



UNIDAD DIDÁCTICA 5

RECUPERACIÓN TRAS EL ACCIDENTE



Introducción



Vídeo Introducción: <https://www.youtube.com/watch?v=N1tWu2EiE>

5.1 Etapas iniciales

Desde los primeros días tras el accidente en la central nuclear de Fukushima, se empezaron a dar pasos para tratar de restablecer el control sobre los reactores, comenzando por intentar restablecer el suministro eléctrico. El jueves 17 de marzo se logró restablecer un primer tendido de alta tensión hasta el reactor 2. A partir de ese momento, el principal objetivo fue poder establecer sistemas de refrigeración, que inicialmente hubieron de utilizar agua de mar.

El 17 abril de 2011, TEPCO presentó la hoja de ruta para la recuperación de la central, que estaba basada en esencia en tres grandes cuestiones:

- Recuperar la refrigeración de los reactores.
- Recuperar la refrigeración de las piscinas.
- Reciclar y reducir la cantidad de agua acumulada y prevenir la contaminación de acuíferos y escapes subterráneos de agua acumulada así como de nuevos escapes atmosféricos.

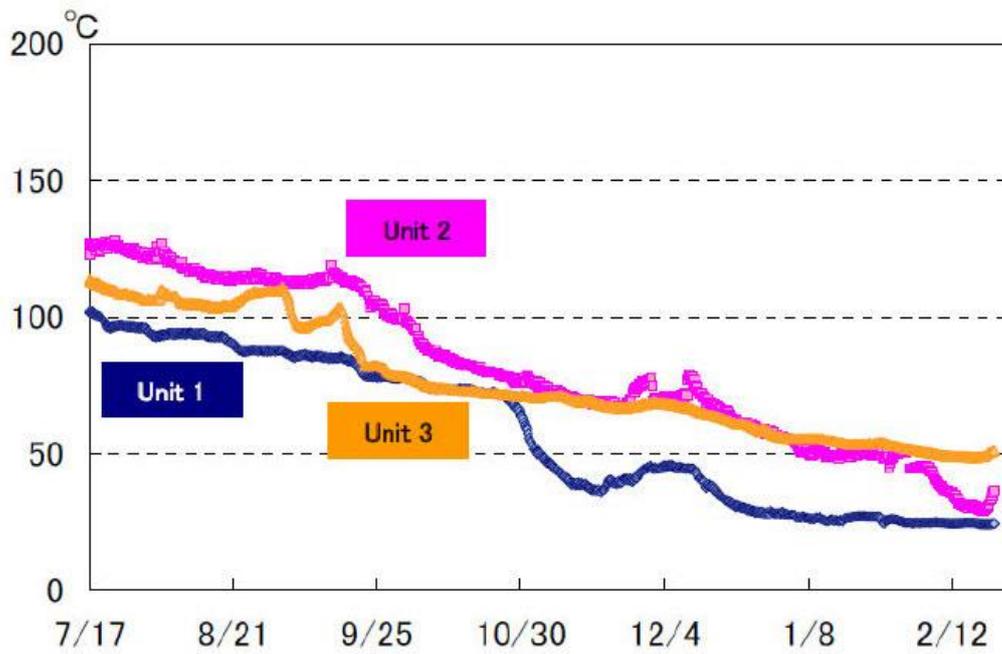
Estas actuaciones han requerido un esfuerzo sin precedentes, en condiciones muy precarias y delicadas desde el punto de vista radiológico, pese a lo cual el 15 diciembre de 2011 se pudo declarar el estado de parada fría de los reactores y la conclusión de las dos primeras etapas del plan.

Recuperar la refrigeración de los reactores.

En una primera fase, la estrategia para poder refrigerar los reactores se basó en conseguir inundar la vasija de contención, o «pozo seco», hasta un nivel superior al que originariamente ocupaba el núcleo de los mismos. De esa manera, se buscaba extraer el calor aunque fuese desde el exterior de la vasija. Sin embargo, la gran cantidad de agua inyectada, fundamentalmente mediante equipos externos como bombas de lucha contra incendios y otros, unida a los daños que las contenciones habían sufrido, provocó un trasvase de grandes cantidades de agua con niveles de contaminación muy elevados hacia los edificios de turbina y auxiliares. Por ello, el objetivo que el plan de control establecía era conseguir recircular dicha agua, depurándola y desalándola, para seguir empleándola en la refrigeración de los reactores. Esto se consiguió a partir de finales de junio de 2011 y constituyó un hito fundamental en la lucha contra la acumulación de agua fuertemente contaminada.

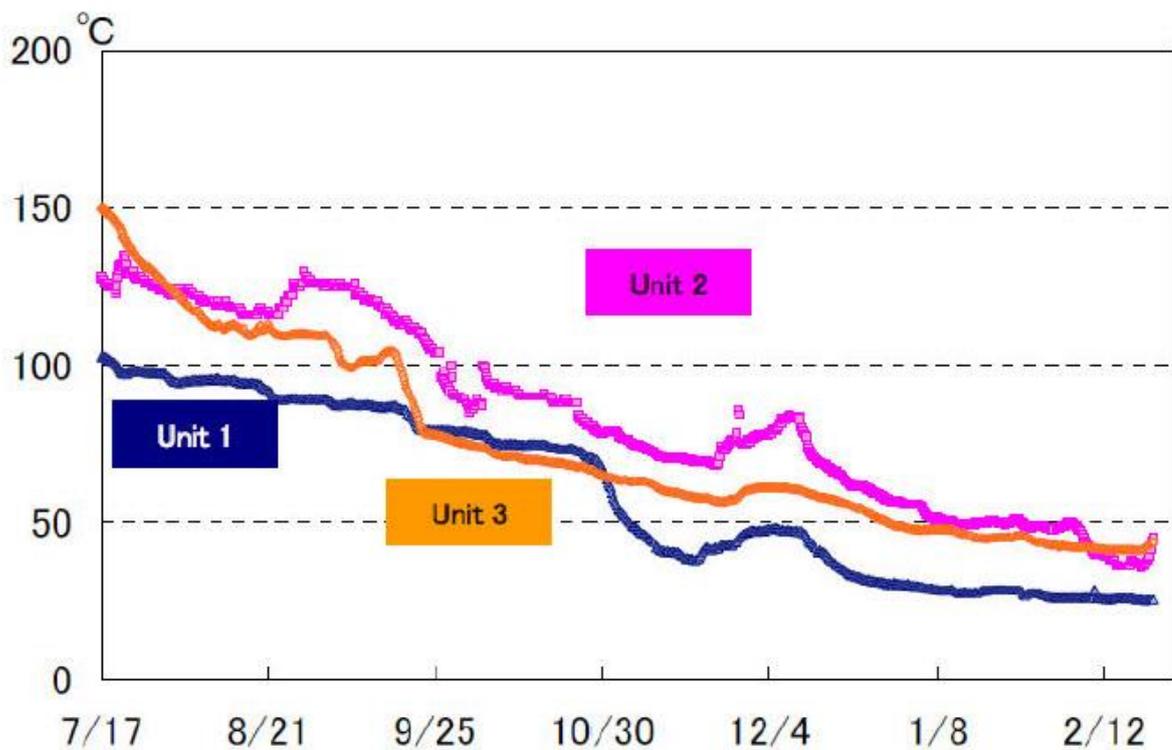
La inyección de agua continuó a través de las líneas de agua de alimentación, y desde septiembre también a través del sistema de rociado del núcleo en los reactores 2 y 3. Los caudales de agua inyectada fueron de hasta 10 m³/h, lo que permitió mantener las temperaturas del fondo de las vasijas en valores del orden o inferiores a 50 °C (figura 1) y las temperaturas medias de los pozos secos en valores incluso más bajos (figura 2) .

Figura 1. Evolución de la temperatura en el núcleo de los reactores.



Fuente: TEPCO
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Figura 2. Evolución de la temperatura en los pozos secos.



Fuente: TEPCO
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Recuperar la refrigeración de las piscinas

El estado del combustible almacenado en las piscinas de enfriamiento no era tan malo de lo que en un principio se temió. Particularmente crítica era la situación de la piscina del reactor U4, en cuyo edificio se produjo una de las mayores explosiones del accidente, y que además albergaba el mayor número de elementos combustibles y los más calientes ya que dicho reactor se había vaciado para labores de mantenimiento. Sin embargo, al cabo del tiempo se ha conseguido pasar de inyectar agua con medios inusuales a establecer un sistema estable de refrigeración en circuito cerrado, ya disponible en todas las piscinas a partir de agosto del 2011. Con ello, se utilizó el propio cambiador de calor de las piscinas, habiendo establecido un circuito secundario refrigerado por aire con torres de tiro forzado. Las temperaturas del agua de las piscinas a finales de febrero del 2012 estaban entre los 14 y los 26 °C, lo cual era una garantía. Además, se habían instalado sistemas de desalación del agua mediante ósmosis inversa, necesarios para reducir la concentración de cloruros cuya influencia sobre la integridad de las vainas de combustible en el largo plazo podría ser nefasta.

Reciclar y reducir la cantidad de agua acumulada.

La acumulación de agua en los edificios del reactor, turbinas y auxiliares, unida a su pérdida de esta entidad debido a los daños causados por el terremoto y posterior tsunami, ocasionaron escapes directos al mar de agua fuertemente contaminada, de gran importancia en los primeros días de abril, e incluso en el mes de mayo de 2011. Por ello, uno de los principales objetivos ha sido reducir la cantidad total de agua acumulada, facilitando al máximo su reutilización. Ha sido necesario instalar plantas para el tratamiento continuo mediante separación de aceite y materia grasa, absorción de cesio, coagulación y precipitación de partículas, desalado y evaporación. Estos tratamientos se han mostrado muy eficaces pues lograron, por ejemplo, reducir significativamente la contaminación de mediante la ósmosis inversa y la evaporación.

El agua que llega al interior de los edificios de los reactores dañados queda contaminada y plantea un problema particularmente difícil debido a los grandes volúmenes de que se trata. A principios del 2016, el agua seguía entrando en los edificios de los reactores de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi de dos formas distintas: el agua que se inyectaba en los núcleos de los reactores con fines de refrigeración y el agua subterránea.

Antes del accidente, el agua subterránea que llegaba desde las laderas de las montañas hasta la parte posterior de la central nuclear de Fukushima Daiichi se bombeaba a un ritmo de aproximadamente 850 m³/día desde las tuberías de drenaje subterráneo instaladas alrededor de los edificios de las Unidades U1 a U4 para controlar el nivel del agua subterránea. Como consecuencia del accidente dejaron de funcionar esas tuberías y bombas, que suprimían la flotación del edificio e impedían el acceso del agua subterránea a los edificios.

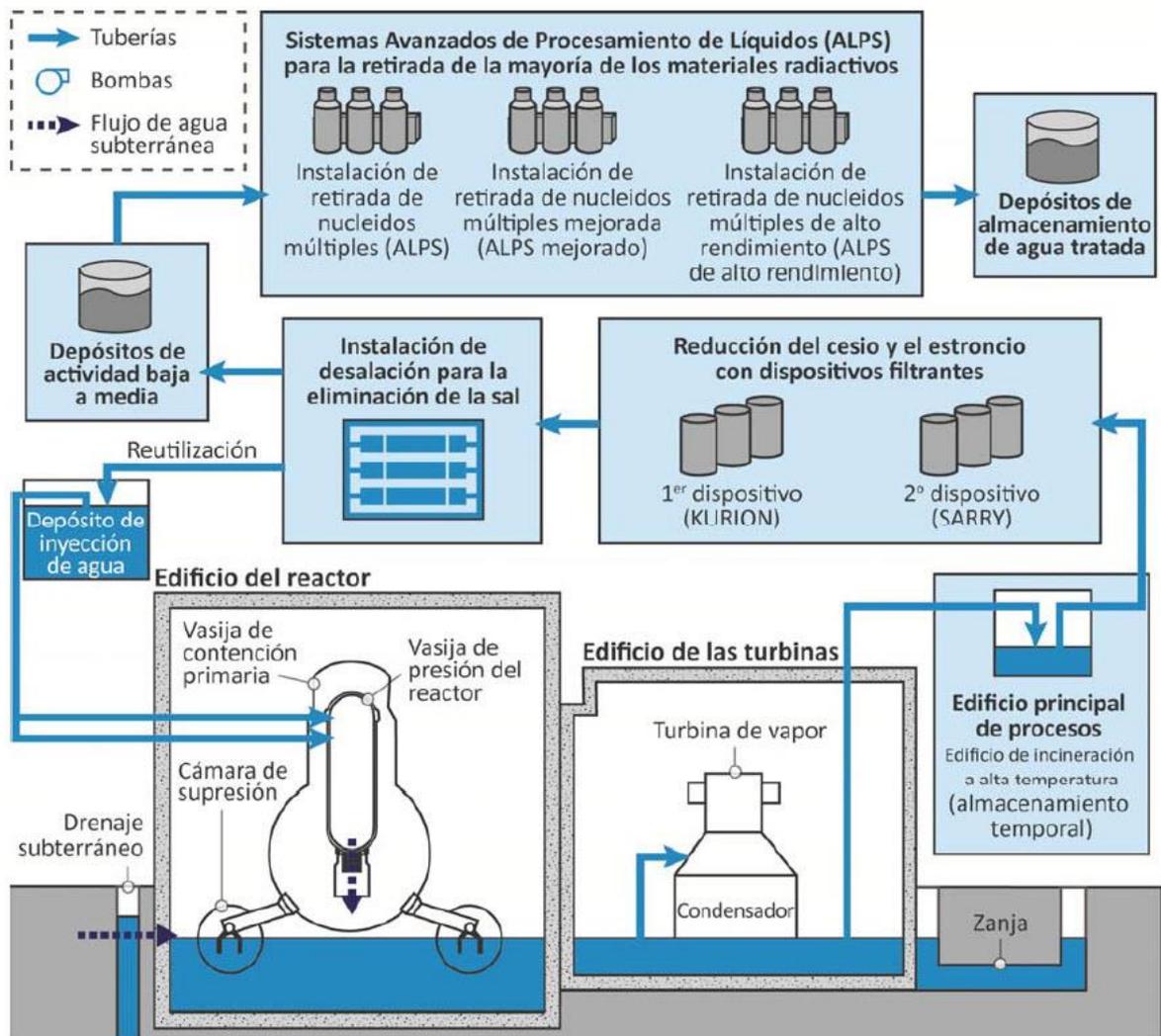
Después del accidente, comenzaron a entrar aproximadamente 400 m³/día de agua subterránea no contaminada en los edificios. Además, se hacen circular alrededor de 400 m³/día de agua entre los reactores de las Unidades 1 a 3 con fines de refrigeración. La mezcla del agua subterránea que entra en los edificios con el agua en circulación utilizada para

refrigerar los reactores da lugar a un volumen total de aproximadamente 800 m³/día de agua contaminada que es preciso gestionar. Alrededor de 400 m³/día de esta agua se reinyectan en los reactores para refrigerar el combustible y los restos de combustible, y los otros 400 m³/día se almacenan en los depósitos de almacenamiento de agua contaminada.

El agua se somete a tratamiento para extraer los radionucleidos, con la excepción del tritio, que no se puede extraer. En febrero de 2015 existían 826 depósitos de agua tratada en el emplazamiento.

En la figura 3 podemos ver el esquema de funcionamiento del sistema de tratamiento del agua contaminada.

Figura 3. Tratamiento del agua contaminada.



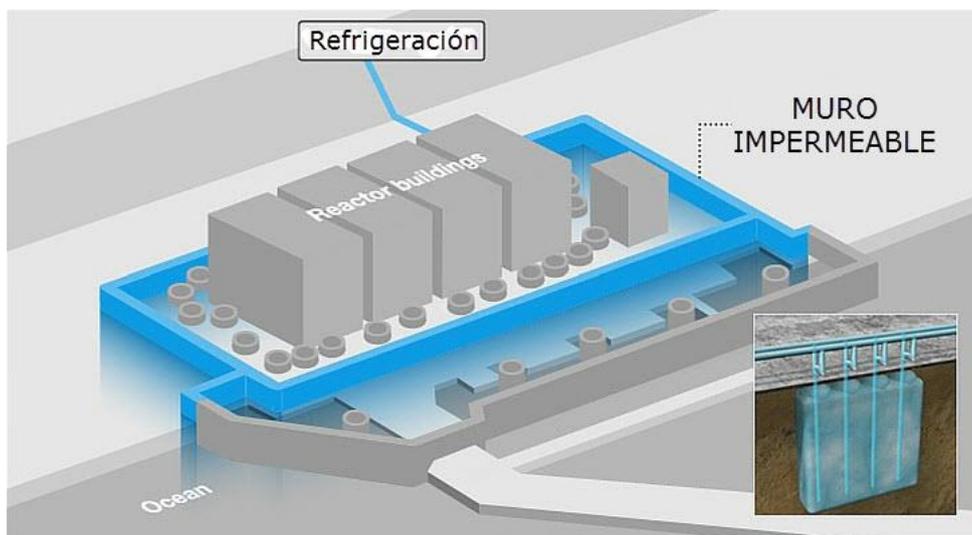
Fuente: AIEA. Informe del director General.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.



Vídeo 1 Gestión del Agua: <https://www.youtube.com/watch?v=yRMxkH0tSLI>

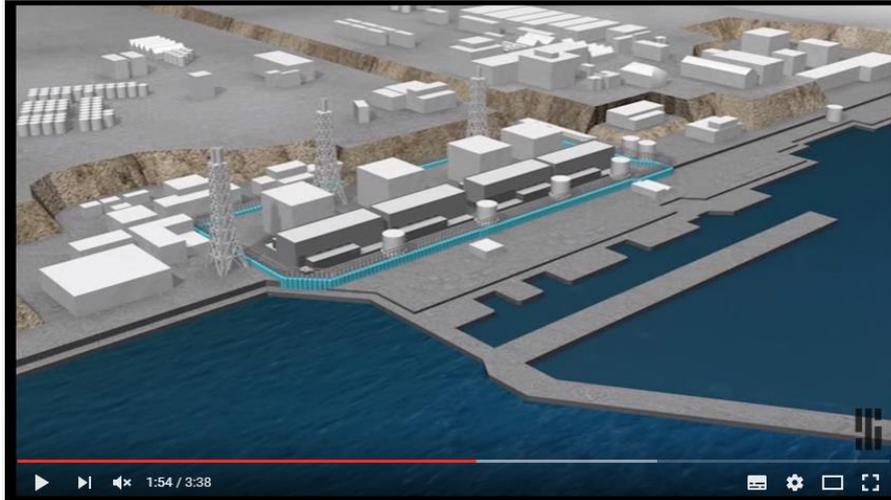
Se han implementado diversas técnicas de gestión del agua, entre ellas la mejora e instalación de sistemas de tratamiento y depósitos de almacenamiento adicionales, el restablecimiento del sistema de tuberías de drenaje subterráneo y la instalación de muros impermeables del lado del mar. El agua subterránea no contaminada procedente de las montañas cercanas a las instalaciones dañadas está siendo desviada por el exterior de las instalaciones hasta el océano. Además, se ha construido un muro criogénico congelado que ya está en operación en el lado los edificios de los reactores que da a la montaña para impedir la entrada de más agua y así evitar la fuga de agua contaminada (figura 4). También se ha previsto la construcción de un muro criogénico en el lado de los edificios de los reactores que da al mar.

Figura 4. Muro criogénico que rodea los edificios de los reactores.



Fuente: TEPCO
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

A continuación podéis ver un vídeo (en inglés) del IEEE Spectrum (Institute for Electrical and Electronics Engineers) sobre la construcción del muro criogénico:



Vídeo IEEE: <https://www.youtube.com/watch?v=-jyg5PYOcEA>

Con la aprobación de la Autoridad de Regulación Nuclear de Japón (ARN) y la aceptación de los interesados pertinentes, incluidas la prefectura de Fukushima y la industria pesquera, en mayo de 2014 TEPCO comenzó a descargar directamente en el mar el agua subterránea no contaminada desviada. Gracias a esta medida se redujo el volumen de agua que había que someter a tratamiento.

Las grandes cantidades de agua contaminada en el emplazamiento plantean diversos riesgos. Por fallos en los depósitos, las tuberías y las válvulas o durante episodios de precipitaciones intensas se observaron fugas de agua con contaminación radiactiva de los componentes. En algunos casos, las fugas dieron lugar a emisiones de radionucleidos al mar. La identificación de esas fugas hizo que se intensificara la monitorización, tanto en el emplazamiento como en el medio ambiente marino. Aunque se están aplicando medidas para detener o reducir las fugas, se necesitan soluciones más sostenibles que tengan en cuenta todas las opciones, incluida la posible reanudación de la descarga controlada en el mar. Como resultado de las misiones de examen del AIEA, se aconsejó a TEPCO que realizara una evaluación de los posibles efectos radiológicos de la emisión al mar de agua con tritio y otros radionucleidos residuales.

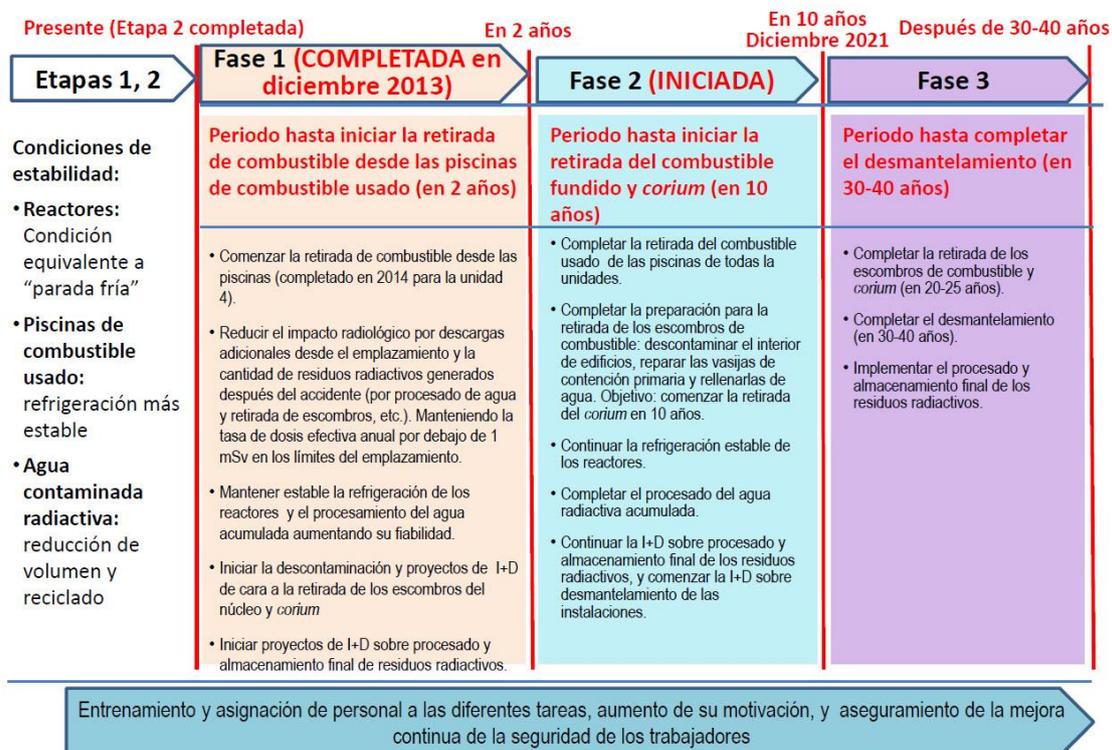
5.2 Plan de limpieza y desmantelamiento.

A partir de la situación alcanzada, con los reactores dañados pero refrigerados de forma estable, las piscinas de combustible usado debidamente refrigeradas, y habiendo establecido los medios para reducir la cantidad de agua contaminada, los esfuerzos se dirigen hacia conseguir la limpieza y el desmantelamiento total de la central.

TEPCO y los organismos gubernamentales competentes establecieron un plan estratégico, la “Hoja de ruta a medio y largo plazo para la clausura de las unidades U1 a U4 de la central nuclear de Fukushima Daiichi”, para las actividades de estabilización y clausura. El plan se publicó por primera vez en diciembre de 2011 y posteriormente se revisó para tener en cuenta la mayor experiencia adquirida y la mejor comprensión de las condiciones en el emplazamiento. Se trata de un plan estratégico amplio de alto nivel para los encargados de supervisar la recuperación. La clausura se realizará en un plazo de 30 a 40 años, según las estimaciones de las autoridades japonesas.

El plan, que se esquematiza en la figura 5, contempla una primera fase de aproximadamente dos años hasta poder comenzar la extracción de combustible desde las piscinas de enfriamiento. La fase posterior, de aproximadamente 10 años, comprende hasta el comienzo de la extracción del material fundido de los reactores. Y la fase final abarcaría hasta el final del desmantelamiento tras la extracción total de los materiales que un día formaron los reactores U1, U2 y U3 de Fukushima-Daiichi.

Figura 5. Plan de limpieza y desmantelamiento de la central.



Una preocupación constante a lo largo de este plan es la de minimizar los riesgos residuales, empezando por las posibles réplicas de los terremotos que pudieran producirse, para asegurar la integridad estructural de los edificios dañados, así como de todos los sistemas instalados posteriormente para asegurar la fiabilidad del suministro de agua y de electricidad.

Algunas de las acciones más destacadas dentro del plan son las siguientes:

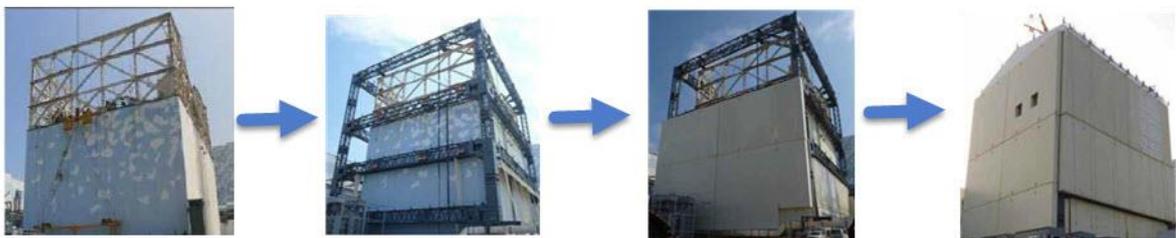
- La interposición de barreras para evitar posibles derrames líquidos hacia el mar. Se han instalado una serie de barreras temporales mediante sacos de arena en algunos casos con zeolita, cuya capacidad de absorción de cesio es muy notable, barreras de hormigón y de acero, fijadas o deslizantes.
- La construcción de barreras subterráneas, del orden de más de 20 m de profundidad, para evitar la infiltración de agua desde el emplazamiento hacia el mar.
- El control de la presencia de polvo contaminado en el aire, mediante la dispersión de agentes inhibidores de polvo en una superficie de más de medio kilómetro cuadrado dentro del emplazamiento.
- La retirada de grandes cantidades de escombros que se encontraban dispersos por todo el emplazamiento tras el *tsunami* dificultando el movimiento de vehículos y personas, y que debido al grado de contaminación adquirida tras las explosiones ha debido realizarse empleando maquinaria pesada operada remotamente. Los residuos generados se han almacenado en el propio emplazamiento, donde se han debido instalar almacenes adecuados a tal fin.
- La demolición, retirada y gestión adecuada de escombros de los edificios de las propias centrales dañadas mediante grandes grúas y maquinaria pesada operada remotamente, dado el ambiente tan hostil desde el punto de vista radiológico en el que estas operaciones han debido desarrollarse, destacando la labor realizada ya en el edificio del reactor U3 (figura 6), y la iniciada en el del reactor U4.

Figura 6. Trabajos de demolición y retirada de escombros en el reactor U3



- La instalación de cobertura para los edificios a fin de controlar posibles escapes de radiactividad, ya concluida en el caso del reactor U1 (figura 7). Esta ha sido una obra impresionante que ha implicado la construcción de estructuras metálicas gigantes cuyo montaje se probó fuera del emplazamiento para asegurar que la labor final de instalación se desarrollase sin fallos. Tras ello, el reactor ha quedado cubierto, con ventilación controlada, haciendo posible el desarrollo de nuevos trabajos en su interior.

Figura 7. Instalación de cobertura para los edificios.



- El refuerzo de estructuras dañadas, destacando de forma paradigmática la instalación realizada en la base de la piscina de combustible del reactor U4. Para ello hubo de retirarse una gran cantidad de escombros e instalar pilares de acero y encofrados bajo la piscina para el posterior hormigonado de refuerzo.

La preparación para la clausura de las instalaciones dañadas en el accidente comprende la retirada del combustible gastado y de los conjuntos combustibles nuevos de las piscinas de almacenamiento que se encuentran dentro de los edificios de los reactores dañados. En noviembre de 2013, la TEPCO comenzó a retirar el combustible de la piscina de almacenamiento del edificio del reactor de la unidad U4 y a trasladarlo a la piscina de combustible común. La operación se completó en diciembre de 2014.

Se tardará varios años en retirar el combustible gastado y los conjuntos combustibles nuevos de las piscinas de almacenamiento de las unidades U1 a U3. Una estimación más exacta del tiempo necesario depende de los progresos que se puedan hacer en la retirada de los escombros resultantes de las explosiones, la preparación de la estructura superior de las unidades U1 a U3 para el acceso, el establecimiento de los soportes de los equipos y estructuras para la retirada, y otras medidas. El combustible gastado se colocará en una piscina común para su almacenamiento temporal.

La extracción y gestión de los restos del combustible fundido del núcleo de un reactor es una tarea mucho más compleja. La confirmación visual de la configuración y composición del combustible dañado como consecuencia del accidente no ha sido posible debido a los elevados

niveles de las dosis de radiación en los reactores dañados. Los análisis disponibles indican que en la U1 se fundió la mayor parte del combustible y que parte de ese combustible atravesó la parte inferior de la vasija de presión del reactor y llegó hasta la vasija de contención primaria, mientras que en las U2 y U3 también hubo fusión del combustible, pero una proporción mayor de este permaneció en las vasijas de presión de los reactores.

De cara a poder iniciar la retirada del combustible de las piscinas, las tareas previstas que deben abordarse a continuación son las siguientes, con mayor complejidad en los reactores U3 y U4, dado el gran deterioro que presentan sus edificios:

1. Descontaminación de la parte superior del edificio del reactor, previa cobertura de las piscinas.
2. Instalación de cubierta y equipos de manejo de combustible.
3. Fabricación de los contenedores de almacenamiento/transporte del combustible. Cápsulas para combustible dañado.
4. Reorganizar la piscina, remodelar los equipos de inspección, etc.
5. Retirar el combustible.

Del mismo modo, se ha previsto la siguiente serie de etapas hasta poder proceder a la retirada del combustible dañado y del corium de los reactores:

1. Descontaminación del edificio del reactor.
2. Búsqueda de fugas de agua en las zonas inferiores de la vasija del pozo seco (contención) y del edificio del reactor.
3. Reparación de las fugas.
4. Llenado con agua de la parte inferior del pozo seco, a fin de proporcionar el blindaje frente a la radiación que permita trabajar en la parte alta.
5. Inspección y toma de muestras del pozo seco.
6. Reparación de la parte superior del pozo seco.
7. Rellenado del pozo seco con agua, por los mismos motivos de blindaje, y apertura de la tapa superior del pozo seco.
8. Inspección de la vasija del reactor. Toma de muestras.
9. Retirada del combustible y corium. Encapsulado y paso a contenedores de transporte/almacenamiento.

Si bien la experiencia del desmantelamiento de la central de Three Mile Island ha de resultar muy útil a la hora de diseñar cada operación en detalle, no cabe duda de que para su puesta en práctica será imprescindible desarrollar tecnología avanzada de manipulación remota adaptada a cada una de las operaciones necesarias.

Clausura de la central nuclear de Fukushima

En circunstancias normales (no de accidente), el estado final de una central nuclear se define y describe en la solicitud de la licencia y los documentos complementarios posteriores. En general existen dos estrategias para alcanzar el estado final de una central: el desmantelamiento inmediato y el desmantelamiento diferido, que a veces se denomina almacenamiento seguro. En circunstancias excepcionales, por ejemplo después de un accidente nuclear, también se puede considerar la posibilidad del enterramiento.

Un accidente nuclear puede invalidar los planes de clausura anteriores debidos, por ejemplo, a la necesidad de estabilizar las estructuras, los sistemas y los componentes antes de poder desarrollar el nuevo plan de clausura. Los planes de clausura, la retirada de los restos de combustible y las opciones relativas al estado final definitivo del emplazamiento dependen de la naturaleza del accidente, y en ellos se tendrán en cuenta el estado de: los residuos nucleares, las partículas y los materiales radiactivos que sigan estando en las instalaciones; el combustible gastado y los restos de combustible almacenados; y los desechos radiactivos sólidos y el agua procesada almacenados.

Los intereses de otras partes obtenidos, por ejemplo, mediante un proceso adecuado de consulta pública, también influirán en la planificación y ejecución de la clausura.

Actualmente no es posible predecir el estado final de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi. Cabe señalar que ninguna de las tres centrales de otros lugares del mundo que han experimentado los daños más severos en el combustible en accidentes anteriores ha alcanzado aún el estado final definitivo de clausura completa.

En la decisión definitiva sobre el estado final del emplazamiento de Fukushima Daiichi deberán tenerse en cuenta muchos factores, entre ellos el uso futuro del terreno, las posibles dosis de radiación para los trabajadores en las actividades de clausura, los desechos que se generarían y las opciones de acondicionamiento y disposición final de los desechos.

5.3 El reto de la rehabilitación

Como ya hemos comentado, inmediatamente después del accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi se dio prioridad a la estabilización de las condiciones en la central y a la protección de la población mediante medidas que incluyeron la orden de permanecer en espacios interiores y la evacuación de los residentes de las zonas afectadas, así como la imposición de restricciones relativas a los alimentos y al agua potable. A medida que avanzaban los trabajos y se estabilizaban las condiciones en el emplazamiento, se prestó mayor atención a la labor de recuperación del accidente, incluidas la revitalización de las comunidades y la reparación de la infraestructura.

Marco jurídico y regulador para la rehabilitación

El objetivo a largo plazo de la recuperación después de un accidente es restablecer una base aceptable para que pueda existir una sociedad que funcione plenamente en las zonas afectadas. Es preciso tomar en consideración la rehabilitación de las zonas afectadas por el accidente a fin de reducir las dosis de radiación, de acuerdo con los niveles de referencia que se hayan adoptado. En la preparación para el regreso de los evacuados conviene tener en cuenta factores como la reparación de la infraestructura, así como la viabilidad y sostenibilidad de las actividades económicas de la comunidad.

Antes del accidente nuclear de Fukushima Daiichi no existían en el Japón políticas ni estrategias para la rehabilitación después de un accidente. Fue entonces, cuando el Gobierno del Japón estableció una política sobre recuperación y rehabilitación mediante la promulgación de la 'Ley de Medidas Especiales sobre el Manejo de la Contaminación Ambiental por Materiales Radiactivos Descargados en el Accidente de la Central Nuclear asociado con el Terremoto del Océano Pacífico frente al Distrito de Tohoku del 11 de Marzo de 2011', en agosto de 2011. Esa Ley contiene disposiciones relativas al establecimiento de un orden de prioridad de los emplazamientos que se deben restaurar, la asignación de fondos para llevar a cabo la labor de rehabilitación, y la participación de las partes interesadas en todo el proceso.

Los primeros pasos al elaborar un programa de rehabilitación consisten en definir niveles de referencia adecuados y establecer una estrategia de rehabilitación para lograr la reducción necesaria de la exposición de la población a la radiación. En la orientación internacional se recomienda seleccionar un nivel de referencia dentro del rango de dosis adicionales de 1-20 mSv/año, en función de las circunstancias existentes.

El 'nivel de referencia' es la dosis objetivo que se aplica al conjunto de la estrategia de rehabilitación, pero no es un límite de dosis. En la orientación internacional se recomiendan niveles de referencia comprendidos entre 1 y 20 mSv/año para la exposición adicional de un miembro de la población en las 'situaciones de exposición existentes', en función de las circunstancias imperantes.

El gobierno, el órgano regulador u otra autoridad competente, según se haya dispuesto en el marco regulador nacional, establece los niveles de referencia. Normalmente, esos niveles se

expresan en términos de cantidades fácilmente mensurables, como las tasas de dosis gamma ambientales ($\mu\text{Sv/h}$) o la actividad depositada por unidad de superficie (Bq/m^2), y se derivan a partir de los niveles de referencia empleando modelos y supuestos sobre los hábitos de vida de las personas y sobre el comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente.

Es importante que, al establecer niveles de referencia dentro de este rango de valores, dichos niveles no sean demasiado elevados, ya que ello podría comprometer el objetivo de seguridad requerido, ni demasiado bajos, lo que podría traducirse en un uso no óptimo de los limitados recursos. En las fases iniciales de la rehabilitación en el Japón en 2011, el Gobierno de Japón fijó niveles de referencia que eran deliberadamente bajos y se adoptó un objetivo a largo plazo para los residentes, una vez finalizada la rehabilitación, de una dosis adicional no superior a 1 mSv/año. Este es el valor más bajo del rango especificado en la orientación internacional.

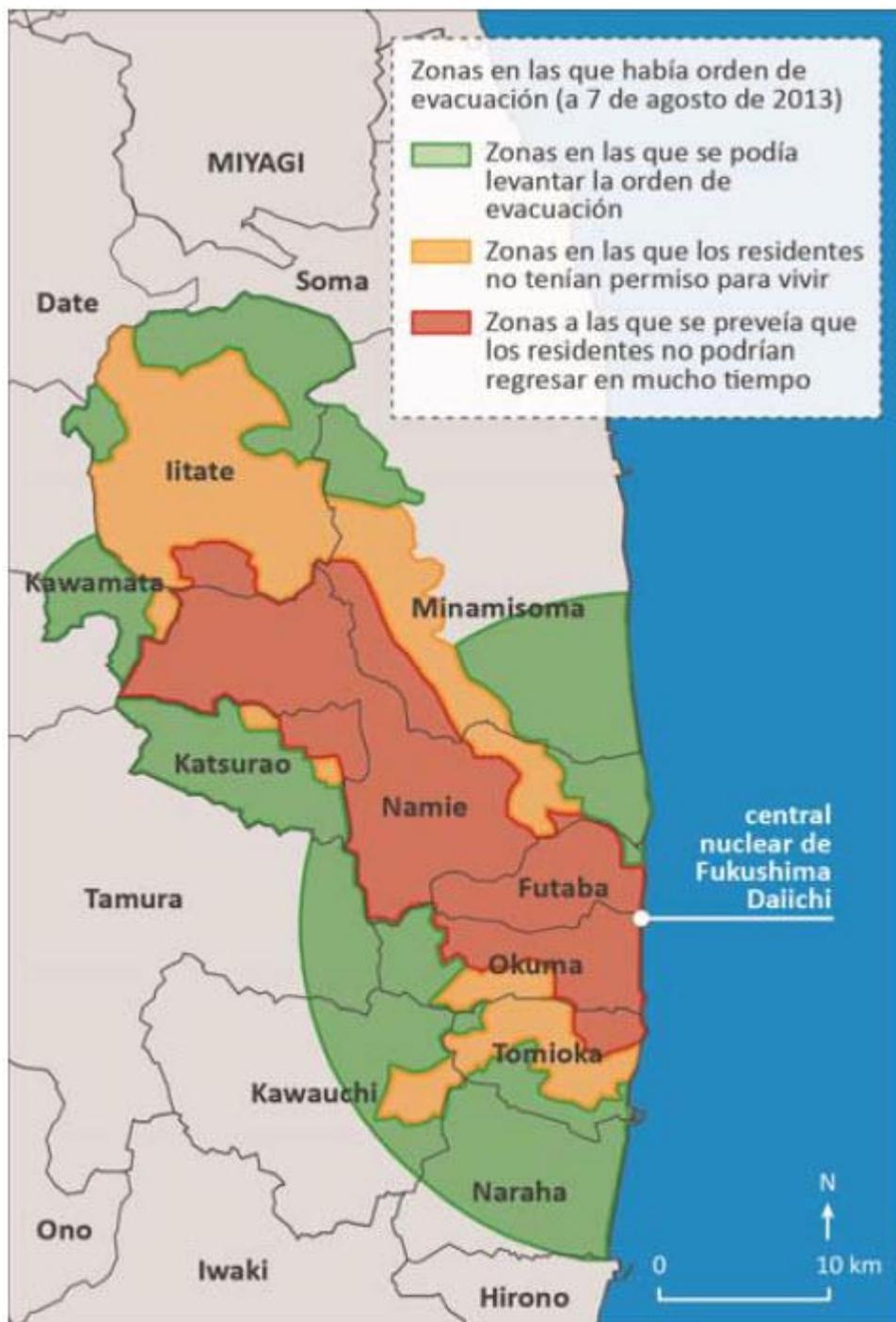
La aplicación de modelos conservadores puede provocar falsas alarmas que pueden llegar a empeorar la situación, forzando traslados innecesarios de ancianos o enfermos que acabarían en defunción y provocando importantes daños psicológicos.

Estrategia de rehabilitación

En 2012 y 2013, las zonas para las que se habían dado órdenes de evacuación se subdividieron nuevamente en las tres categorías siguientes sobre la base de la dosis anual total estimada recibida por las personas que residieran en ellas (figura 8):

- Zona 1 (verde). Zonas en las que la orden de evacuación ya se podía levantar. Se preveía una dosis anual estimada de 20 mSv o menos.
- Zona 2 (naranja). Zonas en las que los residentes no tenían aún permiso para vivir. Se preveía una dosis anual estimada superior a 20 mSv.
- Zona 3 (rojo). Zonas a las que, según las previsiones, los residentes no podrían volver en mucho tiempo. La dosis anual estimada era superior a 50 mSv, y la dosis anual media prevista para el período de seis años después del accidente era de más de 20 mSv.

Figura 8: Zona de acceso restringido vigente en 2013



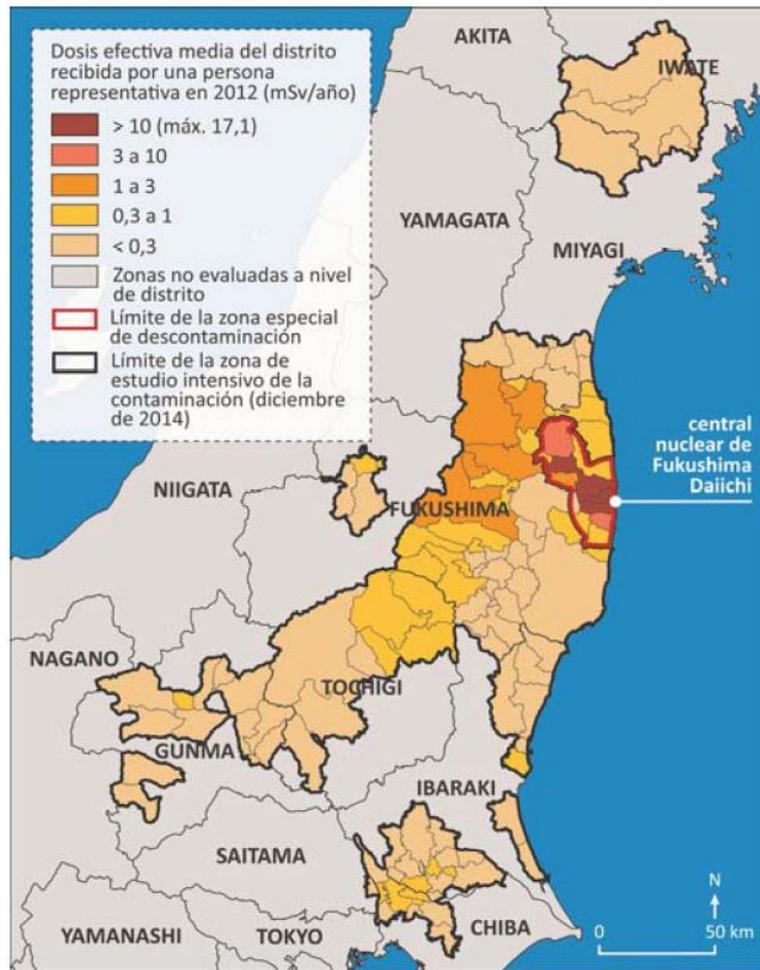
Fuente: IAEA. Informe del Director general.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

La estrategia de rehabilitación del Gobierno del Japón estableció un enfoque destinado a reducir rápidamente las dosis de radiación (descontaminación externa) puesto que las restricciones al consumo de alimentos y agua potable, evitaron en gran medida las dosis internas después del accidente. Así, se dio prioridad a la rehabilitación en las zonas residenciales, las tierras de labranza y las zonas forestales adyacentes a las zonas residenciales o agrícolas.

Para facilitar esta tarea, en agosto de 2011 se clasificaron las tierras que debían ser objeto de rehabilitación como sigue (figura 9):

- Zona Especial de Descontaminación. Esta zona se superpone a la anterior 'Zona de Acceso Restringido', es decir, a la zona de evacuación en un radio de 20 km alrededor de la central nuclear de Fukushima Daiichi, y a la anterior 'Zona de Evacuación Deliberada', situada a más de 20 km de la central, donde la dosis anual adicional para las personas podría superar los 20 mSv en el primer año después del accidente. Dentro de la Zona Especial de Descontaminación, corresponde al Gobierno nacional formular y poner en práctica los planes de rehabilitación.
- Zona de Estudio Intensivo de la Contaminación. Esta zona comprende los municipios en los que se estimó que la dosis de radiación adicional recibida por las personas en algunas partes de ellos durante el primer año se situaría entre 1 y 20 mSv. Los municipios realizan estudios de monitorización para determinar las zonas que requieren descontaminación y ejecutan actividades de rehabilitación en esas zonas, con el apoyo financiero y técnico del Gobierno nacional.

Figura 9. Zona especial de descontaminación y Zona de estudio intensivo de contaminación.



Fuente: IAEA. Informe del Director general.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Proceso de rehabilitación

En 2011 se iniciaron varios proyectos piloto. El Organismo de Energía Atómica del Japón realizó en un primer momento una serie de estudios en pequeña escala en dos lugares fuera las zonas evacuadas a fin de determinar la eficacia de la descontaminación para reducir la tasa de dosis en distintos tipos de superficie (por ejemplo, calles, tejados, muros y césped). En estudios posteriores se examinó la viabilidad de descontaminar áreas más amplias dentro de las zonas evacuadas, se evaluó la eficacia de esas medidas para reducir las tasas de dosis gamma ambientales, y se estudiaron las repercusiones para la seguridad de los trabajadores y la gestión de desechos.

Estos estudios piloto desempeñaron un papel importante en la planificación y puesta en práctica de las estrategias de rehabilitación. Facilitaron información sobre la eficacia y aplicabilidad de las técnicas de descontaminación y ayudaron a establecer procedimientos para la protección radiológica de los trabajadores.

En la tabla 1 figuran las medidas de rehabilitación aplicadas de forma generalizada según la superficie a descontaminar. La retirada de la capa superficial del suelo, que genera una gran cantidad de desechos, se utilizó ampliamente en los primeros años de la rehabilitación.

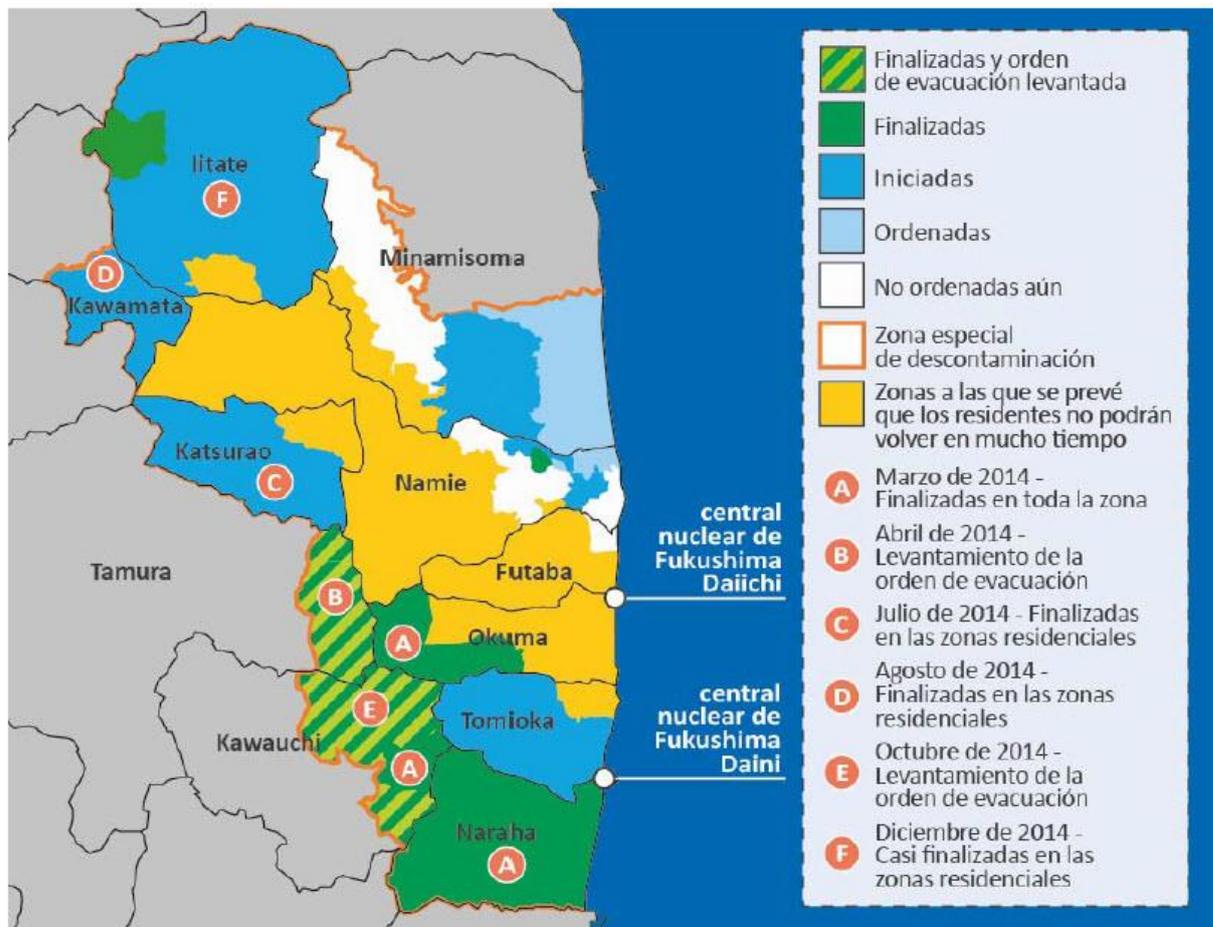
Tabla 1. Medidas de rehabilitación aplicadas de forma general.

Objeto	Medidas de rehabilitación
Casas, edificios	Retirada de depósitos de tejados, cubiertas y alcantarillas Limpieza de tejados y muros Lijado con aspiración Lavado de alta presión
Patios de escuelas, jardines y parques	Retirada de la capa superficial del suelo Retirada de maleza/hierba/pastos
Carreteras	Retirada de depósitos de las cunetas Lavado de alta presión
Jardines y árboles	Siega de césped Retirada de las hojas caídas Retirada de la capa superficial del suelo Lavado de alta presión Raspado de las superficies de los árboles
Tierras de labranza	Laboreo de inversión Retirada de la capa superficial del suelo Tratamiento del suelo (por ejemplo, aplicación mejorada de fertilizantes) Endurecimiento y retirada del suelo Retirada de maleza/hierba/pastos
Producción pecuaria	Control de los niveles de cesio radiactivo en los piensos
Bosques y tierras arboladas	Retirada de hojas caídas y ramas bajas Poda

Más tarde se aplicaron estrategias de rehabilitación tanto en la Zona de Estudio Intensivo de la Contaminación como en la Zona Especial de Descontaminación, y se lograron avances importantes. Al final de marzo de 2015 estaba casi terminada la descontaminación en la mayoría de las partes de la Zona de Estudio Intensivo de la Contaminación situadas fuera de la prefectura de Fukushima (en aproximadamente el 80 % de los municipios). En la Zona de Estudio Intensivo de la Contaminación dentro de la prefectura de Fukushima se habían descontaminado alrededor del 90 % de las instalaciones públicas, el 60 % de las viviendas residenciales y el 50 % de las carreteras.

Dentro de la Zona Especial de Descontaminación, en marzo de 2015 se habían completado los planes de descontaminación en cuatro municipios. También había finalizado la descontaminación de las zonas residenciales de otros tres municipios. Estaba previsto que la ejecución de la mayoría de los planes de descontaminación de las zonas de descontaminación 1 y 2 de la prefectura de Fukushima concluyera antes del final de marzo de 2016, aunque en algunos casos continuaría hasta 2017 (figura 10).

Figura 10. Estado de la rehabilitación en diciembre de 2014



Fuente: IAEA. Informe del Director general.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Impacto económico y social

El accidente y las medidas protectoras implantadas tanto en la fase de emergencia como en la de recuperación incidieron en la forma de vida de la población de las zonas afectadas. Al 30 de enero de 2015, el número de evacuados giraba en torno a 119 000 personas, frente al máximo de alrededor de 164 000 alcanzado en junio de 2012. Las privaciones asociadas a la evacuación, la reubicación y las restricciones al consumo de alimentos son considerables.

El terremoto, el tsunami y el accidente provocaron la destrucción, la degradación y el desuso de infraestructuras (escuelas, hospitales y empresas comerciales, entre otras), tuvieron repercusiones en la actividad empresarial y el comercio, y ocasionaron cambios demográficos debidos a la evacuación de grandes cantidades de personas. Según los informes, era más probable que las familias jóvenes siguieran evacuadas y que las personas mayores regresaran a sus hogares. Los planes de recuperación y revitalización a escala nacional y local tienen en cuenta la importancia de la reconstrucción física y socioeconómica y abordan cuestiones como la reconstrucción de la infraestructura, el apoyo a las comunidades y la indemnización.

Entre los desafíos concretos a que se enfrentaban las personas que estaban en alojamientos temporales figuran una serie de cuestiones de bienestar general físico y mental asociadas a los altos niveles de desempleo y a las dificultades relacionadas con el alojamiento provisional.

La evacuación dio lugar a la pérdida de granjas y empresas. Se dejó de pescar en un radio de 30 km alrededor del emplazamiento (que se redujo a 20 km al final de septiembre de 2011). Se han interrumpido las actividades agrícolas y otras actividades comerciales en una superficie de unos 700 km² fuera de la Zona Especial de Descontaminación.

Las consecuencias socioeconómicas en el sector agrícola y otras empresas se observaron también fuera de la Zona Especial de Descontaminación y de la Zona de Estudio Intensivo de la Contaminación. Además de la pérdida de empleos y de medios de subsistencia para los afectados, las restricciones al consumo de alimentos, las pérdidas por las exportaciones relacionadas con los alimentos y los bienes de consumo, los costos de monitorización para demostrar el cumplimiento de los criterios radiológicos y el pago de indemnizaciones a las personas afectadas también han tenido repercusiones. Las consecuencias socioeconómicas indirectas son las derivadas de la pérdida de la confianza de los consumidores, no solo en los productos alimenticios, sino también en los productos básicos y empresas de las zonas afectadas.

La política de indemnización establecida se aplica no solo a quienes recibieron la orden de evacuación, sino que también abarca los efectos en los medios de subsistencia y las formas de vida, la pérdida de beneficios debido a las restricciones y la pérdida de confianza de los consumidores, así como los cambios de infraestructura para quienes siguieron en la zona. Asimismo, existen disposiciones específicas para los padres con familias jóvenes y las embarazadas.

Se han puesto en práctica, con el apoyo gubernamental y local, una serie de iniciativas a fin de estimular la revitalización de la prefectura de Fukushima que incluyen la reconstrucción de la infraestructura, el alojamiento y el transporte. Algunas medidas se centran en la recuperación

de la confianza de los consumidores en los productos, al mismo tiempo que se promueven el orgullo local y el turismo. Puesto que la disponibilidad de trabajo y empleo son también un factor clave para el regreso de los residentes (o el asentamiento de nuevas poblaciones), otras iniciativas se centran en la reconstrucción de empresas y la creación de nuevas oportunidades comerciales.

Participación de las partes interesadas y comunicación con ellas

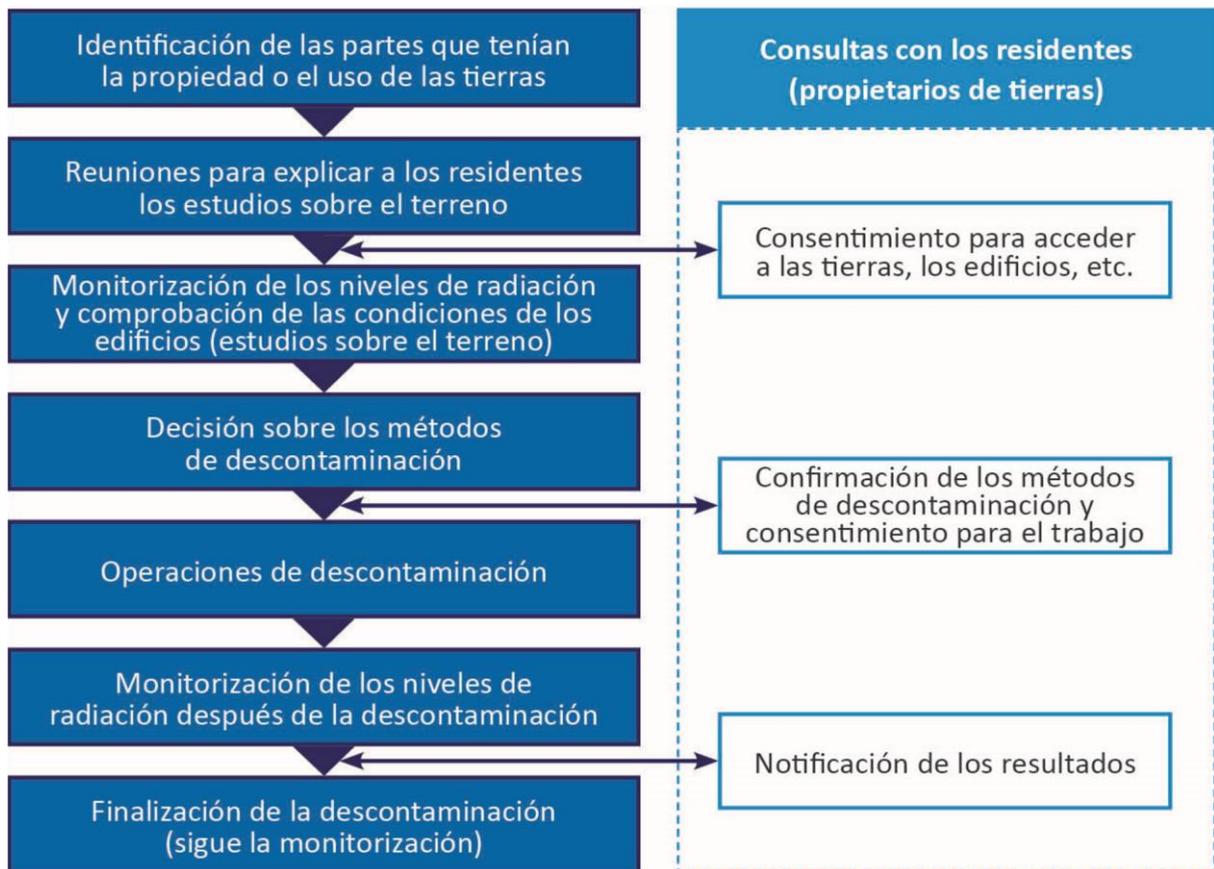
Con el avance de las actividades de rehabilitación y recuperación ha aumentado la participación de las partes interesadas y han mejorado las estrategias de consulta y participación. La respuesta al accidente ha ofrecido varios ejemplos que muestran las ventajas de dar participación a las poblaciones afectadas en las actividades de recuperación, desde la consulta y el diálogo hasta las medidas de rehabilitación (denominadas medidas de autoayuda).

La comunicación con la población acerca de las actividades de recuperación es esencial para crear confianza. A fin de comunicar de forma eficaz, es necesario que los expertos entiendan las necesidades de información de la población afectada y faciliten información comprensible a través de medios pertinentes. La comunicación mejoró después del accidente y la población afectada fue participando cada vez más en la adopción de decisiones y en las medidas de rehabilitación.

En la figura 11 se muestra un diagrama de flujo del proceso de puesta en práctica de la rehabilitación y las interacciones conexas con los interesados. En todas las fases de la elaboración de planes y su aplicación se contó con la participación de los interesados y se mantuvieron consultas con ellos. En los casos de rehabilitación de tierras de propiedad privada, antes de iniciar cualquier actividad de rehabilitación es preciso tener el acuerdo de los propietarios.

En un accidente nuclear, los medios de comunicación, tanto tradicionales como nuevos, desempeñan una función importante en la comunicación con el público. El accidente de Fukushima Daiichi se caracterizó por un alto grado de cobertura de los medios de comunicación, mediante Internet, los medios sociales y, en la fase inicial, las emisiones continuas por radio y televisión. La cobertura del accidente duró varios meses y se centró principalmente en los problemas relacionados con el lugar del accidente, así como en las medidas protectoras adoptadas por las autoridades japonesas. Los medios sociales intensificaron las informaciones sobre el suceso y difundieron las opiniones de particulares y de organizaciones no gubernamentales. Se dispuso de una cantidad considerable de información, de calidad variable y con distintos grados de credibilidad.

Figura 11. Proceso de rehabilitación y comunicación con los ciudadanos.



Fuente: IAEA. Informe del Director general.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

5.4 Gestión de los residuos

El terremoto y el tsunami generaron una gran cantidad de desechos algunos de los cuales quedaron contaminados (principalmente con cesio-134 y cesio-137) como consecuencia de las emisiones de la central nuclear de Fukushima Dai-ichi. Debido a las actividades de estabilización en el emplazamiento ha aumentado el inventario de material contaminado y de desechos radiactivos sólidos y líquidos que es preciso gestionar, al mismo tiempo que las actividades de rehabilitación fuera del emplazamiento han aumentado la cantidad de material contaminado.

La gestión de este material —con sus diversas propiedades físicas, químicas y radiológicas— es compleja y requiere el despliegue de esfuerzos importantes debido a la pérdida de infraestructura causada por el terremoto y el tsunami y los altos niveles de radiación. También fue necesario modificar la legislación y el enfoque nacional de la gestión de desechos.

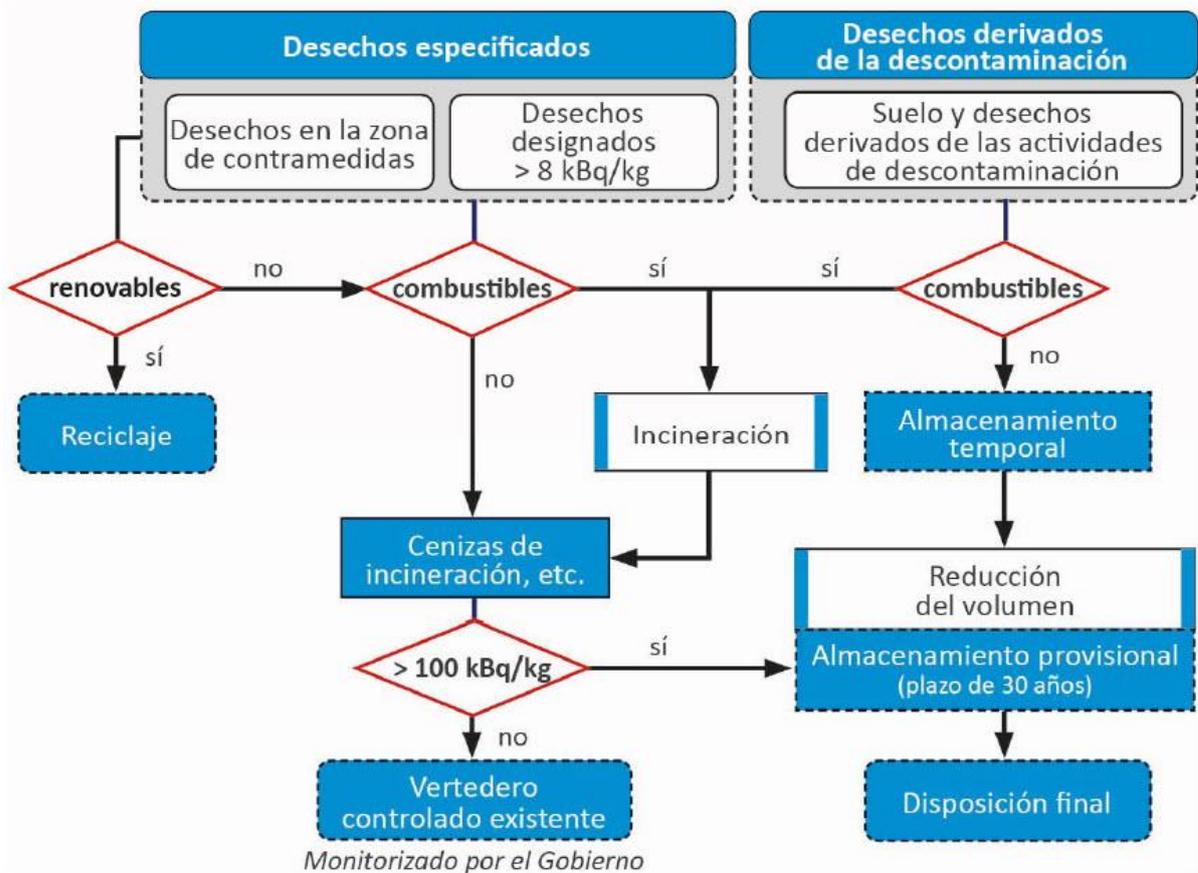
Gestión de los desechos fuera de la central

En el exterior del emplazamiento, las medidas reparadoras comprendieron la retirada de la capa superficial del suelo y de vegetación, y la descontaminación de zonas públicas y residenciales. El tamaño de la zona que había de ser objeto de rehabilitación se vio influido por los criterios radiológicos y los niveles de actuación adoptados, lo cual también repercutió en la cantidad de material contaminado que había que gestionar.

En general, un nivel de referencia bajo, como el que se tomó por parte del gobierno de Japón, se traduce en la generación de una cantidad mayor de material contaminado. Se estima que la cantidad de suelo y otros materiales contaminados generados a raíz de las actividades de rehabilitación posteriores al accidente será de aproximadamente 16 a 22 millones de m³ tras la reducción del volumen por incineración de plantas y árboles.

Las fases del proceso de gestión de desechos aplicado en la prefectura de Fukushima se ilustran en la figura 12. La gestión de los desechos generados en las actividades de rehabilitación supone la acumulación de esos desechos en instalaciones de almacenamiento temporal cerca de los lugares de descontaminación. Se han construido muchos cientos de instalaciones de almacenamiento temporal. Tras este almacenamiento, los desechos se transportarán a la instalación de almacenamiento provisional. El nivel de contaminación de parte de este material es suficientemente bajo para poder utilizar la infraestructura existente de eliminación de desechos sólidos municipales (por ejemplo, los incineradores y los vertederos de desechos municipales). No obstante, ha resultado difícil obtener el acuerdo de los municipios para utilizar incineradores convencionales con el fin de reducir el volumen de material contaminado fuera del emplazamiento.

Figura 12. Diagrama de flujo de la gestión de desechos fuera del emplazamiento.



Fuente: IAEA. Informe del Director general.
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Gestión de los desechos en la central

En la central nuclear de Fukushima Daiichi se han generado grandes cantidades de material líquido y sólido contaminado, así como desechos radiactivos, a raíz de diversas actividades de recuperación. Por ejemplo, al 30 de noviembre de 2014 había 131 900 m³ de escombros y 79 700 m³ de árboles almacenados en el emplazamiento. La generación de estas grandes cantidades de material contaminado y desechos radiactivos ha hecho necesario el establecimiento de estrategias efectivas de gestión de los desechos. En particular, ha sido preciso construir instalaciones de tratamiento y almacenamiento para muchos cientos de miles de metros cúbicos de agua contaminada y tratada, así como para desechos sólidos derivados de los procesos de tratamiento y la limpieza de grandes superficies de tierra. En la figura 5.7 se ilustra parte de la estrategia de gestión de los desechos del emplazamiento, comprendidas las instalaciones de tratamiento y almacenamiento de agua.

Persiste la necesidad de capacidad de almacenamiento para diversos tipos de corrientes de desechos sólidos y líquidos. En la figura 13 podemos ver, por ejemplo, la superficie ocupada

por los depósitos de agua contaminada en la central. Por consiguiente, la reducción del volumen se ha convertido en un componente importante de la gestión de los desechos del emplazamiento, por ejemplo, mediante la evitación de desechos, la instalación de incineradores, y la reutilización y el reciclaje de materiales. Se prevé que la clausura de la central nuclear genere más desechos. Los tipos y las cantidades de desechos generados dependerán del enfoque que se adopte.

Figura 13. Depósitos de agua contaminada en el emplazamiento.



Fuente: Elaboración propia sobre imagen de Google (Imágenes ©2016 Google, TerraMetrics, Datos del Mapa ©2016 ZENRIN)
Este contenido queda fuera de nuestra licencia Creative Commons.

Se han desplegado esfuerzos para alejar los desechos radiactivos de los límites del emplazamiento de modo que las tasas de dosis en esos lugares sean inferiores a 1 mSv/año. Estas actividades no tienen repercusiones en la exposición de la población, ya que no hay presencia humana en los límites del emplazamiento.

La gestión de desechos en el emplazamiento plantea muchos desafíos complejos que deben seguir siendo objeto de investigación y desarrollo. A medida que se disponga de nuevas capacidades, se deberá considerar una estrategia de disposición final de los desechos del emplazamiento que incluya decisiones a corto y a largo plazo.