

El papel del reciclado ante los nuevos requisitos post-Fukushima

M. Chiguer y J.L. Casabianca

La gestión del combustible usado es uno de los principales asuntos a los que tienen que hacer frente cada vez con más frecuencia los países y empresas de servicios públicos que explotan o tienen previsto desplegar instalaciones de energía nuclear. Qué hacer con el combustible usado es una cuestión clave que plantea diversos interrogantes.

Además, tras el desastre natural que tuvo lugar en Japón en marzo de 2011, que provocó el accidente nuclear de la central de Fukushima Daiichi, ha quedado claro que las piscinas de los reactores –el punto de partida de la gestión del combustible usado– constituyeron un factor agravante en la difícil situación de emergencia a la que se enfrentaba el operador nuclear. Dichas piscinas resultaron ser mucho más vulnerables de lo que se pensaba.

En este documento, se enumeran brevemente los retos que plantea la gestión del combustible usado en las piscinas de almacenamiento de un reactor en funcionamiento o permanentemente parado, a partir de la experiencia del accidente de Fukushima Daiichi.

Se consideran y presentan soluciones contrastadas que acompañan a las estrategias de reducción de riesgos válidas para una protección adecuada y se establece el equilibrio necesario entre la defensa en profundidad y la evaluación de riesgos, desde la descarga del combustible usado en la piscina hasta el almacenamiento definitivo de los residuos finales.

Basándose en estas premisas y volviendo la vista hacia una gestión de combustible usado más ortodoxa, las empresas operadoras y las partes interesadas deben replantearse la estrategia de gestión del combustible usado y las opciones que la acompañan, empezando por la primera etapa, es decir en la configuración y los requisitos del almacenamiento en las piscinas. Este es uno de los requisitos previos necesarios para aumentar la confianza en las centrales nucleares existentes y para la construcción de nuevas instalaciones.

Used fuel management is ever increasingly one of the major topics that countries and utilities operating or envisaging deployment of a nuclear power park have to face. "What will be done with the used fuel?" is a key question that raises several issues. In addition, since the natural disaster of March 2011 in Japan, followed by the nuclear accident at the Fukushima Daiichi NPP, it has become clear that the reactor pools -the starting point of used fuel management- were an aggravating factor in the very difficult emergency situation faced by the nuclear operator; and that these reactor pools turned out to be far more vulnerable than initially assumed. This paper lists and briefly describes challenges and issues at stake that used Fuel Management will be facing at existing Spent Fuel Pool (SFP) at reactor in operation or permanently shutdown in the light of the accident of Fukushima Daiichi. Proven solutions, going along with risk reduction strategies, are of value to adequate protection and appropriately balance defence-in-depth and risk considerations as far as Used Fuel Management are considered and presented from the unloading of used fuel at SFP, up to the disposal of final waste. Based on this and to come back to a more orthodox Used Fuel Management, utilities as well as stakeholders should rethink Used Fuel Management Strategy and Options going along with, starting at its very first stage, namely the storage configuration and requirements at SFP. This is one of the pre-requisite needed today to help provide more confidence for existing NPPs and for new builds to proceed.

INTRODUCCIÓN

El accidente de Fukushima ha atraído la atención sobre la cuestión de las opciones y estrategias de gestión del combustible usado que afecta de manera general a la industria nuclear y que se resume en, que el combustible usado se percibía, y se percibe, como uno de los problemas cruciales no resueltos del uso de la energía nuclear.

Tras el accidente de Fukushima, es de esperar una reconsideración de las opciones de gestión del combustible usado para que éstas dejen de ser una cuestión secundaria en muchas de las políticas nacionales del ciclo del combustible.

Con independencia de los cambios exigidos por los organismos reguladores de la seguridad de los distintos países con instalaciones nucleares y



MUSTAPHA CHIGUER

tiene más de 25 años de experiencia en la Industria y la Investigación nuclear. M. Chiguer es actualmente director de Proyectos dentro de la International & Commercial Division del Grupo Areva, en París.



JEAN-LOUIS CASABIANCA

tiene un Master's Degree en Econometría y un Advanced Studies Diploma en Economía y Matemática. Es director de Negocios para España en el Business Group Back-End de Areva (segunda parte del ciclo del combustible), encargado de proponer soluciones a la gestión de los combustibles radiactivos usados. Sus áreas de actividad son el reproceso, el reciclaje y la logística.

de los nuevos actores, se fortalecerá la supervisión de la seguridad de las centrales nucleares, haciendo hincapié en la filosofía de la defensa en profundidad, que afecta a las piscinas de desactivación (o piscinas de combustible usado) de las centrales [1, 2 y 3], el verdadero punto de partida de la gestión del combustible usado en una central nuclear.

Este creciente interés por la seguridad del combustible usado está animando a los países con instalaciones nucleares y a las partes interesadas a examinar el excelente historial de tres décadas de reciclado de combustible nuclear usado y su contribución intrínseca a la gestión segura y optimizada del combustible usado. La

gestión segura y optimizada se basa en la transferencia de combustible usado a emplazamientos con mejores condiciones de almacenamiento y en la separación del combustible usado en varios flujos de productos y residuos con criterios de gestión óptimos.

Como concluía en diciembre de 2010 el Comité Técnico de Residuos de la NRC [26] “la información técnica disponible, junto con la experiencia adquirida hasta la fecha en el almacenamiento en seco del combustible usado, demuestra que el combustible usado puede almacenarse de forma segura a corto plazo y después transportarse sin problemas para su almacenamiento, procesamiento o almacenamiento definitivo en depósitos.”

El análisis también concluye que para ampliar el almacenamiento en seco y el transporte del combustible usado, “se necesita, sin embargo, más información que demuestre con un grado de confianza igualmente alto que el combustible usado puede almacenarse en seco durante periodos prolongados sin degradarse hasta el punto de que su comportamiento sea insatisfactorio durante el almacenamiento continuo y el transporte posterior.”

Al optar por reprocesar el combustible nuclear usado lo antes posible y reciclar los materiales reutilizables (concretamente el plutonio y el uranio, con alto potencial energético remanente, que se recuperan mediante el reprocesado), se evita la acumulación de combustible usado a la par que se reduce drásticamente el volumen de residuos, el calor residual y la radiotoxicidad y, en última instancia, se gestionan los residuos de forma más responsable y óptima. Esto se ajusta a uno de los nueve principios establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) [27], que manifestaba que “los residuos radiactivos deben gestionarse de forma que no impongan cargas indebidas a las generaciones futuras”. Los nueve principios del OIEA establecidos en el 1995 se utilizaron posteriormente como base técnica para la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible usado y de residuos radiactivos que entró en vigor en junio de 2001.

Desde sus inicios, el reciclado ha preparado el futuro de la energía nuclear para uso civil y ha demostrado su madurez, especialmente para afrontar los desafíos del siglo XXI: retos de carácter sistémico, como la seguridad, la no acumulación de combustible usado, la no prolifera-

ción, la competitividad, el ahorro de recursos naturales y la seguridad del suministro, así como retos desafortunados y sin duda imprevistos, como aquellos que son consecuencia de la catástrofe de Fukushima.

Con el fin de acomodar los inventarios de combustible usado existentes y de responder a los requisitos actuales y futuros planteados tras la experiencia de Fukushima en relación con la seguridad del combustible usado, Areva ha concentrado sus esfuerzos en los últimos decenios en la mejora del reciclado del combustible y en el desarrollo de soluciones innovadoras para responder a las limitaciones de las plantas, empresas suministradoras y países. Esto se ha ilustrado y se ilustra a través de ejemplos de negocio que describen las diversas soluciones contrastadas y los planes contractuales aplicados para la gestión óptima y segura actual del combustible usado.

ANTECEDENTES Y CUESTIONES EN JUEGO...

....Antes del incidente de Fukushima y durante decenios, el combustible usado se consideró un problema crucial no resuelto en relación con la energía nuclear. Esta conclusión, ampliamente compartida, se basaba en los resultados de varias encuestas de opinión realizadas por gobiernos, instituciones nacionales e internacionales [4, 5 y 6] y la industria nuclear en todos los países con instalaciones nucleares.

Asimismo, quedó patente que la principal causa de reticencia de la opinión pública a la producción de energía nuclear durante el renacimiento

nuclear era la gran acumulación de residuos y combustible nuclear usado (Figura 1), que sigue siendo, de hecho, un asunto delicado en el que se materializan muchos miedos y una cuestión que inquieta en todos los países, con independencia de su posición ante la energía nuclear.

Hasta los sucesos de Fukushima, las preocupaciones estaban suscitadas y orientadas exclusivamente por la parte visible de los inventarios de combustible usado, mientras que la parte oculta del iceberg, la mayoría de las existencias (más del 80%, Figura 1), se acumulaban en piscinas, en espera de una decisión sobre la política nacional de gestión global del combustible usado.

Una encuesta de opinión efectuada en 2010 entre un grupo de individuos “bien informados” familiarizados con la cuestión y un grupo de “expertos” compuesto de representantes de gobiernos locales y nacionales, así como de periodistas de Estados Unidos y de seis países europeos con instalaciones nucleares [6] mostró que estaban a favor de la tecnología de reciclado. Se mostraban favorables a aplicar la tecnología actualmente disponible, para reducir ya los inventarios de combustible usado en lugar de esperar a la aparición de una tecnología que supusiera un salto cualitativo como, por ejemplo, los reactores de IV generación y la tecnología de reciclado avanzada asociada a los mismos, que pudiera resolver todo el problema en el futuro.

Paradójicamente, y a pesar de esta respuesta clara de la opinión pública

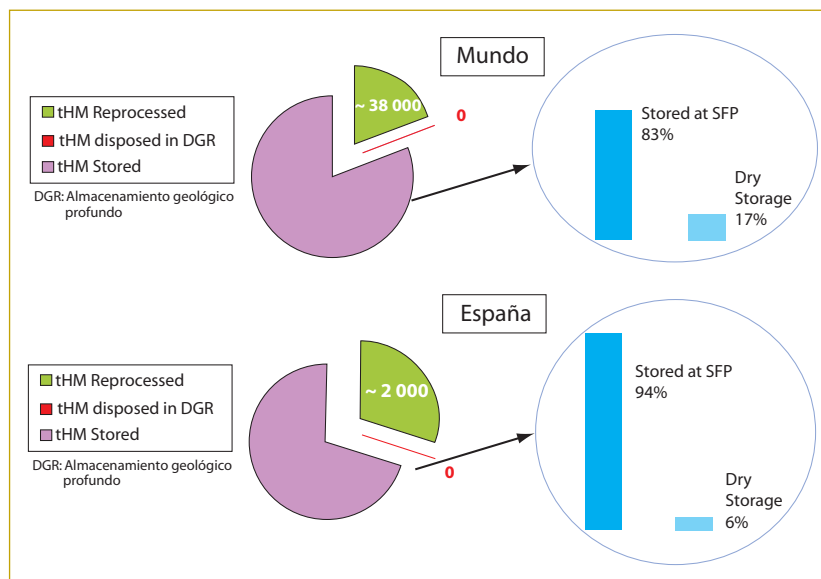


Figura 1. Inventarios mundiales y españoles de combustible usado descargado de LWR a finales de 2011, en toneladas de metal pesado (tHM).

y de personalidades destacadas, la gestión del combustible usado, que es una cuestión crucial en el desarrollo de la energía nuclear, ha sido una cuestión secundaria en muchas políticas nacionales del ciclo del combustible. La estrategia de “esperar y ver” se ha propagado tanto entre los países con instalaciones nucleares como entre los que están desarrollando o aspiran a desarrollar programas de energía nuclear para uso civil.

En la mayor parte de los emplazamientos de las centrales nucleares, la solución provisional ante el aumento de los inventarios en las piscinas ha sido una modificación de los bastidores de almacenamiento del combustible para aumentar las capacidades finales de descarga. Esta solución provisional se ha convertido, por la vía de los hechos, en una solución a largo plazo en la mayoría de los casos, cuando no en una solución permanente en el caso de parada definitiva de los reactores. La consecuencia ha sido un gran aumento de los inventarios de combustible usado y de radionúclidos almacenados en las piscinas de las centrales.

Como demuestra la Figura 1, España está relativamente bien situada en relación con los inventarios de combustible usado existentes a escala mundial. Forma parte de los países que se han beneficiado de las campañas de reproceso realizadas en el pasado (Vandellós 1, en Francia y Garoña y Zorita, en el Reino Unido). Sin embargo, España se sitúa dentro de los países donde se ha llevado a cabo el cambio de bastidores y tiene la mayor parte de su combustible usado en las piscinas de desactivación.

... Después de Fukushima. Cuando se produjo el desastre natural en Japón en marzo de 2011, seguido por el accidente nuclear de la central de Fukushima Daiichi, quedó claro que las piscinas de combustible usado constituyeron un factor agravante en la difícil situación de emergencia a la que se enfrentaba el operador nuclear. Resultaron ser mucho más vulnerables de lo que se creía y han generado preocupaciones sobre escapes radiactivos.

Aunque las consecuencias radiológicas de Fukushima debido a la liberación a la atmósfera procedían sobre todo de los núcleos del reactor, las piscinas supusieron una considerable amenaza potencial, teniendo en cuenta que no existían medios de contención para evitar posibles escapes relacionados con grandes inventarios de radionúclidos en dichas piscinas [1 y 8].

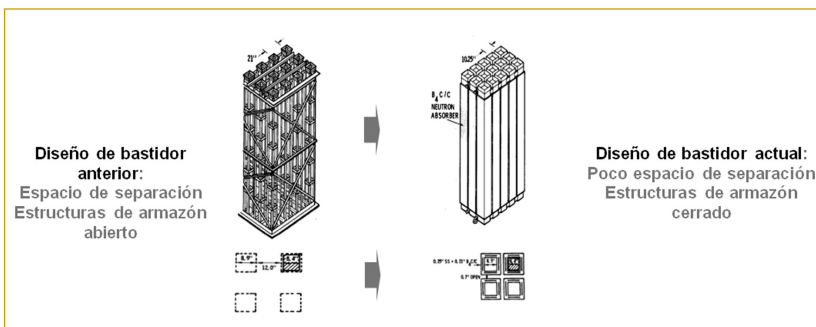


Figura 2 - Bastidor de más alta densidad para acomodar mayores existencias de combustible usado en piscinas [11], caso tipo PWR.

En realidad, aunque la máxima prioridad en Fukushima, tras el terremoto y el tsunami, era el enfriamiento del núcleo del reactor, el operador comprendió rápidamente que otras prioridades eran mantener las piscinas de combustible usado con agua y enfriar adecuadamente el combustible usado. Estas prioridades eran necesarias para contribuir a:

- Mantener la temperatura del recinto por debajo de los 80°C, que es el límite para el acceso humano al recinto de la piscina de combustible usado necesario para vigilancia y control.
- Mantener el blindaje para evitar el escape y la absorción por encima de los límites.
- Proteger la integridad estructural del combustible para evitar escapes y la vuelta a la criticidad.
- Evitar la formación de hidrógeno debido a la oxidación del recubrimiento de circonio expuesto al aire, que tiene como consecuencia la generación de hidrógeno, importante solo a temperaturas elevadas (>650°C), y el posible riesgo de explosión (aunque el fallo estructural del recubrimiento puede producirse a temperaturas de solo 650°C, en caso de carga térmica sostenida durante varias horas [13]).
- Evitar la ignición del combustible debido a la ignición del circonio: el punto de ignición del recubrimiento es de alrededor de 850°C en comparación con punto de fusión del combustible que es superior a 2800°C.

Cinco meses más tarde, el operador todavía tenía que hacer frente a la difícil situación de restablecer las condiciones normales de las piscinas de combustible usado, especialmente en la Unidad 4, a pesar de que ya había transcurrido un periodo de enfriamiento de 10 meses desde la última descarga de combustible usado. Esto explica la conmoción y la sorpresa del público, y en general de las partes

interesadas, potenciadas aún más por la aparente deficiencia del plan de contingencia y la falta de preparación en la planta durante el accidente de Fukushima, que fueron difundidas ampliamente por los medios de información y comunicación. Incluso en la actualidad, tras haber reforzado puntualmente las estructuras de las piscinas de combustible usado existentes, el operador de Fukushima sabe que aún no ha superado la situación y que la retirada de todas las unidades de combustible usado de dichas piscinas sigue siendo un requisito previo para mejorar la seguridad de la central, parada por los daños sufridos en el accidente, y especialmente para hacer frente al riesgo de un nuevo terremoto [3 y 9] teniendo en cuenta que las estructuras y equipos ya han sido seriamente afectados por el accidente de marzo de 2011.

Esto sirve de triste recordatorio de que el combustible utilizado en la mayor parte de los emplazamientos de los reactores podría constituir uno de los mayores riesgos en algunas centrales, como concluyó la Comisión Japonesa de la Energía Atómica (JAEC) y comunicó su presidente al primer ministro japonés el 25 de marzo de 2011 [8]. Lo cual viene a confirmar que la creencia de que “los riesgos vinculados al almacenamiento de combustible usado (en la piscina del reactor) son sumamente pequeños en comparación con los accidentes relacionados con el núcleo del reactor” ya no son válidas, lo que debería llevar a que la gestión del combustible en las piscinas, se considere junto a los parámetros de diseño, instrumentación y configuración de la Planta.

En consecuencia, todas las críticas y deficiencias relacionadas con la gestión de combustible usado que existían con anterioridad al incidente de Fukushima vuelven al primer plano de preocupación de todas las partes interesadas, y especialmente por la opinión pública. Tienen ante sí un

largo recorrido y constituyen el *talón de Aquiles* del desarrollo de la energía nuclear para uso civil.

UN PUNTO DE VISTA COMPARTIDO ORIGINALMENTE: “NO ACUMULACIÓN DE COMBUSTIBLE USADO EN LA PISCINA DE DESACTIVACIÓN”

Tan pronto como comenzó la utilización de la energía nuclear para uso civil, era impensable imaginar la generación de electricidad de procedencia nuclear sin reprocesar el combustible nuclear usado. En todos los países donde se implantaba esta energía, los programas de construcción incluían no solo centrales nucleares sino también instalaciones para el ciclo del combustible, especialmente instalaciones de reprocesado de combustible gastado [10]. Esta visión fue ampliamente compartida por los países europeos y de otras latitudes que desarrollaron e implementaron instalaciones de ciclo del combustible a principios de los años setenta y ochenta. Desde entonces hemos asistido a un auténtico desarrollo conjunto de la especialización y de las instalaciones, no solo en la parte inicial del ciclo del combustible

(enriquecimiento) sino también la parte final de dicho ciclo como dejan patente *Eurochemic* y *United Reprocessors Ltd* y la existencia de otros acuerdos multilaterales [10].

Desgraciadamente, el aplazamiento de la implementación de una estrategia de la parte final del ciclo del combustible, o la estrategia de “esperar y ver”, han dejado sin explorar vías de evacuación fuera del emplazamiento para el combustible usado descargado en las piscinas de desactivación.

En consecuencia, cada vez más centrales nucleares han tenido que enfrentarse al reto de la limitación de espacio de almacenamiento en las piscinas, que es absolutamente necesario para el funcionamiento de las centrales (paradas planificadas para operaciones con lote de carga/descarga, o el mantenimiento preventivo o corrector con espacio obligatorio para una reserva de núcleo completo). Con el fin de acomodar unos inventarios de combustible usado mayores a los previstos y permitir que las centrales nucleares de todo el mundo siguieran en funcionamiento, se diseñaron bastidores de alta densidad y finalmente se autorizó un aumento de la capacidad de almacenamiento de las piscinas de combustible usado.

Así, el diseño de bastidores de almacenamiento en las piscinas de desactivación evolucionó de estructuras abiertas con espacio entre ellas, y por tanto de un diseño de trampa de flujo de neutrones, a contenedores con armazón de acero muy juntos con absorbentes de neutrones para mantener los requisitos de criticidad.

Este nuevo diseño de bastidor se ha extendido y está ampliamente implantado en las centrales nucleares, al igual que sus consecuencias: un cambio fundamental en el diseño y en la configuración del bastidor así como en esas opciones de gestión del combustible usado y en los requisitos de almacenamiento en las piscinas. Ello ha afectado a los márgenes de seguridad conservadores existentes en los análisis de seguridad de las centrales nucleares y, en última instancia, a los análisis de riesgo de accidentes, sobre todo reduciendo drásticamente el periodo de gracia disponible en caso de pérdida de agua o capacidad de refrigeración.

El análisis de riesgos asociados a las piscinas de combustible usado también ha tenido como efecto la reducción de la duración de las paradas para recarga, la ampliación del periodo de vida útil del reactor y el aumento del grado de quemado del combustible descargado.

Además, los propios elementos combustibles (FA) se han hecho más reactivos con aumento del enriquecimiento de ^{235}U , que es un ejemplo obvio al que se añaden otros cambios más sutiles: aumento del diámetro y de la densidad de las pastillas de combustible, aumento del número de varillas por elemento combustible, aumento de uso de absorbentes consumibles fijos e integrales, e incluso cambios en los parámetros de funcionamiento del núcleo debido a los aumentos de la potencia nominal que tienen como consecuencia el almacenamiento de elementos combustibles más activos en la piscina de combustible gastado.

La confluencia de los diversos factores mencionados combinada con la primera lección extraída del accidente nuclear de Fukushima Daiichi, así como de la gestión posterior al accidente hará que la evaluación del margen de seguridad de las piscinas de combustible usado, el análisis de los riesgos de accidente y los requisitos de almacenamiento sean mucho más complejos en comparación con los de hoy en día, y que lleve su tiempo la definición e implementación de cambios completos.

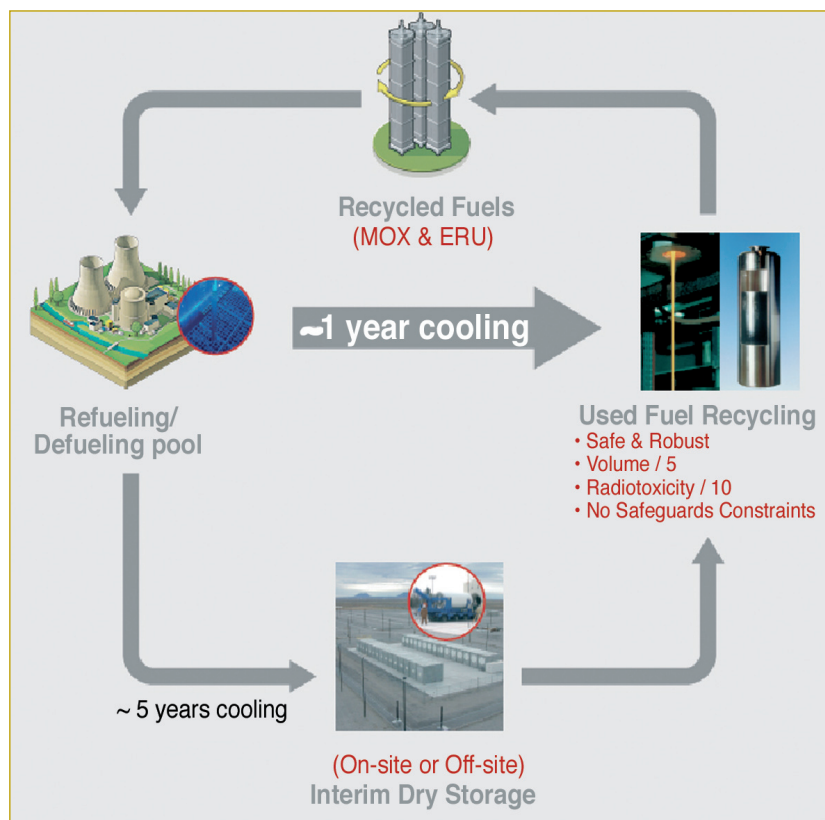


Figura 3 - Estrategia de gestión de combustible usado segura y optimizada. Diagrama de flujo de reciclado o almacenamiento provisional [Ref. 15].

GESTIÓN DE COMBUSTIBLE USADO SEGURA Y OPTIMIZADA

Con independencia de los cambios exigidos por los organismos reguladores, se fortalecerá la supervisión de la seguridad, haciendo hincapié en la filosofía de la defensa en profundidad. La eficacia de la respuesta de las piscinas existentes y futuras, como parte de una nueva instalación, y la eficacia de la estrategia de seguridad preventiva están relacionadas con la mejora de los márgenes de seguridad y la prevención de daños medioambientales, especialmente en situaciones extremas. A continuación se presenta un enfoque de tres pilares en el que se describe una gestión del combustible usado segura y optimizada.

El punto de partida, el reforzamiento de la piscina de combustible usado, con su corolario, la modernización de la instrumentación. Es decir, dotar a la piscina de instrumentación de seguridad que pueda soportar los fenómenos naturales que constituyen la base del diseño, a fin de supervisar de forma remota datos básicos, que son parámetros clave, como los niveles de agua, temperatura y radiación del área. En la mayor parte de los casos, se ha decidido que el inicio de esta modernización debe realizarse sin demoras innecesarias.

El reforzamiento de las piscinas, en sentido estricto, consiste principalmente en el refuerzo de las funciones de enfriamiento, especialmente ante efectos potenciales de sucesos naturales graves (por ejemplo, la pérdida del sumidero final de calor, la pérdida de alimentación eléctrica y condiciones de pérdida completa del suministro de corriente alterna prolongada) y, si es necesario, el refuerzo de la integridad estructural de la piscina para cumplir nuevos requisitos de seguridad.

Estas modernizaciones son principalmente consecuencia de las pruebas de resistencia, de las evaluaciones de seguridad complementarias y de las recomendaciones de prioridad, y están relacionadas con la central.

La segunda y obvia medida, la reducción y segregación del inventario de combustible usado, se está evaluando en muchos países tras las pruebas de estrés y antes del establecimiento de prioridades potenciales junto con otras medidas de reducción de riesgos [23 y 24].

Sí se toma esta decisión, se reducirá definitivamente el inventario, y, por tanto, el calor residual de la piscina;

aumentará el tiempo necesario para alcanzar el punto de ebullición y el tiempo que tarda en evaporarse el agua hasta dejar el combustible protegido, con lo que se ampliará el periodo de gracia. Como ha quedado claramente demostrado en Fukushima, una acción simple como el relleno de agua de la piscina de combustible usado puede ser muy difícil en condiciones extremas y, en dicha situación, es esencial disponer de un periodo de gracia cómodo para actuar con eficacia.

Además, la reducción de combustible usado en las piscinas introduce una segregación clara entre diversos inventarios de combustible usado en la central nuclear y los problemas asociados, especialmente durante las paradas de recarga. Tanto la reducción como la segregación mejoran los parámetros clave relacionados con las probabilidades y consecuencias de escapes de los inventarios de radionúclidos en caso de accidentes en piscinas o plantas. También esto está en sintonía con las conclusiones de la primera reunión internacional de expertos en seguridad de reactores y combustible usado a la vista del accidente de Fukushima Daiichi, organizada por el OIEA, en marzo de 2012 [16 y 25], en la que los expertos nucleares de más de 40 países miembros y cinco organizaciones internacionales hicieron hincapié en los esfuerzos para fijar la prioridad no solo en la prevención de accidentes, sino también en su mitigación.

A la hora de reevaluar y replantear su estrategia de gestión del combustible usado, las empresas eléctricas, así como las partes interesadas deben tener en cuenta el excelente historial de cuatro décadas de reproceso-reciclado de combustible nuclear usado, una solución que contribuye a reducir drásticamente el inventario de combustible usado en las piscinas [17 y 19], incluido el descargado tan solo un año después de su extracción del núcleo del reactor (Figura 3). Al reciclar el combustible usado, benefician de una mayor flexibilidad para la gestión de los inventarios, ya que los plazos pueden adaptarse en función de la gestión del núcleo, del tipo de combustible y del rendimiento y la capacidad de los medios logísticos.

Además de la prevención para la reducción de accidentes y mitigación, el reciclado del combustible usado almacenado actualmente en las piscinas y el uso de la tecnología actual también reduce la necesidad de extracción de uranio natural nuevo gracias a la recuperación del 96% de los materiales

reutilizables todavía presentes en el combustible usado, que ya se ha mencionado. Se recupera concretamente uranio y plutonio para su transformación en combustible ERU (combustible de uranio reprocesado enriquecido) y combustible MOX (combustible de óxido mixto) respectivamente. El 4% restante lo constituyen residuos de alta actividad (HLW) que prácticamente no contienen material fisible, y en consecuencia no están sujetos a salvaguardias del OIEA, ni tienen valor energético para la generación actual y la prevista a medio plazo de reactores e instalaciones del ciclo del combustible.

Así, el reciclado es una contribución positiva a la seguridad del suministro y a la previsibilidad del mercado [17], ya que permite ahorrar hasta un 25% del uranio natural necesario para el reactor, que está sujeto de la volatilidad del mercado del uranio.

En combinación con el depósito final y eso ya desde hace un cierto tiempo, el reciclado de combustible nuclear usado también se ha empleado para reducir drásticamente el volumen de residuos eliminados (10 veces) y la radiotoxicidad (cinco veces) así como el calor residual, una piedra de toque en el almacenamiento seguro a largo plazo, así como en el diseño y construcción del almacenamiento geológico profundo.

Por último, en caso de que la implementación del reciclado no estuviera prevista a corto plazo, las soluciones de almacenamiento en seco centralizado actuales ofrecen una alternativa al almacenamiento en piscinas (Figura 3) para el combustible utilizado antiguo (por ejemplo, con un periodo de enfriamiento de cinco años), que ayudan a las empresas eléctricas a evacuar rápidamente el combustible usado del emplazamiento de las centrales [21, 22 y 23]. Constituyen también, para los organismos nacionales de gestión de residuos nucleares una solución provisional a la acumulación de combustibles usados almacenados o descargados actualmente en piscinas del reactor, a la espera de que se tomen decisiones estratégicas de más calado [20]. El periodo citado, cinco años de enfriamiento antes del almacenamiento en seco, es un promedio que depende de varios parámetros, como el enriquecimiento inicial, el grado de quemado, el diseño del contenedor, los casos de seguridad y los límites de la licencia o las consideraciones económicas.

Es preciso recordar que existen soluciones técnicas contrastadas,

concretamente los servicios de re-procesado y reciclado de combustible usado que pueden aplicarse, que son definitivamente más rápidas que la demostración de seguridad y el control de incertidumbres financieras que acompañan a las soluciones de prolongación del almacenamiento de combustible usado o, peor aún, de almacenamiento indefinido.

La medida final, la mejora de las configuraciones de bastidores en las piscinas de combustible usado.

Tras retirar el combustible usado antiguo almacenado en las piscinas como se ha descrito anteriormente, las empresas eléctricas estarán en posición de mejorar aún más la seguridad intrínseca de la gestión del combustible usado en dichas piscinas, revisando las configuraciones de soportes / cestas y de elementos combustibles y fomentando el diseño de bastidores de almacenamiento que mejoren la transferencia de calor de una piscina drenada y dejen más espacio libre en torno al combustible, para el control de la criticidad y contar con un periodo de gracia adicional en caso de accidente.

CONCLUSIÓN

Para volver a una gestión de combustible usado más ortodoxa, las empresas eléctricas, los organismos reguladores de la seguridad y las partes interesadas deben replantearse la estrategia de gestión del combustible usado y las opciones que la acompañan, empezando por la primera etapa, es decir por la configuración y requisitos para el almacenamiento en las piscinas de desactivación, incluyendo un tiempo de enfriamiento máximo del combustible usado después de su descarga en la piscina, continuando con el emplazamiento en seco fuera del emplazamiento (ATC) y terminando con el almacenamiento final de los residuos de alta actividad. Este es uno de los requisitos previos necesarios actualmente para aumentar la confianza en las centrales nucleares existentes y para la construcción de nuevas instalaciones.

Al retirar el combustible usado descargado y reducir los inventarios de radionúclidos en las piscinas, el re-procesado y reciclado del combustible usado supone una opción para los países y empresas eléctricas, que han aplazado la decisión sobre su estrategia de ciclo del combustible, para recuperar rápidamente una gestión del combustible usado optimizada y más segura.

Al optar por reciclar y, en consecuencia, reducir los inventarios en las piscinas del reactor desde el principio, y por gestionar de forma responsable [27] y óptima los residuos finales, la energía nuclear para uso civil en Europa ha preparado su renacimiento y ha demostrado su madurez para hacer frente a los retos del siglo XXI.

REFERENCIAS

- [1] US NRC, Recommendations for enhancing reactor safety in the 21st century J, 2011
- [2] WENRA Task Force "Stress tests specifications" April, 2011
- [3] Report of Japanese Government to the IAEA, June 2011 at www.iaea.org
- [4] Encuesta en los países miembros de la UE, Eurombarómetro 2005 y 2008 en http://ec.europa.eu/public_opinion
- [5] US DOE/NEI nationwide Opinion Survey conducted by Bisconti Research Inc at www.nei.org
- [6] Nuclear Energy and Recycling opportunities: the perceptions in Europe & the US at www.tns-sofres.com
- [7] UK-ONR Report on implications of Fukushima for the UK nuclear industry Interim report, p.27/106-May 2011
- [8] JAEC, "Contingency scenario outline of Fukushima Daiichi NPP" JAEC's report to Prime Minister of Japan on March 25th 2011.
- [9] TEPCO, "General Plan of the cover for fuel removal of Unit 4 in Fukushima Daiichi NPP" Attachment to Tepco release on April 16, 2012 at www.tepco.co.jp
- [10] WNA annual symposium "recycling, back to the future"; M. Chiguer and al Sep. 2008
- [11] US NRC-NUREG/CR-0649 "Spent Fuel Heatup Following Loss of Water during Storage"
- [12] US-NUREG WASH- 1400 Reactor Safety Study- An assessment of accident in US Commercial Nuclear Power Plants, October 1975
- [13] US NUREG - Severe accidents in SFP in support of Generic Safety issue 2- August 1987
- [14] US NRR action Plan "On Site Spent Fuel Criticality Analyses, TAC- n° ME0372, May 2010
- [15] IAEA International experts' meeting on reactor and spent fuel safety in the light of the accident at the Fukushima Daiichi Accident, M. Chiguer March 2012
- [16] IAEA International experts' meeting on reactor and spent fuel safety in the light of the accident at the Fukushima Daiichi Accident, Chairman's summary R. A. Meserve, March 2012
- [17] Recycling as an option of used fuel Management strategy, Nuclear Engineering & Design V.241 p.1238-1242, T. Zagar, M. Chiguer and al. 2011
- [18] UK-ONR, Japanese earthquake and tsunami: Implications for the UK nuclear industry, Final report, pp. 60/288 Sep. 2011
- [19] ENC 2010, Recycling as an option of used fuel management strategy for Europe, M. Chiguer and al. June 2010
- [20] US-NRC Prioritization of Recommended actions to be taken in response to Fukushima Lessons Learned, Policy Issue, Oct. 2011
- [21] "Tennessee Valley Authority, TVA, considering moving additional spent fuel to dry storage" as reported by Spent Fuel Vol.19 n° 908 May 2012
- [22] US NRC Fukushima Lessons Learned Actions » presentation by W. Borchardt at the International Experts' Meeting organized by the IAEA on March 19-22, 2012
- [23] US NRC on "NTTF identified the early transfer of spent fuel from pools to dry storage as an area to examine » as reported by Spent Fuel Vol.19 n° 909, May 2012
- [24] CSN, the Spanish Nuclear Safety Regulator, Acto del pleno del CSN n°1-208, Madrid October 13, 2011. In addition to Stress tests that could be viewed at www.ensreg.eu
- [25] IAEA International Experts' Meeting- Fukushima Daiichi Accident Spent Fuel Pools – Facts, actions and issues, H. Abe and all, Japan Nuclear Energy Safety Organization, March 2012
- [26] US-NRC, Evaluation of the Technical Basis for Extended Dry Storage and Transportation of used nuclear Fuel, US-Nuclear Waste Technical Review Board, Dec. 2010
- [27] IAEA, The principles of Radioactive Waste Management, Safety Series N° 111-F, Vienna 1995
- [28] US-NRC, Environmental Topical Report for Potential Commercial Spent Nuclear Fuel Reprocessing Facilities in the United States, Final Report, Sep. 2012.■