratamiento del impacto de avión y la comunicación, transparencia e implicación del público, entre otros.

En la actualidad, cinco años después, un 80% de las mejoras propuestas está ya implementado, cumpliendo con el calendario establecido.

Reacciones en contra

Algunas organizaciones ecologistas, como Greenpeace o Ecologistas en Acción, han publicado a su vez informes propios sobre las pruebas de resistencia criticando la metodología y poniendo en duda los resultados.

Greenpeace, por ejemplo, apunta que las pruebas de resistencia no son una valoración de la seguridad de las centrales nucleares de Europa, sino un análisis limitado de la vulnerabilidad de tales centrales respecto a los peligros naturales.

Indican que los escenarios de los accidentes se centran en sucesos externos y no se analizan la calidad de las estructuras, los sistemas ni los componentes, ni la degradación de las centrales nucleares más antiguas de Europa. El equipo de peer review no consideró todos los problemas de seguridad que podrían provocar o agravar una situación de accidente (por ejemplo, el envejecimiento, uso de combustible de óxido mixto, cultura de seguridad).

La gestión de accidentes graves es un problema generalizado, en especial en lo que respecta a las piscinas de combustible gastado y a los accidentes de múltiples unidades como los ocurridos en Fukushima, pero las soluciones para dicho problema varían enormemente. Solo uno de los países (Eslovenia) cuenta con un simulador para la gestión de accidentes graves.

El equipo de peer review no ha valorado el nivel actual de seguridad de las centrales nucleares europeas. Solo ha considerado el aumento potencial del nivel de seguridad en la próxima década. En la actualidad existen varias deficiencias conocidas con respecto a la protección contra terremotos, inundaciones y calamidades climáticas. Además, es bien sabido que será imposible afrontar un accidente grave, en particular si está acompañado de un terremoto o inundación. Los revisores describieron únicamente los puntos débiles que ellos mismos identificaron, pero no produjeron una evaluación general de todos los hechos, con la que se podría obtener una valoración de riesgos.

La prueba de resistencia de la UE no tiene un efecto directo en las centrales nucleares europeas. El criterio de ENSREG no cuenta para las aplicaciones de prolongación de la vida útil de las centrales, incluso de las más antiguas, que son las que tienen los problemas más obvios (Muehleberg, Doel, Rivne, etc).

Desde Ecologistas en Acción estipulan que las discusiones sobre lo que debía tenerse en cuenta y no en la pruebas de resistencia fueron intensas. Las principales disensiones venían de si debían considerarse acciones humanas, como el choque de un avión de pasajeros o un posible atentado, o solo sucesos naturales.

Indican que, aun así, las pruebas suponen importantes gastos para las centrales, que ascienden a unos 25.000 millones de euros para todo el parque nuclear europeo y a unos 750 millones para las centrales españolas, según Otto Oetinger, comisario Europeo de energía. A pesar de la necesidad de realizar estos gastos en seguridad, los representantes de la industria nuclear se apresuraron a pregonar que las pruebas de estrés habían arrojado el resultado de que las centrales eran seguras.

En conjunto, las pruebas comprueban la resistencia frente a terremotos, tempestades e inundaciones. Ordenan mejorar los sistemas de venteo de las contenciones y monitorizar los gases explosivos, así como disponer de una sala de control redundante. Y además ordenan la creación de un equipo de emergencia común, ubicado fuera del radio de influencia de la central y capaz de personarse en ella en menos de 24 horas.

Aparte de la no consideración en primera instancia de sucesos originados por la acción humana, hay que señalar algunos de los problemas de las pruebas realizadas. Un inconveniente no menor es que las pruebas se realizan por los técnicos del CSN sobre las informaciones facilitadas por la central, sin la intervención de un agente independiente y sin revisar la exactitud de los datos aportados. Estos informes están por tanto basados en que las instalaciones están en una situación ideal, lo que no es cierto según muestran los numerosos incidentes que se producen cotidianamente en el parque nuclear español. Así, se produjeron tras la realización de las pruebas de resistencia, sendos incidentes en Almaraz y Ascó relacionados con una mala cualificación sísmica de varios de sus componentes.

Añaden que también se observan problemas en algunos puntos:

- Se toman por separado la resistencia a ciertos sucesos, cuando no sería raro que algunos de ellos concurrieran a la vez. No sería de extrañar, por ejemplo, que un terremoto llevara aparejada la interrupción de la alimentación exterior de la central y que ocasionara daños en la alimentación eléctrica de emergencia.
- En el caso de la evaluación del comportamiento ante terremotos, el propio CSN reconoce en su informe que no se ha aplicado la reciente metodología aprobada por el IAEA y que, por tanto, estos estudios deben repetirse a la luz de dicha normativa. En esta normativa se incluye la paleosismicidad y la sismicidad local. También falta la evaluación del comportamiento de equipos de emergencia y de la refrigeración de las piscinas de combustible gastado.
- En el caso de inundaciones se excluye el peligro de rotura del embalse de Alarcón, aguas arriba de Cofrentes, cuando existen estudios que ponen en duda su resistencia. No se contempla la inundación junto con otro sucesos extremo.
- Ante la rotura de la alimentación eléctrica de emergencia y la desaparición del sumidero de calor, que permita extraer el calor del núcleo del reactor, se afirma que las centrales disponen equipos que garantizan la refrigeración durante 24 horas, sin contemplar la posibilidad de que estos equipos hayan resultado dañados. Tras esas 24 horas se contempla la aportación de equipos ligeros externos que quizá no estén disponibles en caso de catástrofe. Y finalmente se apunta la necesidad de restablecer la alimentación recurriendo a centrales hidroeléctricas cercanas, cuando con toda probabilidad estas centrales habrán podido también sufrir daños por el mismo suceso que haya ocasionado los problemas en la central nuclear.
- En las pruebas se siguen detectando problemas por la posible acumulación de hidrógeno, lo que dio lugar a las fatídicas explosiones de Fukushima. Asimismo se han detectado problemas para el venteo de gases de la contención haciendo necesaria la instalación de sistemas que reduzcan la radiactividad que se expulsaría hacia el exterior, que hoy no existen.

En Greenpeace señalan que, en lugar de restablecer la fe en la seguridad de la energía nuclear en Europa, las pruebas de resistencia y el informe de ENSREG publicado en abril de 2012 la han socavado aún más. A través de Europa, las pruebas de resistencia han revelado algunos fallos inaceptables en la gestión de riesgos. Se han descubierto brechas graves en la preparación de los planes de emergencias. No se puede garantizar que las centrales situadas en zonas sísmicas se mantendrán seguras en caso de terremotos fuertes. Muchas centrales carecen de

mecanismos de contención segura para sus piscinas de combustible gastado, y en algunas el acceso a suministro eléctrico de emergencia es completamente inadecuado.

Indican que, en resumen, en Europa todavía no se han aprendido las lecciones de Fukushima y que se trata de unas pruebas incompletas e insatisfactorias llevadas con un bajo nivel de exigencia.

6.3 Lecciones aprendidas

Introducción

¿Qué lecciones puede aprender la industria nuclear del accidente de Fukushima Dai-ichi? La primera de ellas es que las plantas nucleares son unas de las construcciones humanas mejor adaptadas para resistir a accidentes naturales de magnitud extraordinaria, como lo demostraron las centrales nucleares de Japón. Otra es que la resistencia de las plantas nucleares ubicadas en áreas de alto riesgo sísmico, especialmente aquellas en zonas costeras expuestas a tsunamis, que son la minoría, debe ser reevaluada y, eventualmente, reforzada.

Cualquier comparación de lo que pueda suceder en Fukushima Dai-ichi con lo que ocurrió en Chernobyl no es técnicamente correcta, en la medida que, en aquel trágico accidente, se dispersaron materiales radioactivos en grandes cantidades y sobre grandes distancias debido a la energía liberada por el incendio de centenares de toneladas de grafito existentes en el interior del reactor, el cual llevó días en ser contenido. En un reactor en base a agua, que no utiliza grafito u otra forma de acumulación de gran cantidad de energía liberable en un corto periodo, como son las plantas BWR afectadas y las PWR que en conjunto componen el 90% de la totalidad de las plantas a nivel mundial, no existe la suficiente energía disponible para tal dispersión. En el peor de los casos, esa dispersión se limitaría al radio de evacuación y, en menor medida, al radio de refugio ya establecidos en la región.

El análisis técnico profundo del accidente ha generado muchas lecciones aplicables no sólo a plantas de tipo BWR, sino también a las demás plantas en funcionamiento, así como las que están en diseño y construcción, perfeccionando la seguridad en un proceso de mejora continua. Esto ocurre sistemáticamente en la industria nuclear tanto para accidentes poco significativos como para otros mucho más graves como el que se vivió en Japón. Así fue con los accidentes de Three Mile Island en EEUU y el de Chernóbil en la antigua URSS.

Las demandas de acciones inmediatas en busca de detener el funcionamiento o interrumpir la construcción de centrales nucleares son impulsadas por el clima catastrofista que predomina en la cobertura mediática del accidente, que tiene una gran influencia en la opinión pública, provocado por razones de naturaleza política e ideológica, las cuales, son legítimas en sociedades democráticas. Es por ello que debería ser una prioridad ofrecer la máxima transparencia y darle a esa opinión pública toda la información que sea precisa y tratar de no ocultar información como ha ocurrido con anterioridad, y que tanto daño ha causado a la credibilidad sobre la energía nuclear.

Incluso en el contexto de la tragedia que golpeó a Japón, la mayoría de las plantas nucleares afectadas permanecen en condiciones seguras, implicando las menores consecuencias posibles sobre las poblaciones afectadas. Estas consecuencias están mitigadas por la ejecución de un Plan de Emergencia Externo, que protege a las poblaciones evacuadas tanto bajo las condiciones que se dieron como para el peor caso posible de liberación de material radioactivo.

Estas son las 10 lecciones más importantes que se extraen del análisis del accidente por distintos agentes y organismos:

1. Periódicamente o cuando nuevos estudios, datos e investigaciones lo indiquen es necesario actualizar los planes de emergencia, medios y procedimientos.
2. Es imprescindible asegurar la refrigeración del núcleo.
3. Hay que tener previsto sistemas alternativos de venteo de la contención.
4. Es necesario disponer del personal y del equipo necesario para toda incidencia que se presente.
5. Es necesario garantizar la protección radiológica del personal.
6. Se debe tener previsto medidas de apoyo externo y procedimientos para su aplicación.
7. Es preciso reforzar la cooperación internacional.
8. Hay que realizar los entrenamientos, capacitación y simulacros con los medios más realistas posibles.
9. Es necesario reevaluar continuamente la cultura de seguridad nuclear.
10. Debe garantizarse la independencia de la IAEA y demás órganos reguladores nacionales.

Actualizar los planes de emergencia, medios y procedimientos.

Periódicamente o cuando nuevos estudios, datos e investigaciones lo indiquen es necesario actualizar los planes de emergencia, medios y procedimientos.

Los sismólogos e investigadores ya tenían estudios que demostraban que existía una gran probabilidad de tsunamis de más de 20 metros en la costa donde está ubicada la central nuclear de Fukushima, incluso los responsables de TEPCO habían alertado de esta posibilidad, pero tras algunas conversaciones internas, y con el pretexto de que se basaban en supuestos teóricos, se pospuso la solución a la espera de nuevos estudios, que se estaban produciendo en el momento del desastre. Incluso la autoridad reguladora NISA había sugerido a TEPCO, pero no ordenado, que intensificasen las investigaciones sobre tsunamis y las incluyeran en sus planes de seguridad.

Japón es internacionalmente reconocido por la experiencia que tiene en tsunamis y terremotos y en los riesgos que estos entrañan. Los académicos y expertos industriales japoneses han ayudado a países de todo el mundo a entender y establecer su propio estudio de riesgos en caso de tsunami o terremoto. En el informe, la IAEA, sin embargo, señala que "…problemas de organización impidieron que se aplicara esta experiencia a casos prácticos…" en las centrales nucleares de Fukushima Dai-ichi y Dai-ni.

La incapacidad institucional de Japón para aplicar en el sector nuclear sus conocimientos y experiencia sobre la peligrosidad de los tsunamis y terremotos quedó patente cuando NISA aprobó la extensión del ciclo de vida de un reactor de la central Fukushima Dai-ichi, poco antes del accidente, sin demandar ninguna modificación, ni siquiera una revisión en profundidad de las protecciones contra tsunamis que tenían más de 40 años.

También se pone en entredicho la metodología sobre análisis probabilísticos de riesgos. Cuando se afirma que la energía nuclear es segura se asume el supuesto de que es muy poco probable que ocurra un accidente en el que se libere una cantidad de radionucleidos considerable. Se

establece que para los accidentes que se clasifican como sucesos “base de diseño”, el diseño de una central debe garantizar que no habrá pérdidas de radiactividad significativas. A estos accidentes se les conoce como accidentes “razonablemente predecibles”. Los accidentes en que se produce una gran pérdida de radiación, como el ocurrido en la central de Fukushima, se denominan “de muy baja probabilidad” o “que van más allá de la base del diseño” porque hay una probabilidad extraordinariamente baja de que ocurran. Se considera que la probabilidad de que ocurra un accidente “que va más allá de la base del diseño” que conlleva una gran liberación de radionucleidos, es muy baja, por debajo de una entre un millón. Estas cifras se calculan mediante el análisis probabilístico de seguridad (APS). Sin embargo, el APS no proporciona estimaciones suficientemente fiables sobre la frecuencia de accidentes (probabilidades), ya que no tiene en consideración todos los factores pertinentes (por ejemplo, no puede saber si se ha hecho una supervisión reglamentaria incorrectamente) y los factores que sí incluye están plagados de incertidumbres (por ejemplo, lo relativo a terremotos).

El diseño de la mayor parte de los reactores actualmente en servicio, incluidos los de la central de Fukushima, se realizaron en los años 60. La “base de diseño” de los reactores se basó en accidentes “razonablemente predecibles”, esto es, accidentes que los expertos de la industria pensaba que podían ocurrir. Asimismo, los modelos y la metodología que se utilizan son los que había disponibles en aquel periodo de tiempo, hace más de 50 años.

Durante mucho tiempo la industria nuclear y los reguladores estaban convencidos de que la baja probabilidad de que un componente fallase significaba que la tecnología nuclear era una industria de bajo riesgo. Sin embargo, el riesgo normalmente se calcula multiplicando la probabilidad (o frecuencia) por las consecuencias. Un evento de baja probabilidad puede ser de alto riesgo si las consecuencias son devastadoras. La mayoría de los estudios sobre riesgo nuclear calculan la frecuencia o probabilidad de un evento sin tener en cuenta la gravedad de las consecuencias, que es lo que haría una evaluación del riesgo verdadera. Así pues, es necesario realizar las modificaciones necesarias en el modelo para que sea más realista y se tengan en cuenta las consecuencias.

Es imprescindible asegurar la refrigeración del núcleo

Es necesaria la continuidad en la refrigeración del núcleo. Si la refrigeración del núcleo se pusiera en peligro, se deben tomar medidas para que se reestablezca dicha refrigeración en el menor tiempo posible.

En Fukushima Dai-ichi, la confusión en cuanto al estado y control del sistema de refrigeración del núcleo afectó de manera adversa a la toma de decisiones y prioridades durante los primeros días del accidente. Un gran número de factores contribuyeron a esta confusión, entre los que se incluye; la falta de indicadores en la sala de control, la necesidad de manejar emergencias en unidades múltiples de manera simultánea y la dificultad de las comunicaciones.

Prever sistemas alternativos de venteo de la contención

En general, desde 1980 las estrategias de venteo para la vasija de contención primaria utilizadas en las centrales nucleares japonesas están diseñadas para demorar el venteo lo más posible para evitar liberar materiales radioactivos. Para llevar a cabo esta estrategia, las líneas de venteo incluyen discos de ruptura con un tamaño especial que no rompe hasta que la presión de contención alcanza dos veces el valor máximo de operación.

Sin embargo, los BWR de los Estados Unidos no disponen, generalmente, de discos de ruptura, y los procedimientos de operación de emergencia requieren que se inicie el venteo antes de que se alcance la presión de diseño de la contención. En cuanto a los Reactores de Agua en Ebullición de Japón, las directrices de procedimiento para atender dos veces el límite de presión establecida antes del venteo fueron desarrolladas considerando los resultados de los exámenes de integridad de contención llevados a cabo por el Laboratorio Nacional de Sandia (EEUU). Además, esta estrategia contribuyó a que disminuyera la efectividad de la inyección de agua.

También hubo dificultad para poder abrir las válvulas que permitían el venteo, ya que éstas se operaban con electricidad por lo que se debería desarrollar sistemas de apertura y cierre de válvulas con sistemas secundarios de emergencia no activados por electricidad y con la posibilidad de hacerlo a distancia. Supone todo un desafío técnico, pero seguramente viable.

Disponer del personal y del equipo necesario

Se requiere una buena estrategia para garantizar que la central tenga la cantidad necesaria de personal entrenado y capacitado en los diferentes puntos y salas de emergencias, para responder a accidentes de múltiples unidades, grado de estrés elevado y de larga duración. Esta estrategia debe asegurar la rotación, el número apropiado y las aptitudes del personal necesarios para atender accidentes graves. Adicionalmente se pueden incluir individuos que ayuden al supervisor a recabar información, verificar los parámetros críticos y analizar el progreso del accidente.

Afortunadamente, el tsunami ocurrió un día de una semana laboral normal cuando había bastante personal en la planta. Los recursos normalmente presentes durante los turnos de tarde y fines de semanas habrían sido insuficientes para responder en las primeras horas del accidente.

El personal de operaciones en Fukushima Dai-ichi no era suficiente para atender varios días seguidos a accidentes con múltiples unidades implicadas. Los operadores de turnos permanecieron de guardia durante tres días sin dormir y en muchos casos, con la angustia de no saber el estado de sus familiares. Además, el personal dentro del Centro de Respuesta a Emergencias permaneció en sus puestos durante varias semanas, con descansos limitados.

El personal debe estar preparado y entrenado en situaciones como las que tuvo lugar, es decir debe estar preparado para actuar con la falta de indicadores por causa de la falta de energía eléctrica, y en aspectos emocionales que pueden influir en la toma de decisiones. El impacto del

estrés elevado en el bienestar del personal, en el estado de ánimo y en la toma de decisiones que causa un accidente de larga duración es considerable, y es necesaria la atenuación de estos efectos con la debida preparación.

Respecto a los equipos, ya hemos comentado la falta de indicadores que dificultaba o impedía saber el estado de los diferentes parámetros de los reactores. Por ello es necesario disponer de medios alternativos para asegurar el conocimiento de los parámetros más importantes.

Debido a la falta de electricidad, también hubo muchos problemas para mantener una comunicación eficaz y fluida ya que los equipos de comunicación habitual fueron invalidados, por lo que sería necesario habilitar sistemas de comunicación alternativos y redundantes para que no se interrumpa en ningún momento. También es necesario que los responsables de la atención a emergencias de la central, estén concentrados en sus tareas sin tener distracciones innecesarias, por lo que se hace imprescindible un interlocutor para que comunique a la prensa y al público en general las informaciones que se tenga, y avisar claramente de decisiones importantes sobre evacuación, venteos, etc.

A una distancia prudencial de cada central nuclear deberían instalarse “puntos de potencia” diésel o eléctrica, esa potencia debería ser accesible de modo inmediato. Además, esos puntos estarían instalados discretamente cuando no secretamente. Una lección de Fukushima es que un ataque a una central nuclear no tiene por qué ser directo, puesto que eliminar el acceso a la potencia eléctrica (volando una torre de alta tensión) o inutilizar los generadores diésel (instalaciones normalmente menos vigiladas) es suficiente para provocar graves daños.

El centro externo de emergencias, que debía tener un papel importante en coordinar las labores de emergencias, no funcionó como se esperaba. Nunca estuvo completo porque los integrantes habían tenido dificultades en acceder a la zona debido a los daños ocasionados por el terremoto y el tsunami. El centro tampoco estaba diseñado con ventilación filtrada y tuvo que ser abandonado por los altos niveles de contaminación radiactiva. Así pues, es necesario que los centros externos de emergencias cumplan las debidas condiciones para que puedan cumplir su función.

El Centro de Respuesta a Emergencias de la central estaba ubicado en un edificio nuevo con diseño antisísmico y equipado con energía de respaldo y ventilación filtrada. El edificio, al que se conoce comúnmente como “edificio antisísmico”, fue construido como medida correctiva después del tsunami del 2007 que dañó las instalaciones de respuesta de emergencia en la central Kashiwazaki Kariwa de TEPCO. Después del terremoto y tsunami de Fukushima, el edificio antisísmico fue uno de los pocos edificios administrativos en Fukushima Dai-ichi operativos. Sin este edificio aislado sísmicamente, la capacidad del personal de la central para coordinar y administrar las actividades de respuesta habrían sido dificultadas de manera significativa, y la exposición a radiación del personal habría sido mayor.

Pero este edificio no estaba diseñado o preparado para el gran número de trabajadores que se requería para el accidente. Algunas de sus deficiencias eran la falta de comida, agua, baños, duchas y espacio para dormir. Además, las puertas de entrada no incluían áreas de compartimento hermético y el edificio tenía suelos enmoquetados. Como consecuencia, era

imposible evitar que la contaminación entrara, ya que los trabajadores entraban y salían del edificio. La moqueta finalmente fue retirada porque se contaminó.

Otros equipos que pueden estudiarse para mejorar la capacidad de respuesta a accidentes son las luces de emergencia. Éstas funcionaban con baterías pero al inundarse el local donde estaban situadas, se inutilizaron. Una posible solución sería elevar el local donde estén situadas las baterías o establecer un mecanismo alternativo de suministro eléctrico. Lo mismo puede decirse de los generadores diésel de emergencia, puesto que les sucedió lo mismo que a las baterías. La capacidad de interconectarse eléctrica o mecánicamente sería conveniente, o incluso obligatorio, para cuando se tenga que sustituir un generador por otro (En el reactor U6 de Fukushima Dai-ichi se salvó un generador diésel de la inundación que sirvió para suministrar energía también al reactor U5).

La instalación de los recombinadores de hidrógeno pasivo en las contenciones evitaría la acumulación de hidrógeno durante el accidente. Además, sería aconsejable la instalación de sistemas de venteo independiente en cada edificio de reactores para permitir el venteo del hidrógeno que pudiera estar acumulado. En Fukushima se compartía el sistema de venteo entre dos reactores (U3 y U4) lo que provocó la explosión del reactor U4.

Garantizar la protección radiológica del personal

Los equipos e instrumentos de protección radiológica deben estar guardados en diversas ubicaciones, estar protegidos contra cualquier daño y tener acceso fácil para el personal. La mayoría de los equipos de protección radiológica quedaron destruidos por el tsunami. Por ello, los operadores fracasaron durante los intentos iniciales para acceder al edificio del reactor U1 sin equipo de protección y tuvieron muchas dificultades para estimar la tasa de dosis de contaminación radiactiva.

Cuando se cortó la electricidad en la central, dejaron de funcionar los ordenadores utilizados para actualizar los datos de dosis de radiación. Además, era necesario reiniciar los dosímetros de bolsillo a cero antes de entregar los dosímetros al siguiente usuario, y algunos de los trabajadores no reiniciaban los dispositivos. Se utilizó un sistema manual para registrar la dosis, pero este método tuvo muchos errores. La corrección de estos errores supuso un gran esfuerzo para garantizar que las dosis radiactivas estuvieran bajo control. Más adelante, se empleó un lector de código de barras para registrar la dosis del trabajador, que también tuvo algunos errores.

Los planes de evacuación de la central deben considerar la necesidad de tener técnicos de protección radiológica y demás personal para asegurar las operaciones que se requieran cuando ocurre un accidente. En Fukushima Dai-ichi, los técnicos de protección radiológica se reunieron después del terremoto para controlar la dosis radiactiva de los trabajadores que habían sido evacuados. Estos técnicos se quedaron en el área de seguridad hasta que disminuyó la inundación a causa del tsunami y cesaron las advertencias sobre la llegada de más tsunamis. Esto hizo que se produjera déficit en el apoyo de protección radiológica durante las primeras horas del accidente. Una de las posibles soluciones puede ser el asignar personal de protección

radiológica a la organización de respuesta a emergencias para garantizar que estén disponibles en las primeras etapas del accidente. Como alternativa, los operadores podrían estar entrenados y se les podría dar todos los equipos necesarios para efectuar sus propias mediciones de dosis radiactiva.

Con respecto a los límites de dosis, se debe informar y entrenar a los trabajadores sobre el riesgo que representa sobrepasar dichos límites para que actúen en consecuencia. Los límites de dosis de radiación no permitieron flexibilidad en cuanto a la respuesta del accidente ya que se tenía establecido un límite de dosis de 100mSv para todos los trabajadores de la central y no había instrucciones para exceder el límite si fuera necesario. Esto hizo que se limitara la capacidad de solventar algunos problemas como el venteo o la refrigeración. Posteriormente, el gobierno cambió el límite de la dosis de emergencia a 250mSv pero este cambio no se comunicó correctamente a los trabajadores, y originó pérdida de confianza y recelos entre los empleados.

Prever medidas de apoyo externo y procedimientos para su aplicación

TEPCO respondió rápidamente con el suministro de equipos y recursos necesarios, pero estaba tan concentrado en sus cometidos que no prestó la debida atención a las propuestas de ayuda que le hacían desde las distintas organizaciones nucleares nacionales o internacionales. Es por ello que se deben establecer planes y acuerdos a nivel nacional e internacional para facilitar dicho apoyo.

La IAEA debería promover la creación de un contingente internacional de intervención inmediata en caso de accidente nuclear en cualquier lugar del mundo. Tal medida iría acompañada de la elaboración de protocolos de actuación, normas, medidas y regulaciones globales. Por ese motivo, debería de imponerse una estandarización de medidas, protocolos y procedimientos que faciliten el entendimiento y la actuación de dicho contingente o de otras ayudas externas que se puedan necesitar.

Reforzar la cooperación internacional

Se necesita la colaboración internacional para identificar las estrategias óptimas y directrices sobre procedimientos. A partir del año 1980, las instalaciones y proveedores japoneses decidieron establecer sus propias estrategias de gestión de accidentes al margen de las desarrolladas por el de los Estados Unidos. Esta decisión estaba basada en los resultados de análisis técnicos y visiones divergentes sobre los riesgos relativos de estrategias diferentes. Por ejemplo, el diferente enfoque japonés sobre el venteo de la contención ya comentado.

Los procedimientos disponibles de otros países permiten que el hidrógeno de la contención primaria pueda ser venteado a la atmósfera, incluso a bajas presiones de contención. El retraso del venteo aumenta las posibilidades de explosiones de hidrógeno en las vasijas de contención

primaria y la pérdida de hidrógeno dentro de los edificios de los reactores (a través de las juntas de penetraciones eléctricas e hidráulicas susceptibles de pérdidas a alta presión).

La participación activa en actividades de grupos internacionales de operadores y otros foros podría haber ayudado a TEPCO y a otras empresas japonesas a conocer las alternativas a las respuestas y a las estrategias de gestión de accidentes. Además, el debate sobre los enfoques japoneses en la gestión de accidentes y otros temas desarrollados en estos foros podría haber solventado dudas, y ofrecería una discusión constructiva a aquellos temas con diversos puntos de vista y perspectivas. Las empresas externas a Japón también se habrían beneficiado de la experiencia de operación que las empresas Japonesas podrían ofrecer.

Se debe hacer un esfuerzo internacional por promover la investigación en diversos puntos cruciales de los accidentes en centrales nucleares, por ejemplo, se debería hacer un gran esfuerzo internacional en la investigación de nuevos materiales que mejoren la aleación que forma las vainas, el zircalloy. El objetivo sería encontrar un material para la fabricación de vainas que no genere hidrógeno en ningún caso, y cuyo punto de fusión sea mucho más alto que el del zircalloy, manteniendo e incluso mejorando sus buenas propiedades de rigidez, conductividad, etc. Otro factor clave sería poder actuar remotamente por medio de robots. Debería desarrollarse una robótica específica para los accidentes nucleares. En Fukushima ha sido muy útil un conjunto de robots norteamericanos, de tecnología muchísimo menos sofisticada que infinidad de robots japoneses destinados a los juegos y al consumo doméstico.

-Profundiza 1-

Realizar los entrenamientos, capacitación y simulacros con medios realistas

Debido a que el accidente fue más allá de los previstos en los procedimientos existentes y la experiencia previa, fue necesario improvisar para intentar dominar el reactor y recurrir a los conocimientos fundamentales de la planta nuclear a fin de tomar las mejores decisiones. Muchas de las medidas que se tomaron indican que el personal tenía buen nivel de conocimiento y entrenamiento. Sin embargo, se identificaron oportunidades de mejora, ya que los operadores y el personal de respuesta a emergencias reaccionaron dubitativamente ante el impacto del tsunami. La mayor falta de conocimiento se puede achacar a los materiales de entrenamiento y prácticas que no se desarrollaron utilizando el enfoque sistemático necesario para el proceso de formación.

Como parte de la evaluación posterior al accidente, los responsables de la central concluyeron que la capacitación del plan de emergencia no había sido lo suficientemente realista al tratar las situaciones que se vivieron durante el accidente. Por ejemplo, no se había preparado al personal en siniestros simultáneos en múltiples unidades. Los simulacros de los planes de emergencia no entrenaban a los responsables mediante la eliminación de los indicadores, equipamiento e instalaciones que no siempre estarían disponibles. Los simulacros no incluían errores en la

información, o deficiencias en la comunicación al personal del Centro de Respuesta a Emergencias y poder así prepararlos para el trabajo en equipo y las habilidades de diagnóstico.

La preparación del personal se llevaba a cabo a través de un aprendizaje informatizado. Si bien el material de capacitación era muy amplio, no tenía la profundidad ni el nivel de detalle que se necesitaba para instruir sobre la evaluación de parámetros críticos, como las limitaciones de la instrumentación. Por ejemplo, en los materiales de capacitación no se preparaba al personal sobre la falta de los indicadores luminosos indicativos del nivel de presión en la vasija del reactor. La dependencia de la formación informatizada y poco frecuente (cada tres años) hace que la retención del conocimiento y el entendimiento se vean afectados.

Los operadores utilizaron y se entrenaron en simuladores que no se correspondían con el modelo al que finalmente iban destinados, por ejemplo, los operadores del reactor U1 se entrenaba con un simulador del reactor U4, que no contaba con el sistema del condensador de aislamiento.

Reevaluar continuamente la cultura de seguridad nuclear

La historia ha demostrado que los accidentes de las centrales nucleares y sus antecedentes tienen lugar a partir de la toma de una serie de decisiones y medidas que reflejan fallos en los supuestos base, valores y creencias en las organizaciones de operación. Por ejemplo, el accidente de Three Mile Island se produjo por supuestos erróneos sobre la importancia de evitar que el presurizador se llenara completamente, lo que hizo que los operadores cerraran, erróneamente, las bombas de inyección de seguridad que se necesitaban para enfriar el núcleo. El accidente de Chernóbil tuvo que ver con la falta de apreciación de aspectos únicos de la tecnología nuclear (particularmente el control de reactividad) y la importancia de operar la planta de acuerdo con la base de diseño y procedimientos de operación, por lo que se tomó decisiones erróneas para deshabilitar los sistemas de seguridad con el objeto de realizar una evaluación.

Las medidas de TEPCO durante los pasados 10 años sirvieron para fortalecer varios aspectos de la cultura de seguridad nuclear. Desde que se descubrieron falsificaciones de informes en 2002 de las inspecciones para ocultar las grietas en algunos sistemas de los reactores de 13 de sus 17 centrales nucleares, entre ellos los reactores de Fukushima Dai-ichi, TEPCO reforzó los procesos y controles de administración y adoptaron un programa de medidas correctivas y un sistema de mejora de la calidad. En 2008, TEPCO desarrolló unos principios de cultura de seguridad basados en los principios y atributos usados por la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO en sus siglas en inglés).

Un principio importante en la cultura de seguridad debe ser la permanente actitud de cuestionar los supuestos dados por buenos durante mucho tiempo. Los procedimientos operativos de TEPCO, creados en 1994 no contemplaban la posibilidad de una pérdida total y prolongada de electricidad en una central nuclear (Station BlackOut). Cuando los trabajadores acudieron al manual de emergencia, las preguntas que estaban buscando simplemente no estaban allí. Esta falta de previsión no es achacable solo a TEPCO, ya que las directrices de los reguladores

gubernamentales, como NISA y la Comisión de Seguridad Nuclear (NSC), tampoco consideraban un apagón total de un reactor de agua ligera, porque lo razonable es que se retomara enseguida la energía eléctrica por medio de baterías o por los generadores diésel de emergencia.

Garantizar la independencia del AIEA y demás órganos reguladores nacionales

Es de vital importancia que los órganos reguladores se desvinculen de los diferentes gobiernos que fomentan la energía nuclear y de los operadores nucleares, ya que como su propio nombre indica, deben regular el funcionamiento de las centrales nucleares que están bajo su mandato. A pesar de que el artículo 8.2 de la Convención Internacional sobre Seguridad Nuclear exige que los reguladores nucleares nacionales estén separados de los organismos dedicados a promocionar la energía nuclear, no existe un mecanismo internacional efectivo que controle su cumplimiento.

Una de las causas fundamentales del desastre de Fukushima fue la incapacidad del regulador japonés para prever, reconocer y hacer cumplir estándares basados en el riesgo público. Este fracaso puede atribuirse, en parte, a la estrecha relación del regulador japonés con la política del gobierno para fomentar la política nuclear y sus íntimas conexiones con los operadores nucleares. A menudo la industria nuclear está muy interrelacionada con los reguladores debido a la especialización que requiere la tecnología nuclear. Para contrarrestar esta tendencia, se debe separar, a nivel estructural y político, a los reguladores de la seguridad nuclear de la industria que pretende regular.

Desgraciadamente, en muchos países e industrias y no solo en la industria nuclear, es muy común la práctica por la cual los altos funcionarios del Gobierno obtienen puestos de trabajo de alta remuneración en las industrias que anteriormente regularon, mientras que los altos funcionarios de la industria son designados para formar parte de los comités consultivos del Gobierno que diseñan la política gubernamental. Esta práctica es muy peligrosa y habría que hacer el esfuerzo de erradicarla.

6.4 ¿Pudo haberse evitado? Conclusiones.

Una oportunidad perdida

En teoría, durante la década antes del accidente, NISA podría haber instado o requerido a TEPCO que fortaleciese significativamente el diseño de la planta nuclear de Fukushima Dai-ichi. NISA había estado revisando la seguridad de la U1 en relación con una solicitud de TEPCO para extender su vida operacional. Sólo unas semanas antes del accidente, NISA dio a la U1 luz verde para operar durante diez años más.

Japón es un país densamente poblado y altamente industrializado con pocos recursos naturales energéticos. A partir de la década de 1990, y especialmente desde la preocupación sobre la realidad del cambio climático global, el gobierno y la industria de Japón planearon incrementar significativamente la dependencia del país de la energía nuclear. Un componente importante de la estrategia nuclear de Japón fue extender la vida operacional de una veintena de reactores que para el 2012 serían de al menos treinta años de antigüedad y que producirían alrededor de un tercio de la energía eléctrica del país. El reactor U1 de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi comenzó a funcionar en marzo de 1971. Según las normas japonesas, para operar más allá de un período inicial de cuarenta años, TEPCO requeriría la aprobación de los reguladores.

El regulador japonés no impone un límite legal absoluto a los plazos de vida útil de las centrales nucleares del país. En virtud de un acuerdo entre los reguladores y los propietarios de las centrales, antes del final de los treinta años de operación de un reactor, se realiza una "evaluación de la solidez" para determinar si puede continuar funcionando durante un período más largo, que puede llegar hasta los sesenta años según la previsión de los propietarios. La evaluación se centra principalmente en equipos y estructuras y el enfoque está en la seguridad, específicamente en cuestiones relacionadas con el envejecimiento. La atención se centra en los equipos que pueden sufrir una degradación relacionada con la antigüedad y los fallos, no en las debilidades de seguridad relacionadas con el diseño o configuración de la instalación.

Japón no es único en focalizar la atención en el estado de envejecimiento de los equipos durante los exámenes de extensión de vida de los reactores. Esto también se da en otros programas nucleares avanzados. De hecho, las revisiones por pares de la IAEA del sistema regulatorio de algunos países han criticado que los procedimientos para prolongar la vida útil de los reactores más antiguos han dejado de lado otras cuestiones de seguridad y se han centrado demasiado específicamente en el envejecimiento de la planta.

En febrero de 2011, justo un mes antes del accidente de Fukushima, la NISA concedió a TEPCO una prórroga de la licencia de funcionamiento de la U1 de diez años después de una revisión técnica y algunas modificaciones que se llevaron a cabo el año anterior. La ampliación de la licencia fue emitida sobre la base de que TEPCO supervisaría el estado de los componentes críticos durante la vigencia de la ampliación de la licencia. No se basó en una reevaluación de la seguridad de la central ante tsunamis y no requería que TEPCO tomase medidas para aumentar la resistencia de las instalaciones ante tsunamis. En estas circunstancias, habría sido difícil detectar la vulnerabilidad de diseño de la central ante un tsunami usando este sistema.

Las directrices reguladoras del sector nuclear de Japón no dejaban claro ni qué nivel de protección frente a una amenaza de tsunami se requería ni qué pasos TEPCO debía acometer para proteger a la planta de un tsunami. Cuando la Comisión de Seguridad Nuclear de Japón en 2006 incluyó el riesgo de tsunami por primera vez en sus directrices para la seguridad sísmica de las centrales nucleares, el requisito de seguridad ante tsunamis se redactó de forma muy vaga: "Las funciones de seguridad de las instalaciones no se verán afectadas por un tsunami que podría darse, aunque de forma muy rara, durante el periodo de funcionamiento de la instalación".

Después del accidente de Fukushima, el presidente de la Comisión de Seguridad Nuclear señaló que las directrices de seguridad sísmica debían ser revisadas para reflejar una "gran mejora de las actuales medidas para garantizar la seguridad." El gobierno japonés revisó entonces los requisitos para la extensión de la vida útil de las centrales nucleares. El gobierno aprobó un proyecto de ley con requisitos y procedimientos mucho más estrictos que fue presentado al Parlamento nacional de Japón.

¿Cómo se podría haber evitado el accidente?

Aunque Japón fue bastante lento en la adopción de reglamentos adecuados para la protección contra la amenaza de tsunami, no fue por falta de conocimiento de las pautas adecuadas o procesos de revisión. Japón, al igual que muchos otros países avanzados, requiere revisiones periódicas de seguridad para evaluar y actualizar el estado de seguridad de las instalaciones nucleares en intervalos de diez años. De acuerdo con ejecutivos y expertos de seguridad con muchos años de experiencia en programas de energía nuclear fuera de Japón y en la IAEA, y que tienen conocimiento del programa nuclear de Japón, la industria japonesa y el gobierno habrían estado familiarizados con los esfuerzos internacionales para revisar la seguridad de las centrales nucleares ante eventos externos severos. Sobre la base de esta actividad, TEPCO y los reguladores japoneses deberían haber tomado sencillas medidas de ingeniería para proteger mejor a la central nuclear de Fukushima Daiichi antes de que ocurriera el accidente.

Según estos expertos, sobre la base del conocimiento internacional acumulado durante las cuatro décadas de operación de la central nuclear de Fukushima y puesta en práctica en centrales nucleares en otros lugares, TEPCO, alentado por los reguladores japoneses, podría haber tomado algunas o todas de las siguientes acciones para haber protegido sus centrales contra un tsunami:

- Situar los generadores diesel de emergencia y otras fuentes de energía de emergencia a zonas más elevadas del emplazamiento.
- El establecimiento de conexiones estancas entre las fuentes de alimentación de emergencia y la central.
- La construcción de diques y muros de contención para proteger contra un tsunami severo.
- La instalación de equipos de energía de emergencia y bombas de refrigeración en bunkers, edificios o compartimentos estancos dedicados.

Cuando se construyó la central de Fukushima Dai-ichi, los generadores diesel y las baterías de emergencia se instalaron en el suelo dentro del edificio del reactor para protegerlos contra los

terremotos. Los conductos de ventilación en los compartimentos donde se encontraban estos equipos no eran estancos. Mover estos equipos de emergencia a zonas más elevadas no hubiese aumentado su vulnerabilidad ante terremotos, dado que hubiesen estado fijos sobre una plataforma diseñada para resistir éstos.

El valor de acometer tales acciones fue demostrado por las actualizaciones que la empresa Japan Atomic Power Company (JAPC) se encontraba en el proceso de llevar a cabo cuando el tsunami golpeó la costa este de Japón. La central de Tokai-2 de JAPC se encuentra a unas 100 millas al sur de Fukushima y el tsunami que asoló Fukushima también causó inundaciones en Tokai-2. Antes del tsunami, JAPC había aplicado parcialmente planes para levantar un muro para evitar que el agua de un tsunami pudiese inundar dos pozos donde se encuentran las bombas de agua de mar y para hacer que las salas de bombas estancas. El muro se construyó antes del tsunami. El agua entró en uno de los pozos porque los espacios entre las tuberías todavía no eran estancos. En ese pozo, una bomba de agua de mar que proporcionaba refrigeración a un generador diésel de emergencia fue dañado y, por tanto, incapaz de funcionar, lo que obligó a JAPC a apagar el generador. Sin embargo, el otro pozo no se inundó, porque sí se habían finalizado los trabajos de estanqueidad. Esta salvó las bombas de refrigeración de dos generadores diésel. Si JAPC no hubiese llevado a cabo estas mejoras, es casi seguro que habrían perdido los tres generadores diésel de emergencia, resultando en un accidente mucho más grave.

En tan sólo unas pocas semanas después del accidente de Fukushima, los propietarios de las centrales nucleares japonesas comenzaron a anunciar planes concretos para realizar extensos y significativos cambios de diseño en las centrales. En abril de 2011, por ejemplo, Chubu Electric Power Company, la tercera compañía eléctrica de Japón, comenzó a trabajar en la construcción de un dique de 18 metros de altura para proteger su central nuclear de Hamaoka contra un tsunami. Además, la compañía ha trabajado en hacer estancas las salas de grupos electrógenos diésel y de bombas de agua de mar, en instalar bombas de achique en el sótano de los edificios, duplicar las conexiones de la central a la red eléctrica, y añadir otra serie de generadores diesel de emergencia detrás del edificio principal a una altura de 25 metros sobre el nivel del mar. Medidas similares se han llevado a cabo en otras centrales nucleares en Japan.

Si se hubiese considerado la posibilidad de un tsunami, hubiese sido posible llevar a cabo las medidas técnicas para prever un accidente severo. Pero antes del accidente, la voluntad de realizar estos cambios simplemente no existía.

Conclusiones

La combinación de terremoto y tsunami que afectó a la central nuclear de Fukushima Dai-ichi no fue simplemente mala suerte para el programa de energía nuclear japonés, ni fue el caso de un acto imprevisible y fortuito de origen divino imposible de detener por la infraestructura de la central.

A consecuencia del accidente, se han llevado a cabo intensas investigaciones en cuestiones de seguridad nuclear en programas de energía nuclear en todo el mundo que han puesto de

manifiesto las posibles vulnerabilidades de muchos reactores a acontecimientos externos extremos. Sólo en Francia, los reguladores han emitido más de un centenar de nuevas normas, y el propietario de las centrales, Electricité de France (EDF), ha implementado decenas de acciones en 58 centrales con un costo estimado de 10.000 millones de euros.

Pero en Japón, que a diferencia de otros países, no ha revisado de forma sistemática las cuestiones críticas de seguridad ante tsunami en las dos últimas décadas, las debilidades, en evaluación de riesgos y en diseño de planta, fueron mayores. Tanto el propietario, TEPCO, como el regulador, NISA, pese a las advertencias oportunas y a las buenas prácticas en otros lugares sobre los peligros mencionados anteriormente, deberían haberse dado cuenta de que la amenaza de tsunami sobre Fukushima Dai-ichi se había subestimado y que podrían haber protegido la central contra las fuerzas naturales que paralizaron tres reactores sin este tipo de preparación previa.

Las predicciones precisas del riesgo son extremadamente difícil. Siempre es posible, después de los hechos, detectar indicadores de un desastre inminente que, en este caso, incluyen pruebas de que grandes tsunamis inundan la región una vez cada mil años. Sin embargo, las señales de advertencia más claros de riesgo potencial antes del accidente eran de procedimiento: la metodología en Japón para la evaluación de los riesgos de tsunami se retrasó considerablemente por detrás de los estándares internacionales. TEPCO ni siquiera aplicó esta metodología en su totalidad, y NISA mostró poca preocupación por los riesgos de tsunamis. Teniendo en cuenta el legado histórico de Japón con los tsunamis, este último punto, la falta de atención de NISA hacia los tsunamis, debería haber advertido a la Comisión de Seguridad Nuclear (que se supone que actúa como un control de NISA) de que los riesgos potenciales podrían haber sido subestimados.

Independientemente de una cierta homogeneización en las prácticas de seguridad nuclear y estándares entre los programas nucleares avanzados en todo el mundo durante el último medio siglo, siguen existiendo diferencias significativas en la seguridad entre los enfoques de los programas nucleares en Japón, Europa y Estados Unidos. En general, los reguladores europeos parecen tener una voluntad más consistente y expresa para cometer modificaciones y costosas obras de ingeniería para mejorar la seguridad. En los Estados Unidos el enfoque no es para mejorar la seguridad, sino para mantenerla. Allí, las decisiones para hacer mejoras de ingeniería en centrales nucleares, principalmente las significativas y costosas, se basan en cálculos de costos y beneficios y márgenes de seguridad. Este enfoque desalienta la realización las actualizaciones de seguridad que requieran costosos cambios en la ingeniería de las centrales nucleares estadounidenses. Japón no aplica dicho enfoque, pero los reguladores habitualmente no han requerido realizar modificaciones en la ingeniería de las centrales.

Un ex funcionario de seguridad del IAEA con muchos años de experiencia en la evaluación de la seguridad de las centrales nucleares ante fenómenos extremos, planteó preguntas acerca de la voluntad política de Japón para insistir en la necesidad de un consenso internacional para tratar una serie de posibles amenazas externas. Las medidas para mejorar la resistencia a las inundaciones, la pérdida del sumidero de calor, y un Station Blackout se podrían haber identificado de una manera directa y de acuerdo con metodologías reconocidas internacionalmente según lo recomendado por la IAEA. De hecho, inmediatamente después del

accidente, los propietarios de las centrales nucleares de Japón anunciaron planes para tomar medidas que podrían haber evitado un accidente grave de estas características.

Sería erróneo concluir que el accidente en Fukushima reveló un riesgo grave, oculto e intrínseco asociado con la tecnología e infraestructura de la energía nuclear. Con la previsión adecuada de las autoridades y la industria japonesa, parece que el accidente podría haberse evitado. En el momento del accidente, parece ser que la industria japonesa y el gobierno estaban dando pasos tentativos hacia la que podría haber emergido como una opinión de consenso de que las centrales nucleares de Japón no estaban preparados para hacer frente a un tsunami extremo.

Las amenazas externas a las instalaciones nucleares son algo dinámico. En los últimos años, a las amenazas debidas a causas naturales se han sumado las amenazas de sabotaje y terrorismo. En el futuro, van a incluir amenazas locales como resultado del cambio climático global. Tras la catástrofe de Fukushima, Japón, así como todos los demás países con industria nuclear, deben asegurarse de que las centrales nucleares pueden soportar todo tipo de amenazas, incluyendo escenarios multiamenaza que con el accidente de Fukushima ha quedado dramáticamente subrayado que son creíbles pero que hasta ese momento no habían sido considerados en las evaluaciones de las amenazas de muchos programas nucleares en todo el mundo.

PROFUNDIZA 1

Los robots en Fukushima

Durante los primeros días del accidente, un grupo cada vez más numeroso de empleados se encargaron de trabajar en las inmediaciones de los reactores, poniendo en peligro seriamente su vida. Debido a los altos niveles de radiación, estos sólo podían estar un tiempo mínimo y limitado en algunos lugares. Otras zonas, en cambio, están tan contaminadas que todavía hoy y, durante varios años más, no podrán ser visitadas por seres humanos. Aquí es precisamente donde entran en juego los robots controlados remotamente.

Sin embargo, no todos los robots están preparados para meterse de lleno en este tipo de desastres. Muchos de ellos, y hasta el accidente, no incluían protección contra altos niveles de radiación. Y, aunque la incluyan, estamos hablando de cifras tan altas que la circuitería puede resentirse al cabo de unas horas en las zonas más críticas. A esto hay que sumar los escombros, el desconocimiento del estado del interior de las salas de los reactores y la dificultad de las misiones en general.

Incapacidad de los robots japoneses

Siendo Japón un país con muy buena fama en todo lo que se refiere a la robótica, ¿cómo es que tuvieron que recurrir a empleados de carne y hueso durante las primeras horas de la tragedia para evitar que ésta se convirtiera en un desastre mayor? ¿Por qué el primer robot en meterse en los edificios afectados fue un iRobot de origen estadounidense?

Los medios locales fueron bastante críticos en su día con este hecho, citando a expertos que afirmaban que los robots japoneses no venían equipados con protecciones contra la radiación desde hace años. ¿Quiénes estaban preparados? Los estadounidenses, lo que para algunos japoneses fue casi otra tragedia nacional.

"Los robots no deberían tener piernas. Los brazos tienen sentido y la cabeza también. Nosotros no tenemos ruedas, pero los robots pueden. (...) En Japón los robots se usan como símbolo de estatus y como herramientas de marketing. Sus empresas no crean beneficios, sino sueños", decía en 2010, antes del desastre, el CEO de iRobot en una entrevista.

"Cuando escuché que robots extranjeros fueron los primeros en entrar a la primera planta de Fukushima, sentí un gran dolor, así que empecé a pensar qué podría hacer yo para ayudar", dijo por aquel entonces Satoshi Shigemi, ingeniero jefe de Asimo. Desde entonces algunas compañías japonesas se están poniendo las pilas y en los últimos dos años han estado llegando nuevas soluciones diseñadas casi a medida para ayudar en Fukushima.

PackBot y Warrior (iRobot)

PackBot fue el primer robot en entrar al edificio del reactor en 2011, poco después del accidente. Se trata de un robot con diversas funcionalidades y con un brazo robótico muy preciso, todo ello fabricado por iRobot. Su misión en Fukushima es principalmente de reconocimiento: los equiparon con cámaras y con sensores para medir temperatura y niveles de radiación.

Inicialmente se idearon como robots para utilizar en combate, y de hecho son herramientas que utilizan Policía y ejércitos de todo el mundo.

Figura 4. Robot Packbot (izquierda) y Warrior (derecha)

Fuente: Xataka
http://www.xataka.com/robotica-e-ia/los-heroes-roboticos-de-fukushima
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Warrior es una versión más grande, pesada y avanzada del PackBot aunque tiene una estructura similar. Con el gran brazo robótico puede recoger y mover de sitio obstáculos pesados (de hasta 130 kg bajo algunas condiciones) para que otros robots puedan operar. Además, presumen de gran movilidad y aseguran que puede subir hasta escaleras.

Pero no es infalible. El año pasado, un Warrior se atascó en una de sus misiones en Fukushima, quedándose al poco tiempo sin batería. ¿Cómo fue posible esto si estaba enchufado a un cable todo el rato? Por diseño, una vez la batería se carga, se corta la alimentación externa y la única forma de reanudarla una vez se agota la batería es activar manualmente un interruptor, lo que es imposible ya que no se puede acceder a dicha zona. Allí quedó abandonado.

Quince (Chiba Institute of Technology y otros)

Si PackBot fue el primer robot en entrar en la Central Nuclear de Fukushima, Quince tiene el honor de ser el primer robot japonés en hacerlo. Se trata de un robot ideado para rescates y para hacer frente a desastres. Es capaz de subir escaleras, lo que hace que tenga más movilidad que el PackBot, e incluye un brazo que puede utilizar para desplazar escombros o abrir puertas. Su objetivo es explorar y tomar muestras.

Figura 5. Robot Quince

Fuente: Tepco
http://www.tepco.co.jp/en/decommision/principles/robot/above-e.html
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Comenzaron a desarrollarlo en 2006 y en 2012 ya tenían el primer prototipo listo. Después del desastre de Fukushima, y todavía sin modelos comerciales, decidieron utilizarlo allí también a modo de prueba, aunque el hecho de que los operarios no tuvieran suficiente conocimiento sobre el funcionamiento del mismo fue ampliamente criticado por sus creadores. ¿Otro problema adicional? Que no estaba preparado para soportar grandes dosis de radiación, así que tuvieron que "parchearlo" como pudieron, añadiendo materiales y peso.

Propiciado por todo esto, el Quince también protagonizó un accidente en 2011 después de que el cable de comunicación con los operarios se dañara y no se pudiera recuperar el contacto con él. Poco después llegó el Quince 2 con nuevos sensores y más herramientas para recoger muestras. Un tercer modelo incluso viene equipado con un escáner en 3D. Existe otra versión parecida, de nombre Rosemary, que examina y busca fuentes de radiación en los edificios de los reactores.

ASTACO-Sora (Hitachi)

Figura 6. Robot Astaco-Sora

Fuente: Tepco
http://www.tepco.co.jp/en/decommision/principles/robot/above-e.html
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

También para retirar escombros, el ASTACO-Sora llama la atención por sus dos brazos. En cada uno de ellos puede levantar hasta 150kg pero el hecho de que el módulo principal no supere el metro de alto lo hace una solución bastante compacta (y pesada: 2,5 toneladas). Utiliza un motor diesel que le ofrece hasta 15 horas de autonomía.

Robot de cuatro patas (Toshiba)

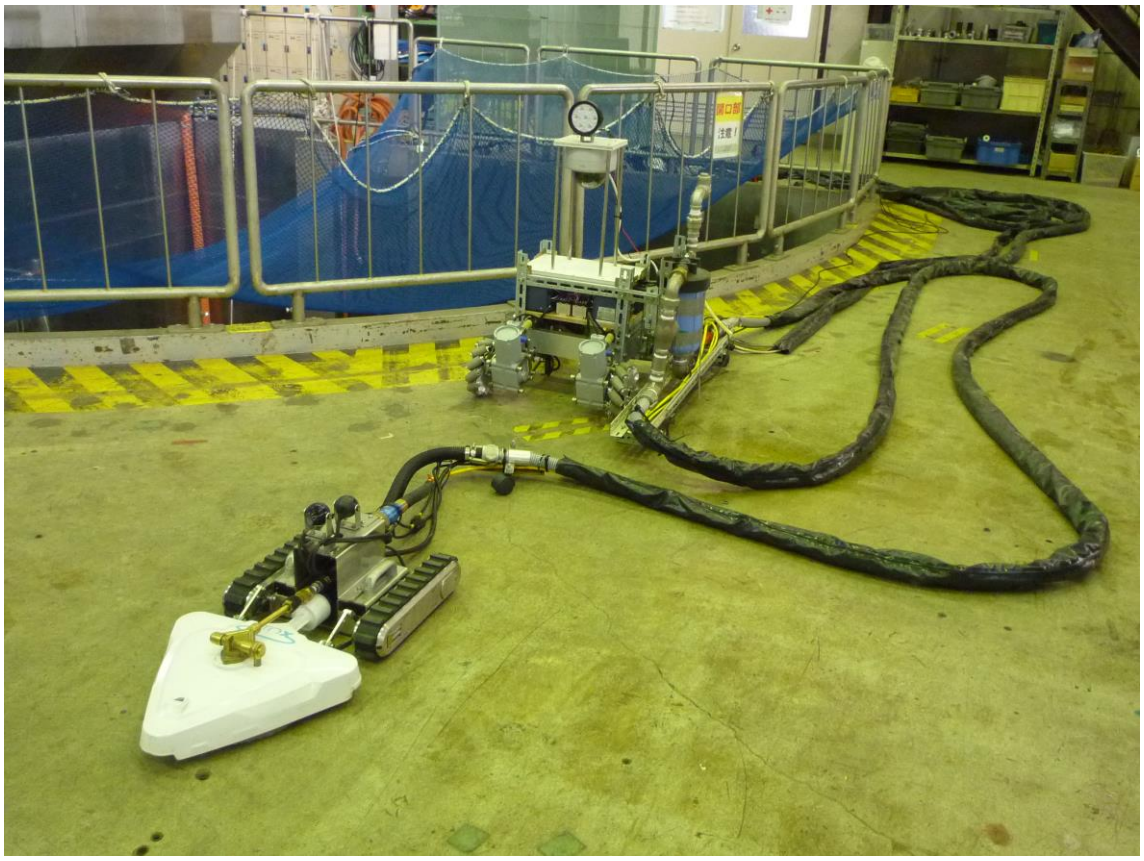
Toshiba, empresa japonesa, fue otra de las que se puso las pilas con las críticas y a finales de 2012 presentó un robot motorizado de cuatro patas con las que puede superar obstáculos con facilidad. Alcanza velocidades de 1km/h y tiene una autonomía de hasta dos horas. En su parte superior se incluye otro mini-robot diseñado para explorar superficies lisas, en este caso con una autonomía de una hora adicional. En Fukushima lo han utilizado para explorar las tuberías de la zona justo debajo del reactor, con el robot principal encargándose de los laterales y el robot secundario moviéndose sobre las propias tuberías.

https://www.youtube.com/watch?v=Uohs8ompwxU

Raccoon (ATOX) y otros robots de descontaminación

Tiene forma de aspiradora... porque es un robot aspiradora gigante. A finales de noviembre de 2013, TEPCO envió el Raccoon a realizar tareas de limpieza. ¿El objetivo? Recuperar el "polvo" contaminado que está esparcido por todo el edificio del reactor 2 de cara a preparar la entrada de técnicos humanos. Su cabeza pesa más de 35 kg y posee dos cabezales.

Figura 7. Robot Racoon



Fuente: Tepco
http://photo.tepco.co.jp/en/date/2013/201311-e/131127-03e.html
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

No es el único robot que TEPCO está empleando para descontaminar algunas zonas. Hitachi, por ejemplo, tiene un robot que expulsa agua a presión, mientras que Toshiba ha optado por otro que utiliza hielo seco. Este material abrasivo se expulsa contra las superficies en una forma innovadora de "rascar" y levantar los materiales contaminados que hayan podido quedar pegados a ellas.

MEISTeR (Mitsubishi)

La opción más robusta de Mitsubishi, preparada además para soportar altos niveles de radiación. Tiene dos brazos robóticos de siete ejes, uno de los cuales puede personalizarse con varias herramientas como taladros o sierras. Puede, por ejemplo, agarrar una tubería con un brazo y cortar el extremo con el otro, por lo que es muy útil para misiones de exploración al poder salvar y retirar obstáculos. Eso sí, no es precisamente ligero: pesa 440 kg.

Figura 8. Robot MEISTeR

Fuente: Tepco
http://photo.tepco.co.jp/en/date/2014/201406-e/140623-01e.html
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

En Fukushima también se está utilizando para descontaminar algunas zonas. Se le ha equipado con una aspiradora para recoger los restos radiactivos más pequeños en el edificio del reactor U3 y también la emisión de un material abrasivo que es capaz de levantar capas contaminadas de algunas superficies. En el reactor U2, en cambio, lo han utilizado para extraer muestras de hormigón para analizar.

Robot de "altos vuelos" (Honda)

Figura 9. Robot de altura Honda

Fuente: Xataka
http://www.xataka.com/robotica-e-ia/los-heroes-roboticos-de-fukushima
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

La compañía Honda construyó un robot con un brazo telescópico capaz de extenderse hasta 7 metros con el fin de alcanzar lugares de gran altitud a los que el resto de robots no pueden llegar. Para ello reutilizaron los sistemas de movimiento que desarrollaron para ASIMO, el robot humanoide.

Robot nadador y robot trepador (Hitachi)

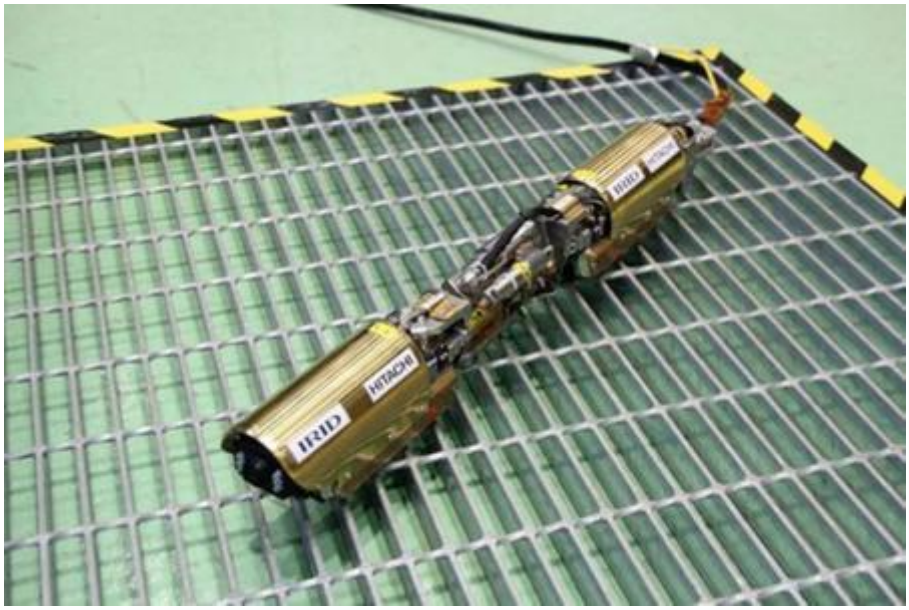
Figura 10. Robot nadador y robot trepador

Fuente: Tepco
http://www.tepco.co.jp/en/decommision/principles/robot/basement-e.html
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Para comprobar el estado del sistema de refrigeración que contiene el agua contaminada en la parte más baja del edificio de contención nuclear, Hitachi diseñó una pareja de robots para que trabajaran a la par en la inspección del reactor 2: uno era sumergible y el otro estaba preparado para trepar por las paredes. En julio de 2014, ambos inspeccionaron la zona entre el reactor y el sistema de refrigeración, tomaron imágenes para que los científicos pudiesen comprobar visualmente el estado y descartaron, mediante el uso de ultrasonidos, la existencia de daños estructurales o filtraciones.

El robot serpiente (Hitachi)

Figura 11. Robot serpiente



Fuente: Xataka
http://www.xataka.com/robotica-e-ia/los-heroes-roboticos-de-fukushima
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Éste es uno de los últimos robots que han visto la luz. En este caso ha sido diseñado específicamente para trabajar en Fukushima. Su forma es realmente curiosa: es una especie de "serpiente" de 60 cm de largo que reptará por las tuberías de 10 cm de diámetro hasta introducirse de lleno dentro del núcleo del reactor 1. Una vez allí, los extremos se pliegan hasta quedar en forma de U y el robot se desplaza gracias a las ruedas que incorpora.

Figura 12. Robot serpiente

Fuente: Xataka
http://www.xataka.com/robotica-e-ia/los-heroes-roboticos-de-fukushima
Esta imagen queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

La operación se realizó en abril del 2015. Ha sido la primera vez que un robot accede al interior del reactor. Lo intentaron en 2012 introduciendo un fibroscopio, pero la calidad de las imágenes era tan mala que apenas pudieron aprovecharlas. Con el nuevo robot, se han tomado fotografías que muestran el estado actual del reactor y también han realizado mediciones de cara a preparar su desmantelamiento. Sin embargo la misión no se pudo completar y el robot dejó de funcionar sin haber terminado todas sus tareas.

Para el resto de reactores se tienen que diseñar otros robots específicos ya que cada uno posee una estructura distinta.

Más información

En este video de TEPCO podemos ver todos los robots (excepto el robot serpiente) en funcionamiento:

https://www.youtube.com/watch?v=scc9cbsBKgM

En este enlace podéis encontrar un folleto (en inglés) del International Research Institute for Nuclear Decommissioning (IRID) sobre los robots desarrollados para las tareas de limpieza en Fukushima.

En su página web (en inglés) TEPCO pone a nuestra disposición información completa sobre todos los robots que están trabajando en las plantas superiores y en la planta baja.