

LA VULNERABILIDAD DE LAS CENTRALES NUCLEARES DURANTE LOS CONFLICTOS MILITARES

Lecciones de Fukushima Daiichi Enfoque en Zaporizhzhia, Ucrania

Informe - Greenpeace Asia Oriental

por Jan Vande Putte (asesor de protección radiológica y activista nuclear de Greenpeace) Asia Oriental y Greenpeace Bélgica) y Shaun Burnie (especialista nuclear sénior, Greenpeace Asia Oriental)

Ucrania tiene una infraestructura de energía nuclear compleja y de gran escala. Es un país con 15 reactores nucleares operativos de los cuales 9 estaban en operación el 28 de febrero de 2022. Además, el Chernobyl¹ La central nuclear (NPP), con su reactor de la unidad 4 que fue destruido en 1986, se encuentra en Ucrania. Es obvio que en tiempos de guerra, la operación de estos sistemas corre el riesgo de sufrir interrupciones con el potencial de consecuencias significativas, incluso graves.

Las plantas de energía nuclear son algunas de las instalaciones industriales más complejas y sensibles, que requieren un conjunto muy complejo de recursos en estado listo en todo momento para mantenerlas operativas. Esto no se puede garantizar en una guerra.

Una central nuclear en funcionamiento requiere en todo momento de suministro eléctrico para accionar las bombas y suministro de agua para enfriar su combustible nuclear, tanto en el reactor como en la piscina de combustible nuclear gastado adyacente. Incluso cuando el reactor se apaga, hay una enorme cantidad de calor residual en el núcleo de combustible que requiere refrigeración continua. Sin enfriamiento, el agua en el núcleo del reactor (y la piscina de combustible gastado) comienza a calentarse. En el caso de un reactor operativo el calentamiento es rápido. El agua alcanza el punto de ebullición y comienza a evaporarse, y los conjuntos de combustible del reactor nuclear calientes corren el riesgo de quedar expuestos al aire, lo que provocaría una reacción térmica del revestimiento del conjunto de combustible nuclear y la fusión del combustible del núcleo del reactor. En el caso del combustible nuclear en la piscina de combustible gastado,

En marzo de 2011, el terremoto de magnitud 9,0 y el tsunami en Japón provocaron la pérdida de energía del sitio en la planta nuclear Fukushima Daiichi: el sitio ya no estaba conectado a la red. El tsunami que luego golpeó la planta la inundó, incluidos los generadores diésel de emergencia (EDG) y su suministro de combustible, todo lo

¹ Anteriormente conocido por la ortografía alternativa 'Chernobyl'

necesario para alimentar las bombas de enfriamiento.² Incluso con algún nivel de redundancia en caso de que los EDG no estén disponibles, como baterías y bombas accionadas por turbina³, los tres núcleos del reactor que estaban en funcionamiento en el momento del terremoto y la inundación

fundido. El estanque de combustible gastado del reactor 4 estuvo a punto de hervir, lo que habría provocado un desastre nuclear mucho peor que las fusiones en los reactores 1-3.⁴

Por lo tanto, incluso sin daño físico a la planta de energía, como por ejemplo a través de un impacto intencional o accidental de artillería o misiles, una planta de energía nuclear es muy vulnerable a una interrupción de los sistemas de apoyo. Una planta de energía nuclear que está en operación requiere sistemas activos para permanecer funcionando en todo momento. Esto incluye muchos aspectos, no solo la electricidad sino también el agua de refrigeración y la presencia continua de personal calificado para operar la planta. Incluso en condiciones normales de funcionamiento, cientos de trabajadores deben poder llegar a la planta desde sus hogares, lo que evidentemente no es factible en circunstancias de guerra.

En un escenario en el que hubiera una interrupción técnica, que podría ser, por ejemplo, la falla de la red eléctrica o algunos de los generadores diésel no se iniciarían correctamente, necesitaría la capacidad de movilizar rápidamente grandes cantidades de equipos y personal adicional, como Bomberos u operadores de grúas. El ejemplo de Fukushima volvió a demostrar la necesidad de poder traer equipos pesados como grúas gigantes y operadores de grúas especializados, cuerpos de bomberos, bombas pesadas, etc.⁵ Cada interrupción técnica, por el motivo que sea, podría requerir una importante operación logística a nivel nacional que podría verse gravemente comprometida por las actividades de guerra alrededor de la planta de energía. En el contexto de un conflicto armado, no se puede excluir que una central eléctrica quede aislada de la red durante un período de tiempo más prolongado, lo que requeriría que los generadores diésel de emergencia siguieran siendo fiables y tuvieran suficiente suministro de combustible hasta que se restableciera la conexión a la red. establecido.

Las plantas de energía nuclear presentan peligros únicos en términos de las posibles consecuencias resultantes de un accidente severo. Los reactores nucleares y sus depósitos asociados de combustible gastado de alto nivel son vulnerables a los desastres naturales, como demostró Fukushima Daiichi, pero también lo son en

² Dieta de Japón, “La Comisión de Investigación Independiente del Accidente Nuclear de Fukushima de la Dieta Nacional de Japón”, 2012, https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/wp-content/uploads/2012/09/NAIIC_report_lo_res10.pdf

³ OIEA, El accidente nuclear de Fukushima Daiichi. Volumen Técnico 1/5. 2015. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV1-Web.pdf>

⁴ Frank N. von Hippel y Michael Schoeppner, “Reducing the Danger from Fires in Spent Fuel Pools”, Programa de Ciencia y Seguridad Global, Universidad de Princeton, Princeton, NJ, EE. UU., Ciencia y Seguridad Global, 2016, <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs24vonhippel.pdf>

⁵ op.cit. OIEA, 2015

tiempos de conflicto. Este resumen busca explicar algunos de los peligros y posibles consecuencias que existen hoy en día en Ucrania.

Estado actual de la operación de la planta de energía nuclear en Ucrania



There are 4 NPPs in operation in Ukraine, namely:

- Zaporizhzhya NPP
- South-Ukraine NPP
- Rivne NPP
- Khmelnytsky NPP

Fuente: OIEA https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/VI.14-Ukraine_Leonid%20Benkovskiy.pdf

El operador de la planta nuclear de Ucrania, EnergoAtom, informó⁶ el 1 de marzo que sus centrales nucleares de Zaporizhzhia, Rivne, Khmelnytsky y el sur de Ucrania estaban funcionando normalmente. De los quince reactores de potencia comercial en Ucrania, 9 de los 15 reactores operacionales están funcionando actualmente.

Los seis reactores que no estaban operativos al 28 de febrero son:

- Rivne-1: interrupción programada
- Khmelnytsky 2: interrupción programada
- Zaporizhzhia – 5 y 6 –según [EnergoAtom](#), fueron desconectados de la red y apagados el 25 de febrero por razones de “seguridad operativa” (quedando en reserva fría)
- Zaporizhzhia 1: cierre el 27 de febrero según [EnergoAtom para el](#) “mantenimiento programado”.
- Sur de Ucrania: 3 apagados el 26 de febrero (permanece en reserva fría).

⁶ EnergoAtom, "La central nuclear de Zaporizhzhya sigue funcionando con normalidad", 1 de marzo de 2022, véase <https://www.npp.zp.ua/uk/node/5483>

Zaporizhia

La reciente confirmación de un conflicto armado en la región de la ciudad de Energo y Zaporizhzhia plantea el espectro de grandes riesgos para la planta de energía nuclear más grande de Europa en Zaporizhzhia.

Hay seis reactores rusos VVER-1000/320 (unidades 1-6) en el sitio, cada uno con una capacidad de generación de 950 MWe. También hay una instalación de almacenamiento en seco en la planta para combustible nuclear gastado de alto nivel (DSFSF). A partir de 2017, había 2204 toneladas de combustible gastado almacenadas en el sitio: 855 toneladas dentro de las piscinas de combustible gastado y 1349 toneladas en el DSFSF.⁷

Riesgos

Ha habido múltiples problemas de seguridad con los reactores de Zaporizhzhia durante décadas, entre ellos, que estos reactores están envejeciendo, ya que fueron diseñados y construidos entre los años 70 y 90.⁸ De particular preocupación, pero no exclusivamente, en el actual contexto de conflicto, son:

1. Vulnerabilidad a la pérdida de energía eléctrica
2. Almacenamiento de combustible gastado
3. Riesgos de inundación y rotura de presas



Planta nuclear de Zaporizhzhia <https://www.npp.zp.ua/uk/press-center/gallery/plant-site>

⁷ OIEA, “Informe nacional de Ucrania: sobre el cumplimiento de las obligaciones en virtud de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos”, 2017, véase

https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_ukraine_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf

⁸ Para obtener antecedentes y detalles sobre Zaporizhzhia, consulte los archivos de Bankwatch,

<https://bankwatch.org/tag/zaporizhye>

1. Generadores diesel de emergencia

Como se señaló anteriormente, la pérdida de energía eléctrica fuera del sitio requiere la operación de generadores diesel de emergencia. En 2020, la ONG ucraniana EcoAction en Kiev recibió información de denunciantes de la industria nuclear sobre la funcionalidad de los 20 generadores diésel de emergencia AC-5600 en Zaporizhzhia. Producidos por “Diesel Energo” en San Petersburgo, Rusia (antigua Leningrado) su funcionamiento se consideraba no garantizado, principalmente por falta de repuestos. el 24

En septiembre de 2020, el regulador nuclear ucraniano SNRIU publicó en su página oficial de Facebook que uno de los generadores diésel no funcionaba correctamente⁹. Este incidente se calificó como INES 1. En octubre de 2020, en respuesta a una consulta de Greenpeace International,¹⁰ la Inspección Estatal de Regulación Nuclear confirmó las pruebas mensuales y la plena funcionalidad de los generadores diésel. Sin embargo, quedan dudas significativas sobre la confiabilidad de los generadores diesel de Zaporizhzhia, incluido el estado actual de la finalización de las actualizaciones.

Los generadores diesel de Zaporizhzhia deberían haber sido actualizados bajo el Programa de Mejora de Seguridad Consolidado Complejo (CCSUP) de Energoatom, financiado por un préstamo de Euratom (BEI) y BERD de 600 Mln EUR. El BERD es el líder en este programa. En este programa, los diésel deberían haber recibido controles electrónicos modernos. La fecha final de finalización del CCSUP se ha retrasado de 2017 a 2023.

Se informa que los generadores diesel en el sitio en Zaporizhzhia tienen suficiente combustible para siete días.¹¹ Además de los generadores diesel de emergencia en el lugar, la planta nuclear de Zaporizhzhia ha instalado generadores diesel móviles. Estos han sido instalados como consecuencia del evento en Fukushima Daiichi. En 2012, como parte de la evaluación de la prueba de estrés posterior a Fukushima en Ucrania, se informa que habrá 16 unidades de generadores móviles en la planta nuclear de Zaporizhzhia, que funcionarán con combustible diésel durante 8 horas.¹² Si el tanque de combustible diesel se rellena continuamente, se informa que los generadores pueden operar “indefinidamente”. En 2013 se informó que, “Para garantizar el suministro de energía en caso de eventos extremos que puedan causar un apagón a largo plazo en la estación, se utilizarán generadores diésel móviles

⁹ Inspección Estatal de Regulación Nuclear de Ucrania, octubre de 2020, https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=3435209429874103&id=171734492888296

¹⁰ Jan Haverkamp, “Funcionalidad de los generadores diesel en la NPP Zaporizhzhia Solicitud de acceso a la información”, carta de Greenpeace Internacional al Sr. Hryhorii Plachkov, presidente de la Inspección Estatal de Regulación Nuclear de Ucrania, 14 de octubre de 2020.

¹¹ ENSREG, “Peer review country report Stress tests made on European nuclear power plants”, 26 de abril de 2012, véase <https://www.ensreg.eu/sites/default/files/Country%20Report%20UA%20Final.pdf>

¹² *Ibíd.*

separados de 0,4 kV y 6,0 kV para alimentar al menos un panel de distribución de energía de emergencia”.¹³

“En caso de falla o imposibilidad de utilizar generadores diesel regulares, existen medidas para dotar a los sitios de centrales nucleares de unidades móviles de bombeo y generadores diesel. Además, está previsto desarrollar medidas para su reabastecimiento de combustible si se necesita un rendimiento a largo plazo”.¹⁴ Como se señaló en este informe, el funcionamiento de estos sistemas de seguridad, incluido el suministro adicional de combustible durante un conflicto armado, es una preocupación importante.

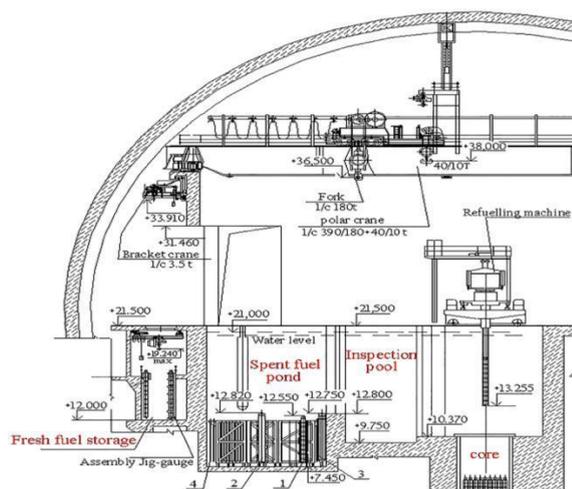
La confiabilidad del equipo instalado en la planta nuclear de Zaporizhzhia ciertamente está en duda, con una evaluación del gobierno austriaco de los riesgos de seguridad en los reactores de Zaporizhzhia que concluyó en 2017 que, “Los documentos proporcionados y disponibles llevan a la conclusión que existe una alta probabilidad de que los escenarios de accidentes se conviertan en un accidente severo que amenace la integridad de la contención y resulte en una gran liberación”¹⁵

2. La vulnerabilidad del combustible nuclear gastado

2.1. Estado del combustible gastado en la planta de Zaporizhzhia

Para el almacenamiento de combustible nuclear gastado, debemos distinguir entre la piscina más pequeña adyacente al reactor nuclear y el almacenamiento más grande a largo plazo (almacenamiento en seco) fuera de la contención.

En el caso de los reactores de Zaporizhzhia, las piscinas se encuentran dentro del edificio de contención del reactor (ver imagen a continuación), donde el combustible gastado muy caliente se enfría durante unos cinco años después de ser descargado del edificio del reactor. Después de eso, el combustible se transfiere a contenedores secos de concreto, que se almacenan al aire libre en el almacenamiento DSFSF en la planta de energía (ver imagen a continuación).



Contención del reactor VVER-1000/320 que muestra la ubicación de la piscina de combustible gastado¹⁶

7, 2013, véase [8Ukraine%29.pdf](#)

ne-Extension Environmental

Impact Assessment Expert Statement, 2017, véase <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0775.pdf>

¹⁶ VVER-1000/V446 evaluación de riesgos de piscinas de combustible gastado y apoyo a través de equipos portátiles de mitigación N. Afshar a, A. Pirouzmand a,b,†, F. Faghghi, 2021, Annals of Nuclear Energy 156 (2021), véase 108204, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454921000803>

En la planta de Zaporizhzhia, hay seis reactores, cada uno de los cuales tiene una piscina de desactivación o enfriamiento en el reactor. Además, hay un área de almacenamiento en seco centralizada, donde se alinean contenedores de almacenamiento en seco de concreto (ver más abajo).



Instalación de almacenamiento en seco (DSFSF) en el sitio de Zaporizhzhia con contenedores de hormigón para almacenamiento en seco

Annex 2. Inventory of Spent Fuel as of 1 July 2017

Material	Location	Number of SFAs	Weight of heavy metal, t
VVER-1000 SFAs	KhNPP Unit 1	433	184.75
VVER-1000 SFAs	KhNPP Unit 2	491	212.56
VVER-440 SFAs	RNPP Unit 1, 2	1217	146.47
VVER-1000 SFAs	RNPP Unit 3	508	212.45
VVER-1000 SFAs	RNPP Unit 4	421	177.79
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 1	270	117.29
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 2	252	111.09
VVER-1000 SFAs	SUNPP Unit 3	424	180.82
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 1	326	141.32
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 2	305	131.65
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 3	356	153.82
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 4	334	144.77
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 5	363	157.25
VVER-1000 SFAs	ZNPP Unit 6	299	129.25
VVER-1000 SFAs	ZNPP DSFSF	3354	1349.87
RBMK-1000 SFAs	ChNPP ISF-1	21284	2396.111
Research reactor VVR-M SFAs	NRI	0	0
Research reactor IR-100 SFAs	SUNEI	0 *	0

Los últimos datos completos disponibles son de 2017, cuando en las piscinas de desactivación o enfriamiento, la cantidad de combustible gastado estaba entre 132 y 157 tHM.¹⁷ Había un total de 2204 toneladas de combustible gastado almacenadas en el sitio: 855 toneladas dentro de las piscinas de combustible gastado y 1349 toneladas en el DSFSF.¹⁸

¹⁷ Op.Cit. OIEA, 2017.

¹⁸ OIEA, “Informe nacional de Ucrania: sobre el cumplimiento de las obligaciones en virtud de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos”, 2017, véase

https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_ukraine_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf

A fines de 2020, había 163 contenedores en el sitio de almacenamiento de DSFSF, que contenían 3.912 elementos combustibles.

Los cofres secos tienen un enfriamiento pasivo, el calor de los 24 elementos combustibles dentro del cofre se estima en menos de 24kW y puede disiparse a través de la circulación de aire alrededor del contenedor sin que el combustible se sobrecaliente. Dicho contenedor podría resultar dañado por una explosión, p. granada antitanque, pero lo más probable es que no provoque una liberación a gran escala comparable a un accidente grave en un reactor o en una piscina de combustible gastado. Por lo tanto, nuestra atención se centra en esta etapa en las piscinas de combustible.

2.2. El caso de la piscina de combustible gastado de Fukushima

Daiichi 4 tras el terremoto del 11 de marzo de 2011

Para evaluar el riesgo de un accidente con combustible gastado, primero observamos lo que sucedió en la piscina de combustible gastado Fukushima Daiichi-4. Esta piscina contenía 2,4 núcleos de combustible, que contenían 900 PBq de Cs-137¹⁹.

Para la piscina de Fukushima-4, había por diseño 7 m de agua por encima de la parte superior del combustible. En un escenario donde el vapor de agua pudiera escapar, los 2MWt de calor elevarían la temperatura de los 1400m³ de agua en la piscina hasta casi hervir en unos tres días.²⁰ Después de eso, la tasa de pérdida de agua por evaporación sería de aproximadamente 0,67 m/día. El nivel del agua habría bajado, descubriendo la mitad del combustible en aproximadamente 16 días o el 27 de marzo de 2011. En ese momento, se habría encendido un fuego descontrolado de zirconio, liberando la mayor parte del Cs-137 radiactivo, así como otros isótopos. Debido a que la contención alrededor de la piscina ya estaba dañada después de una explosión de hidrógeno cuatro días después de que el tsunami golpeará la planta de energía, la radiactividad habría podido escapar más libremente.

Un estudio de la USNRC de 2014 explicó que:

“Si no se restableciera el enfriamiento del combustible gastado, el combustible podría calentarse hasta temperaturas del orden de los 1.000°C. A esta temperatura, el revestimiento de zirconio del combustible gastado comenzaría a reaccionar con el aire en una reacción química altamente exotérmica llamada reacción de oxidación de zirconio fuera de control o ignición autocatalítica. Este escenario de accidente a menudo se denomina "incendio de circonio en una piscina de combustible gastado". Los aerosoles y vapores radiactivos liberados del combustible

¹⁹ Frank N. von Hippel y Michael Schoeppner, “Reducing the Danger from Fires in Spent Fuel Pools”, Programa de Ciencia y Seguridad Global, Universidad de Princeton, Princeton, NJ, EE. UU., Ciencia y Seguridad Global, 2016, <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs24vonhippel.pdf> (pág. 143)

²⁰ Ibídem

gastado dañado podrían transportarse por todo el edificio de la piscina de combustible gastado y al entorno circundante.”²¹

Esto no es lo que pasó.

Una grúa especial logró agregar más agua a la piscina, pero también hubo otra fuente de agua no intencional que evitó que el combustible se incendiara. Se puede considerar como un "casi accidente" porque el nivel del agua alcanzó el 22 de abril un nivel de solo 1,5 m por encima de la parte superior de los elementos combustibles.²²

En el siguiente gráfico, se presenta el nivel de agua real frente al nivel de agua calculado (incluida el agua añadida). La línea punteada muestra que sin el agua añadida, el combustible habría estado medio expuesto al aire alrededor del 27 de marzo.²³

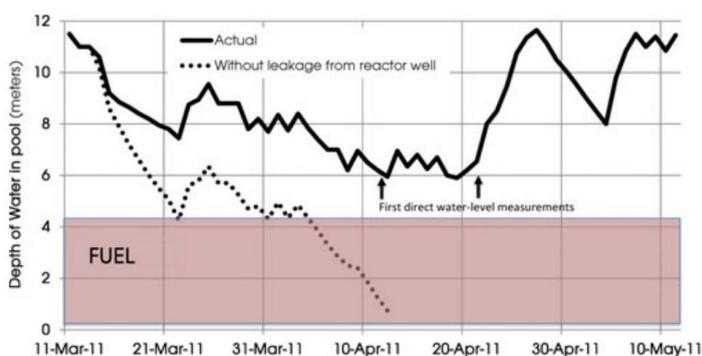


Figure 2. Solid line: TEPCO reconstruction of the history of the water level in pool 4 during the two months after the earthquake.²¹ The arrows show the first actual measurements, the first of which was made on 12 April and the second on 22 April. The dotted line below shows an estimate in the National Academy of Sciences report of the amount of water that would have been in the pool in the absence of water leaking into the pool from the adjacent reactor well.²²

²¹Ibídem

²²Ibídem

²³Ibídem

2.3. Consecuencias de una liberación a gran escala de una piscina de combustible gastado

Se ha llevado a cabo una amplia investigación sobre el casi desastre en la piscina de combustible gastado de Fukushima Daiichi-4. La siguiente simulación compara a la izquierda la liberación real de las fusiones de los reactores 1-3. Allí, en promedio, solo se liberó el 2% del inventario de Cs-137. En el mapa del medio, la simulación muestra la deposición si la liberación hubiera ocurrido el 9 de abril y en el mapa de la derecha, y si la liberación hubiera ocurrido el 19 de marzo con una contención abierta y el viento soplando hacia Tokio. El grupo contenía 2,4 núcleos y 900 PBq.²⁴

Los mapas a continuación muestran en rojo el área por encima de 1,000kBq/m². A petición del entonces primer ministro japonés Naoto Kan, Shunsuke Kondo, presidente de la Comisión de Energía Atómica de Japón, calculó que si se aplicaran los criterios utilizados alrededor de Chernobyl para la evacuación obligatoria a largo plazo, el área por encima de 1.480kBq/m² tendría que ser permanentemente evacuada, que se extendería hasta 170 km desde la central (por lo tanto, no toda la zona roja).

Está claro en los mapas a continuación, que un accidente en una piscina de combustible, incluso si contiene menos combustible gastado almacenado como fue el caso en la piscina Fukushima Daiichi-4, la liberación de Cs-137 de un incendio de zirconio sería a una escala sin precedentes. . Debido a la vida media relativamente corta del yodo-131 (ocho días), habría niveles muy bajos en las piscinas de combustible gastado, y solo para el combustible descargado más recientemente.

148  F. N. VON HIPPEL AND M. SCHOEPPNER

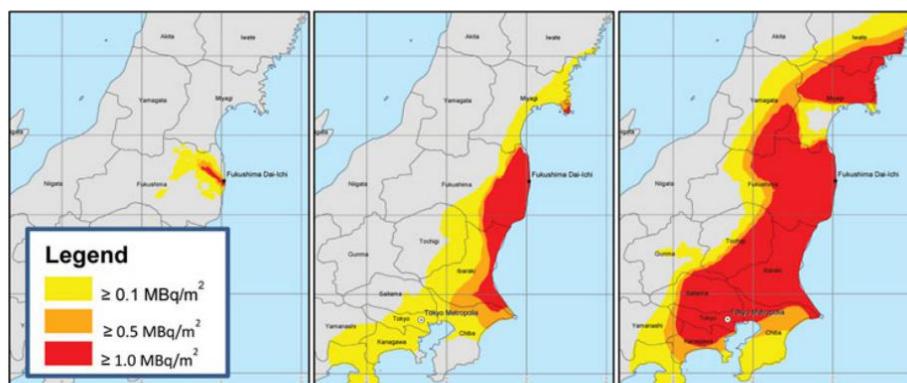


Figure 5. Left: Actual contamination levels after the Fukushima Daiichi accident.³³ Middle: Contamination levels after a hypothetical spent fuel fire in pool 4 starting, as per the scenario in Figure 4, on 9 April 2011 when the wind was blowing mostly to sea. Right: Contamination levels after a hypothetical spent fuel fire in pool 4 starting on 19 March 2011 when the wind was blowing toward Tokyo. This is a scenario that physically could only have occurred had there been a leak in pool 4. The maps show the levels of cesium-137 contamination with the red areas contaminated to above 1 MBq/m², which led to compulsory relocation for the actual accident. The orange areas are contaminated to between 0.5 and 1 MBq/m². The huge difference in the areas contaminated above 1 MBq/m² in the left and right figures is due to the fact that the destruction of the roof and walls surrounding pool 4 by a hydrogen explosion would have allowed the cesium-137 in the pool to be released directly into the atmosphere. In contrast, the primary containments of reactors 1–3 at Fukushima Daiichi released on average only about 2% of their core inventories of cesium-137.

²⁴ *Ibidem*

2.4. Importancia para Zaporizhzhia

La vulnerabilidad de una piscina de combustible gastado depende en gran medida de parámetros clave como el quemado del combustible y, especialmente, la densidad del combustible dentro de la piscina gastada y la fecha en la que se descargó el último lote del reactor a la piscina. El quemado es un factor crítico y se refiere a la cantidad de energía generada con una tonelada de combustible nuclear, que es equivalente a la cantidad de radiactividad en el combustible y su generación de calor residual. Este es uno de los principales factores que determina la generación de calor del combustible y el inventario radiológico. Se da como Gigavatios por día por tonelada de metal pesado - GWd/ tHM.

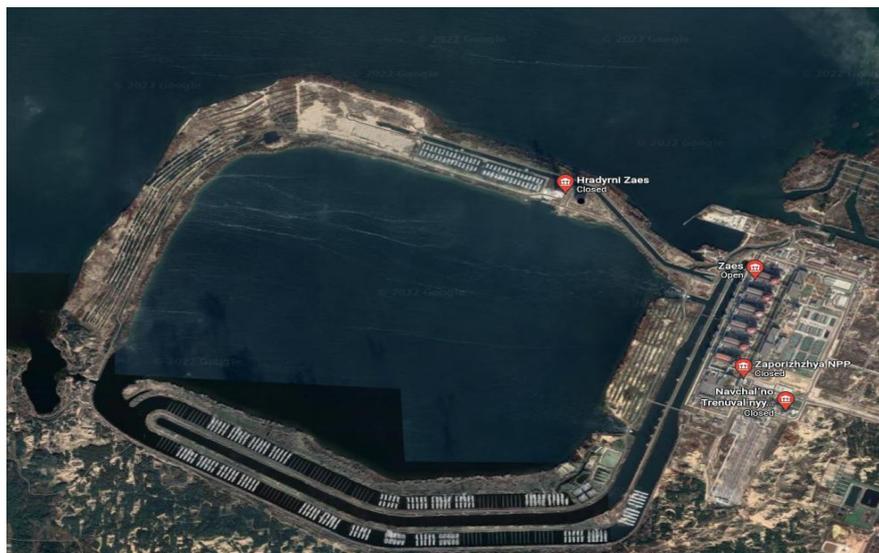
Comparar el inventario de piscinas Fukushima-Daiichi-4 con las piscinas VVER-1000 y la rapidez con la que se evaporaría el agua de enfriamiento en caso de un corte de energía prolongado es complejo, dadas las muchas variables, y está más allá del alcance de este informe. Entonces, la analogía con el combustible gastado en Fukushima Daiichi-4 es solo una indicación aproximada de los riesgos en la planta de energía nuclear de Ucrania.

La cantidad de combustible gastado en cada una de las piscinas de los seis reactores de Zaporizhzhia oscila entre 132 y 157 toneladas en 2017, y en total hay 855 toneladas de combustible gastado en las seis piscinas. Estos son los últimos datos disponibles públicamente a los que tenemos acceso. Sin datos precisos no es posible decir cuál es el inventario radiológico de este combustible gastado, sin embargo, en nuestra revisión de la literatura científica y técnica de las últimas dos décadas parece que el promedio de quemado de combustible del combustible nuclear utilizado durante los últimos 20 años en Zaporizhzhia es 44-49GWd/tHM²⁵. Esto es comparable, y quizás más alto, que el combustible nuclear en las piscinas de Fukushima Daiichi.

En el caso de una pérdida de enfriamiento y el consiguiente incendio en cualquiera de las piscinas de combustible gastado en Zaporizhzhia, la posibilidad de una liberación muy grande de radiactividad tendría un efecto devastador no solo en Ucrania sino también en sus países vecinos, incluida Rusia, y potencialmente, en función de las condiciones meteorológicas y de la dirección del viento, en gran parte de Europa. Nuevamente, se debe enfatizar que en el caso de un incidente tan catastrófico, es posible que se deba evacuar toda la planta de energía y que se produzca una cascada de accidentes similares en las otras cinco piscinas, así como en los seis reactores.

²⁵OIEA, Conferencia Internacional sobre Almacenamiento de Combustible Gastado de Reactores de Potencia. 2003, pág. 91

3. Riesgo de inundaciones y rotura de presas



El vasto sistema del río Dnipro es muy vulnerable a las inundaciones. Los reactores de Zaporizhzhia están ubicados en el embalse de Kakhovka, que está conectado con el río Dnipro. Se han realizado evaluaciones sobre las medidas necesarias para reducir los riesgos de inundación para el sistema Dnipro, en particular durante las grandes inundaciones de primavera.²⁶ En una situación de inundación, los equipos capaces de garantizar la seguridad de los reactores nucleares deben permanecer operativos, por lo que los dispositivos de protección necesarios deben permanecer operativos y actuar, cuando sea necesario, para salvaguardar frente a las diversas circunstancias imprevistas que podrían provocar la inundación o para mantener las funciones esenciales mientras y si la planta se inunda. Esta protección se basa en varias líneas de defensa (terraplenes, muros, redes de drenaje de agua, etc.), incluida la protección volumétrica que engloba los edificios que contienen equipos capaces de garantizar la seguridad del reactor.²⁷

Además del riesgo de inundación en el sitio, existe el riesgo de que se dañen las presas en el sistema de embalse de Dnipro. El agua de refrigeración para los reactores de Zaporizhzhia se bombea desde el depósito y otros cinco depósitos están ubicados aguas arriba de la planta nuclear. Debido a que la planta de energía depende de los embalses llenos, cualquier ruptura de sus presas podría tener un

²⁶ Anna Poludenko, “¿Cómo evitar un desastre natural?”, 2012, <https://day.kyiv.ua/uk/article/cuspilstvo/vak-uniknuti-prirodnovi-katastrofi>

²⁷ John Large, “Vulnerability Of French Nuclear Power Plants To Aircraft Crash”, Greenpeace Francia, 2012, véase <https://www.sortirdunucleaire.org/docrestreint.api/19594/3ddda3a0406787005202fed39d1792fc1821afd3/pdf/largej-greenpeace-2016-04-26-vulnerability-of-french-npps-to-aircraft-crash.pdf>; y NRC,

efecto adverso en el suministro de agua de refrigeración del reactor.²⁸ lo que tendría graves consecuencias potenciales para los reactores.

“Informe de análisis de detección para la cuestión genérica propuesta sobre inundaciones de sitios de plantas de energía nuclear después de fallas de presas aguas arriba”, 2011, Richard H. Perkins, PE Michelle T. Bensi, Ph.D. Jacob Philip, PE Selim Sancaktar, Ph.D, ver <https://www.nrc.gov/docs/ML1218/ML12188A239.pdf>

²⁸Instituto Oko, “Seguridad nuclear en regiones en crisis”, abril de 2017, véase <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Nuclear-safety-in-crisis-regions.pdf>