

LA EMERGENCIA NUCLEAR EN JAPÓN: lecciones para Chile

*Documento realizado por Rosa Moreno Moore para Chile Sustentable
18 de marzo de 2011*

CONTENIDOS

<i>Resumen ejecutivo</i>	3
LA EMERGENCIA NUCLEAR EN JAPÓN	3
¿Está la industria nuclear suficientemente preparada para enfrentar la actividad sísmica?	4
La falta de transparencia de TEPCO.....	5
TIPOS DE CENTRALES NUCLEARES EN RIESGO	6
Otros sectores en riesgo de las plantas con elementos radioactivos.....	8
Los riesgos ambientales de estas centrales nucleares.....	8
Efectos de los diferentes niveles de radiación	9
LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD QUE SE HABÍAN PREVISTO	10
Mecanismos previstos de reacción frente a un terremoto:.....	12
SITUACIÓN ACTUAL DE LOS REACTORES	12
¿QUÉ FALLÓ?	13
1. Los generadores diesel son inundados por el maremoto y dejan de funcionar.....	13
2. No se instalaron nuevos generadores, durante el periodo de 8 horas que cubría el sistema de refrigeración de emergencia.....	13
3. Se realizaron operaciones de venteo sin la suficiente información sobre la temperatura y el nivel del agua en los reactores	14
4. Las estructuras de contención de los reactores, no habrían sido adaptadas al objetivo de impedir la salida de los materiales radiactivos al medioambiente.....	14
5. Desprotección de las piscinas que contienen combustible gastado altamente radioactivo.....	15
OTROS IMPACTOS OCURRIDOS Y QUE PODRÍAN REPETIRSE EN LOS PRÓXIMOS DÍAS	16
1. Errores del equipo humano trabajando en la central	16
2. Emisiones radiactivas a la atmósfera	16
Los puntos críticos de mayor preocupación en los próximos días	17
<i>Referencias:</i>	18

Resumen ejecutivo

La catástrofe nuclear en el complejo nuclear de Fukushima Daiichi en Japón está aún en evolución sin que haya claridad sobre cómo será su desenlace. Sin embargo lo ocurrido durante la primera semana de emergencia atómica permite evidenciar algunas de los principales riesgos y negligencias de la industria nuclear. Aunque dicha industria aseguraba que un accidente como el que hoy presenciamos tenía una posibilidad de ocurrencia solo en un millón de años, constatamos que, además de la incompatibilidad de esta opción energética con la inestabilidad geológica, muchas de las principales fallas de la emergencia nuclear eran todas predecibles: un tsunami es un fenómeno habitual luego de terremotos de gran magnitud cercanos a la costa; los generadores de respaldo no estaban adecuadamente protegidos; no había medidas de emergencia ni capacidad para reemplazar los generadores dañados; no había sistemas adecuados de información para proceder ante la presión al interior de los reactores; las estructuras de contención no estaban adaptadas para impedir una explosión desde el interior; las piscinas de enfriamiento y contención del combustible nuclear gastado no tenían suficiente protección; y el equipo humano fue sobrepasado para controlar los 4 reactores sin control.

La empresa TEPCO, operadora del complejo atómico Fukushima Daiichi, y uno de los mayores productores de electricidad del mundo, no ha entregado información suficiente sobre lo sucedido, obstaculizando un apoyo mas efectivo del gobierno japonés y de los organismos internacionales. Adicionalmente, la restricción informativa y las versiones contradictorias del gobierno japonés han generado una crisis de credibilidad ante la población de dicho país, la cual experimenta una total desprotección.

La emergencia nuclear en Japón

Hasta hace unos días atrás Japón era el ejemplo de la industria nuclear, que buscaba demostrar cuán seguros eran los reactores nucleares. A pesar de ser uno de los países más sísmicos del mundo, Japón produce el 30% de su energía eléctrica mediante reactores nucleares.

La emergencia nuclear que se desató a raíz del terremoto y maremoto del viernes 11 de marzo, ha hecho interrogarse al mundo entero sobre la viabilidad de esta forma de generación eléctrica. Esta emergencia ha vuelto a poner sobre la mesa los peligros reales que conlleva la núcleo-electricidad. En Japón las autoridades exigían a los operadores de las centrales, que sus instalaciones debían soportar sin riesgos terremotos de magnitud 7,7° siendo que en su historia sísmica ha habido varios terremotos superiores a 8° Richter.

Por otra parte las centrales nucleares necesitan disponer de agua en abundancia para disminuir las temperaturas que se producen al interior de los reactores y es por ello que deben situarse cerca de ríos caudalosos o al lado del mar. Parecieron olvidarse que los terremotos y los maremotos pueden producirse por un mismo evento telúrico. Un terremoto de magnitud de 8° o más que se sitúa en las costas de un país, tiene una gran probabilidad de producir igualmente un maremoto. Es lo que pasó en Japón el viernes 11 y lo que sucedió en Chile el sábado 27 de febrero del año pasado.

Si se planteara la posibilidad de la construcción de una central nuclear en Chile, esta debiera estar adaptada para soportar terremotos de hasta 9,7 de magnitud (M), considerando que se registró en Valdivia en 1960 uno de 9,5 M. Esto implicaría defensas que soporten **100** veces más la energía liberada por un terremoto de magnitud 7,7 y con las seguridades necesarias respecto a un posible maremoto que sería desencadenado por un terremoto de esa magnitud.

Este solo hecho debiera de bastar para reorientar el desarrollo de nuestra matriz energética, impulsando decididamente aquellas fuentes energéticas que no son dañinas para la salud humana y el futuro del planeta, como son la energía eólica, la solar o la mareomotriz. Si el mundo se decidiera a cambiar a fondo su forma de generar electricidad, bastaría con dedicar menos de un 1% de PGB mundial para que esto pudiera realizarse a corto plazo. No es imposible, falta sólo la voluntad política para realizarlo.

Aun así hemos querido aportar al debate indagando en los fallos de la central de Fukushima, a pesar que el operador de esta central, TEPCO, no ha entregado información precisa y adecuada sobre lo que está sucediendo. Veremos que las fallas múltiples y predecibles están poniendo en grave riesgo a una población inmensamente afectada por uno de los peores terremotos y maremotos de la historia reciente. Esperamos que nunca tengamos que hacer un estudio semejante para nuestro país.

¿Está la industria nuclear suficientemente preparada para enfrentar la actividad sísmica?

Japón es considerado desde hace mucho tiempo, como el país que cuenta con la mayor capacidad para responder a las consecuencias de los terremotos. Fue el primer país en instalar sistemas de alerta temprana contra tsunamis y en algunas zonas de la costa ha levantado barreras arquitectónicas para restar fuerza a las grandes olas.

Desde el terremoto de Kobe (1995) han sido registrados otros 32 terremotos significativos en el país, siete de ellos en las costas de Honshu y que registraron magnitudes superiores a 7°. En los últimos 120 años ha habido **siete** terremotos en Japón con magnitud **igual o mayor a 8°**. El mayor que se haya registrado fue el del viernes 11 de marzo, que duró aproximadamente 2 minutos y con una magnitud de 9° provocando un maremoto con olas de hasta 10 metros. El epicentro del terremoto se localizó en el mar, frente a las costas de Honshu, a 130 kilómetros (km) al este de Sendai y a una profundidad de 35 km.

Dos días antes, hubo otros cuatro grandes sismos en la misma región. El más grave tuvo una magnitud de 7,2° y le siguieron tres sismos de magnitud 6,1° durante la tarde y la noche. El jueves hubo otros diez sismos importantes, cinco de ellos de magnitud superior a 5°. Desde el 11 de marzo ha habido 22 réplicas mayores a M6°. ¹

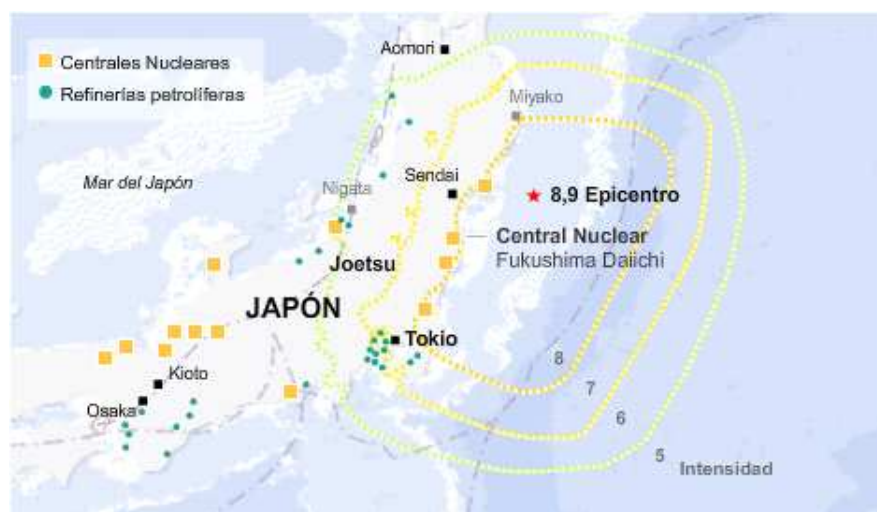
A pesar de la historia sísmica de Japón, las centrales nucleares se diseñaron para resistir terremotos de 7° de magnitud. Luego del terremoto de 1995 (M 6,9°), la Comisión de Seguridad Nuclear Japonesa (NSC), aprobó un informe de expertos que establecía que las instalaciones nucleares debían soportar sin daños un terremoto de **M 7,75°**; que se debían tomar en consideración los eventos que acompañan a los

¹ Ver: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_country.php#japan

terremotos y en particular que las estructuras contenedoras del reactor, debían prevenir en caso de tsunami, cualquier daño del núcleo del reactor.²

A estas indicaciones de la NSC, se sumaron en diciembre de 2008, según los cables diplomáticos de EE. UU., obtenidos por Wikileaks³, las advertencias del Organismo Internacional de la Energía Atómica, de que un terremoto de gran magnitud podría suponer un “problema grave” en sus plantas nucleares. Además el borrador de un informe del OIEA publicado en octubre de 2009 recomendaba entre otras cosas, que las centrales se situaran a más de 10 kilómetros de la costa o en una elevación de más de 50 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1: Epicentro y área de influencia del Terremoto de Sendai (11-03-2011)



Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/03/14/internacional/1300070669.html>

La falta de transparencia de TEPCO

Frente a una emergencia nuclear, es de vital importancia tener información detallada de lo que está sucediendo, para alertar y proteger a la población y hacer frente adecuadamente a situaciones de emergencias radioactivas. A nivel internacional, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) tiene el mandato de compartir la información disponible con sus estados miembros cuando hay una emergencia nuclear. Pero en la emergencia nuclear de Japón la información ha sido francamente insuficiente.

TEPCO, la Compañía de Electricidad de Tokio, operador de las instalaciones de Fukushima Daiichi se ha caracterizado históricamente por su falta de transparencia, cuando ha habido incidentes en sus instalaciones nucleares. TEPCO es el cuarto productor mundial de electricidad, con una cifra de negocios anual

² Ver: Convention on Nuclear Safety National Report for Japan, Septiembre 2007.
<http://www.nsc.go.jp/NSCenglish/documents/conventions/2007.pdf>

³ Fuente: AFP,
http://www.google.com/hostednews/afp/article/ALeqM5i60CuTNdU7t3Ok_vSQck_jsDUKpg?docId=CNG.9f3603fc4dd3586217c60241e5e5eb79.281

superior a los 50 mil millones de USD. Ya en el 2002 la dirección de TEPCO debió dimitir, al conocerse que habían realizado declaraciones falsas en los informes de inspección realizados por el gobierno. En 2007 la Agencia de Seguridad Industrial y Nuclear japonesa, dio a conocer que entre 1978 y 2002, 97 incidentes, entre los cuales 19 fueron considerados “críticos”, habían sido disimulados a las autoridades por las 10 Compañías eléctricas japonesas; TEPCO fue la más criticada de entre ellas. Tampoco dio a conocer a tiempo ni de forma precisa, el incendio y la fuga radioactiva que se produjo en la central Kas-hiwazaki-Kariwa luego de un sismo de 6,8° el año 2007 que les obligo a cerrar dichas instalaciones⁴.

Actualmente, es difícil confiar en las informaciones de un gobierno que ha repetido varias veces que tenía la situación controlada, y que después ha sido desmentido por nuevas explosiones, incendios y fugas radiactivas y todo ello en base a informaciones entregadas por TEPCO. Las autoridades locales de la región afectada, están extremadamente preocupadas y se sienten desorientadas frente a la falta de información⁵ que les impide proteger adecuadamente a la población.

Ni siquiera el jefe del OIEA, Yukiya Amano tiene la certeza que le están entregando informaciones precisas y adecuadas. En sus propias palabras ha evidenciado: “no tenemos todos los detalles de la información, lo que implica que es limitado lo que podemos hacer”.⁶

El gobierno francés ha asegurado por otra parte que Tokio está suavizando los efectos de la crisis nuclear. Los periodistas en Japón han criticado fuertemente la falta de información. Aún más grave es la desconfianza de los residentes cercanos a la planta nuclear que envían sus comentarios a la BBC, CNN y otros medios de comunicación.

Frente a esta incertidumbre, los expertos se muestran prudentes, pero no esconden su inquietud por la falta de información, lo que los deja reducidos a la elaboración de escenarios, basados principalmente en hipótesis y probabilidades.⁷

Tipos de centrales nucleares en riesgo

A raíz de la falta de información entregada por TEPCO, para poder comprender el nivel de riesgo que enfrenta actualmente Japón y la comunidad internacional por la emergencia nuclear de Fukushima, es necesario revisar el tipo de reactor que tiene esta central, su funcionamiento, los efectos de una contaminación radiactiva eventual y por último, las medidas de seguridad previstas para evitar la contaminación radiactiva.

Los reactores BWR (Boiling Water Reactor) utilizados en Fukushima Daiichi fueron diseñados por General Electric a mediados de la década de los cincuenta, y se presentan en la siguiente tabla.

⁴ Ver Convention on Nuclear Safety National Report for Japan, ya citado y Le Monde, http://www.lemonde.fr/japon/article/2011/03/16/tepcos-entreprise-trop-sure-d-elle-meme_1493754_1492975.html

⁵ Gobierno Municipal de Tamura fuente: <http://mdn.mainichi.jp/mdnnews/news/20110316p2a00m0na017000c.html>

⁶ BBC: http://www.reuters.com/article/2011/03/16/us-japan-nuclear-trip_idUTRE72F7RN20110316?pageNumber=2

⁷ <http://www.usatoday.com/money/markets/2011-03-15-global-stock-markets-japan.htm>

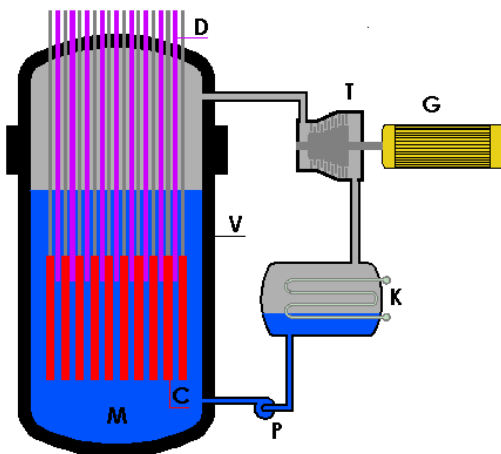
Tabla 1: Los tipos de reactores en Fukushima Daiichi

Reactor	Diseño	Potencia	Comienzo operaciones comm.	En funciones el 11-3-2011	Combustible
Fukushima I - 1	GE Mark I BWR	439MW	Marzo 1971	Sí	Óxido de uranio
Fukushima I - 2	GE Mark I BWR	760 MW	Julio 1974	Sí	Óxido de uranio
Fukushima I - 3	GE Mark I BWR	760 MW	Marzo 1976	Sí	MOX (*)
Fukushima I - 4	GE Mark I BWR	760 MW	Octubre 1978	No	Óxido de uranio
Fukushima I - 5	GE Mark I BWR	760 MW	Abril 1978	No	Óxido de uranio
Fukushima I - 6	GE Mark II BWR	1067 MW	Octubre 1979	No	Óxido de uranio

Fuente: Nuclear Power in Japan, <http://world-nuclear.org/info/inf79.html>

(*) El combustible MOX contiene una mezcla de uranio con **plutonio**, que se produce al reprocesar el uranio gastado en otros reactores. De allí que la situación de este reactor sea considerada la más peligrosa de todas.

Figura 2: Esquema del funcionamiento de un reactor BWR



Fuente: R. Castelnovo, W M. Commons

El combustible de uranio genera calor mediante la fisión nuclear. Cuando un neutrón golpea a un átomo de uranio (que es inestable), éste se divide, generando más neutrones y calor creando una reacción nuclear en cadena. Esta fisión genera igualmente elementos radioactivos intermedios (principalmente isótopos de cesio y yodo).

El combustible nuclear (D) se encuentra en una vasija (V) llena de agua (M), que al ser calentada y convertida en vapor, es derivada a turbinas (T) que generan electricidad (G). El vapor se enfría en un condensador (K) que lo vuelve nuevamente al estado líquido. Los condensadores se mantienen fríos con agua procedente del mar en un circuito propio. El agua líquida es impulsada nuevamente mediante bombas (P) hacia el interior de la vasija para ser calentada otra vez. Es similar a una olla a presión que funciona a unos 250 °C con una entrada de agua y salida de vapor constante.

Medidas de control de la reacción nuclear en cadena durante la generación eléctrica:

- **Barras de control (C):** Estas permiten controlar la potencia del reactor ya que al introducirlas absorben los neutrones producidos por el combustible, **parando** la reacción en cadena. La inserción completa de las barras de control detiene efectivamente la reacción nuclear primaria. Sin em-

bargo, el combustible nuclear continúa generando calor residual por decaimiento radioactivo a una tasa aproximada del 7% de la potencia total del reactor, lo cual requiere de uno a tres años de bombeo de refrigerante para lograr estabilizar el reactor a baja temperatura. Si la refrigeración falla al momento de apagar el reactor, éste puede sobrecalentarse hasta temperaturas por encima de los 2200 grados, llevando al agua a descomponerse en hidrógeno y oxígeno por una reacción con la envoltura del combustible (hecha de zircaloy). En este escenario existe un alto riesgo de explosión, que puede amenazar la integridad estructural del reactor.

- **Control por flujo de agua:** Los neutrones producidos por la fisión del combustible son mayoritariamente neutrones rápidos, que pasan demasiado rápido para tener un efecto de fisión. En estos reactores se utiliza agua destilada corriente como absorbente neutrónico el que actúa como **moderador**: el agua frena los neutrones que se producen en la reacción de fisión hasta una velocidad a la que sean capaces de producir una nueva reacción de fisión. De esta forma, el agua destilada permite mantener la reacción en cadena.

Otros sectores en riesgo de las plantas con elementos radioactivos

Este tipo de centrales nucleares disponen de grandes piscinas, donde se almacena el combustible nuclear que ya ha sido utilizado (o gastado). Al estar demasiado caliente y ser demasiado radioactivo como para poder ser transportado justo después de su extracción del núcleo, el combustible se almacena en enormes piscinas donde debe permanecer, con frecuencia 5 o 10 años, hasta que se enfría y se reduce lo suficiente su radiactividad. Las piscinas, que tienen de 10 a 15 metros de profundidad, están dotadas de grúas y de jaulas internas para mover y almacenar el combustible usado. En la central de Fukushima existe igualmente una piscina común para los 6 reactores donde se guarda el 60% del combustible gastado.

Los riesgos ambientales de estas centrales nucleares

El mayor riesgo de estas centrales es que la reacción en cadena no pueda ser controlada y se produzca un recalentamiento del núcleo del reactor, llegando a temperaturas de más de 2000 °C. A estas temperaturas el núcleo puede derretirse (fusión del núcleo) dando lugar a la emisión de vapores radiactivos. Si la vasija que contiene el núcleo y los contenedores externos de protección se fisuran, el material radioactivo es emitido a la atmósfera y el reactor se vuelve inestable.

Los productos radioactivos más corrientes que podrían ser emitidos son el yodina-131, cesio-137 y estroncio-90, sin embargo dependiendo del tipo de fusión y las temperaturas alcanzadas, podrían existir elementos radioactivos "transuránicos" tales como el estroncio, plutonio y el americio.⁸

El **cesio-137** es uno de los productos más conocidos, emite partículas beta y fuertes emisiones de radiación gama. Su vida media es de 30 años y se transfiere fácilmente al medio ambiente, lo que hace difícil su limpieza. Si la exposición al cesio-137 es muy alta y concentrada, produce quemaduras graves y puede

⁸ Fuente: Richard Barrett, a former U.S. Nuclear Regulatory Commission member
<http://www.reuters.com/article/2011/03/16/us-japan-quake-worst-idUSTRE72F6H720110316?pageNumber=2>
Programa Chile Sustentable: Emergencia Nuclear en Japón, Marzo 2011

ser letal. La magnitud de las consecuencias en la salud dependen del tiempo de exposición, distancia de la fuente y si existe una barrera entre la fuente y el cuerpo humano.

La **iodina-131** y **iodina-129** se dispersan rápidamente en el aire y en el agua bajo condiciones favorables y se combina fácilmente con los materiales orgánicos en el suelo (llamada fijación orgánica). La iodina-129 tiene una vida media de 15,7 millones de años, mientras que la iodina-131 tiene una vida media de 8 días (desaparecerá del medio ambiente en algunos meses). Ambos se descomponen con la emisión de partículas beta y con una leve radiación gama. Puede ingresar al cuerpo mediante inhalación o ingestión (por ejemplo, mediante la leche de vacas que han comido pasto en lugares contaminados). Exposiciones crónicas pueden producir cáncer a la tiroides y exposiciones bajas disminuyen la producción de hormonas en la tiroides.

El **estroncio-90** es uno de los más peligrosos componentes de los desechos nucleares. Tiene una vida media de 29 años y se descompone en Yttrium-90 (vida media de 64 horas). Si bien el primero emite partículas beta moderadas el segundo emite partículas betas altamente energéticas. El estroncio-90 puede formar diversos compuestos químicos transfiriéndose fácilmente al medio ambiente. Se fija en los huesos del ser humano y puede provocar cáncer a los huesos y leucemia.

El **americio-241** no existe normalmente en la naturaleza y se produce cuando el plutonio absorbe neutrones en los reactores. Todos los isótopos del americio son radioactivos. El americio-241 tiene una vida media de 432,7 años y emite radiación alfa y gama al descomponerse. Cuando se ingiere tiende a concentrarse en los huesos, hígado y músculos, donde puede mantenerse durante décadas aumentando el riesgo de cáncer. Al inhalarse se puede alojar en los pulmones.

El **plutonio-238** es producto de la fisión del uranio con una vida media de 87,7 años, mientras que el **plutonio-239** tiene una vida media de 24.100 años. Todos los isótopos del plutonio son radioactivos. En un proceso lento, se descomponen emitiendo partículas alfa hasta transformarse en un elemento no radioactivo. Si es ingerido la mayor parte pasa a la fecas pero si es inhalado puede entrar a los pulmones y de allí a la sangre. En este caso se puede mantener en el cuerpo por decenas de años produciendo radiación a los tejidos aumentando los riesgos de cáncer.⁹

Efectos de los diferentes niveles de radiación

El efecto biológico de la radiación depende del **tipo** de radiación, la **cantidad** de substancia a la que se expone el organismo y el **tiempo** durante el que estuvo expuesto. La cantidad de radiación que reciben las personas se mide en milisieverts (mSv), es decir, la milésima parte de un sievert.

Tabla 2: Niveles de radiación e impactos en la vida y salud de la población

10.000	El 100% de las personas que la reciben muere en semanas.
6.000	Dosis que recibieron los trabajadores en Chernóbil fallecidos en un mes.
5.000	Una sola dosis podría matar al 50% de las personas que sean expuestas.
1.000	Una sola dosis podría causar vómitos, mareos, náuseas, pero no la muerte.

⁹ Ver los efectos en la salud de los elementos radioactivos en EPA: <http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/>
 Programa Chile Sustentable: Emergencia Nuclear en Japón, Marzo 2011

400	Radiación máxima por hora que emitió la planta de Fukushima ayer.
350	Exposición a partir de la cual fueron relocalizados los residentes de Chernóbil.
100	Límite de radiación recomendado cada cinco años para los trabajadores.
10	Tomografía Computada de todo el cuerpo
9	Exposición que una tripulación del vuelo Nueva York-Tokio recibe en un año.
2	Radiación que recibimos anualmente de forma natural.
1,02	Radiación por hora detectada en Fukushima el 12 de marzo.
0,4	Mamografía.
0,1	Radiografía de pecho.
0,01	Radiografía dental.

Fuente: <http://www.abc.es/20110317/sociedad/abci-niveles-radiacion-soportables-201103171029.html> y http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/03/110315_ciencia_japon_radiacion_preguntas_mt.shtml

Las medidas de seguridad que se habían previsto

De acuerdo a las reglamentaciones de seguridad establecidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), una central nuclear diseñada de manera segura, es una instalación que garantiza las siguientes funciones básicas **en todo momento, incluso en situaciones de accidente:**

- el control de la reacción nuclear en cadena en el núcleo del reactor,
- la extracción de calor del núcleo,
- la contención de los materiales radiactivos.

Respecto al diseño, el OIEA señala que “deberá incluirse la aplicación debida **del principio de defensa en profundidad**”. Este es un principio fundamental que se aplica a la seguridad de las instalaciones nucleares y que implica el establecimiento de **múltiples niveles de protección**. Aunque las distintas actividades de la central pueden estar relacionadas con la organización, el comportamiento o el equipo, **todas están cubiertas por capas de disposiciones de seguridad superpuestas**. De esta manera, una deficiencia o un fallo a un nivel puede compensarse o corregirse a otro nivel. En todas las centrales nucleares, deben existir varios niveles de protección y múltiples barreras, para evitar las liberaciones de materiales radiactivos y garantizar que los fallos **o combinaciones de fallos**, que pudieran conducir a consecuencias radiológicas significativas sean de probabilidad muy baja.¹⁰

No existe ninguna justificación para considerar que las primeras centrales nucleares construidas puedan tener menos medidas de seguridad que las establecidas para las más recientes. Estas debieran haber sido adaptadas a las exigencias actuales o cerradas si no cumplían estas condiciones.

En los últimos años, la industria nuclear se ha caracterizado por asegurar que un tipo de accidente como el que se está viviendo en Fukushima Daiichi, era prácticamente imposible por las medidas de seguridad que tienen actualmente las centrales nucleares. Por ejemplo, el Foro de la industria Nuclear Española, asegura que la probabilidad de un accidente severo (aquellos que pueden afectar a la integridad de la

¹⁰ Fuente: http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/Spanish/safetynuinstall_sp.pdf
 Programa Chile Sustentable: Emergencia Nuclear en Japón, Marzo 2011

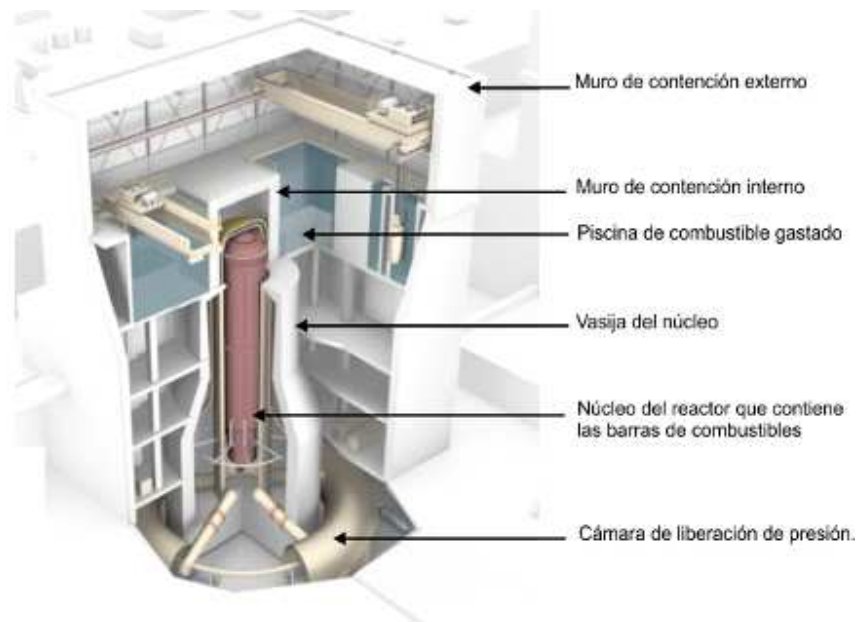
contención y dar lugar a la emisión de productos de fisión al medio ambiente) sería de un accidente de este tipo en **un millón de años**.¹¹

Como se señala anteriormente el mayor peligro de un reactor nuclear es su derretimiento. Si la temperatura se eleva demasiado, el núcleo se funde, convirtiéndose en una especie de lava radiactiva. En tal estado, el material es mucho más peligroso que cuando se halla en estado sólido, ya que pierde consistencia y se puede derramar, con el riesgo evidente de fundir otros materiales y abrir boquetes en las estructuras. A fin de evitar que esta lava ultra caliente y radiactiva se abra paso hasta el exterior o perfora el suelo hasta alcanzar algún acuífero o alguna capa del subsuelo, desde donde puede provocar emanaciones peligrosas, las estructuras de contención deben ser muy robustas y gruesas. Suelen estar hechas básicamente de acero y hormigón, y con ellas se construyen no sólo los muros y el techo sino también los suelos.

El diseño de las estructuras de Fukushima Daiichi contaba con cuatro niveles de seguridad:

- **Barras de combustibles:** las que forman una barrera interna que separa el combustible radioactivo del resto del reactor. En caso de fusión del núcleo es lo primero en desaparecer.
- **Vasija de acero** diseñada para aguantar las altas presiones que se producen en un accidente.
- **Muro de contención interno:** construcción de acero y hormigón cuya función es evitar que escape el material radioactivo en caso de fusión del núcleo.
- **Muro de contención externo:** estructura en hormigón con forma de cubo que aísla al reactor del exterior.

Figura 3: Esquema del reactor 1 de Fukushima Daiichi



Fuente: Esquema simplificado elaborado a partir de NOAA, TEPCO, USGC, Iris, Reuters¹²

¹¹ http://www.foronuclear.org/pdf/monograficos/seg_nuclear.pdf

¹² http://www.elmundo.es/especiales/2011/terremoto-japon/terremoto_tsunami.html

Mecanismos previstos de reacción frente a un terremoto:

Los protocolos establecidos en la operación de plantas nucleares en caso de sismos, con el objeto de prevenir los graves impactos asociados a esta tecnología son los siguientes:

- Se suspende inmediatamente el abastecimiento eléctrico
- Las centrales se desactivan en forma automática mediante la inserción de las barras de control, para parar de inmediato la reacción en cadena
- Activación de generadores diesel para abastecer de energía a la central
- Si fallan los generadores diesel se activan unas baterías para mantener la refrigeración en forma provisional (máximo 8 horas) dando tiempo para que se restablezca la generación eléctrica
- Frente a una falla general de la refrigeración se procede a la refrigeración manual (feed and bleed): liberación de gas radiactivo de la vasija y alojándolo en las piscinas aisladas que se hallan dentro de la zona de contención. Para disminuir la presión se expulsa de forma controlada los gases radiactivos (llamado venteo) desde núcleo hacia las piscinas de combustible nuclear gastado.

Situación actual de los reactores

El pasado viernes 18 de marzo a las 14:00 horas, una semana después de iniciada la crisis nuclear en Japón, la situación de los reactores era la siguiente¹³:

Estado de las piscinas:

- Piscina del reactor 1: Una baja del nivel del agua hace suponer escapes en la piscina. Se prevé lanzar agua.
- Piscina del reactor 2: En ebullición. Se prevé lanzar agua.
- Piscina del reactor 3: Una primera ebullición fue detenida por el lanzamiento de agua desde helicópteros. No hay información sobre la eficacia del lanzamiento de agua desde los carros bombas.
- Piscina del reactor 4: Aparentemente está en ebullición.
- Piscina del reactor 5 y del reactor 6: El agua está estabilizada y controlado su nivel.
- Piscina de desactivación común del sitio (contiene 60% del combustible gastado): no hay información disponible sobre su estado.

Estado de los reactores:

Las salas de operaciones de todos los reactores estarían con altos niveles de radiación, lo que limita el tiempo de operación de los trabajadores.

- Reactor 1: 70% del núcleo del reactor estaría dañado, está parcialmente a descubierto. No hay daños en el muro de contención interno. Tiene poca refrigeración y sufrió una fusión parcial del núcleo tras una explosión de hidrógeno ocurrida el día domingo.

¹³ Nota de información del Instituto de Radio protección y de Seguridad Nuclear de Francia.

http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_Seisme-Japon_Point-situation-18032011-14h.pdf

- Reactor 2: 33% del núcleo del reactor estaría dañado. Las barras de combustible estuvieron expuestas temporalmente y hay daño del sistema de contención de la vasija del reactor. No se está realizando operaciones de venteo.
- Reactor 3: Núcleo parcialmente dañado. Falta refrigeración, se teme una fusión parcial del núcleo, ha habido una explosión de hidrógeno y hay altos niveles de radiación en su entorno.
- Reactor 4: Parte superior del edificio dañado por el incendio.
- Los reactores 5 y 6 tienen problemas de refrigeración, pero se encuentran apagados desde el terremoto.

¿Qué falló?

Como mencionamos anteriormente, ha sido muy difícil para las autoridades japonesas y para la población en general saber lo que ha estado ocurriendo exactamente en las instalaciones nucleares de Fukushima, ya que la información entregada por TEPCO ha adolecido de innumerables insuficiencias y adicionalmente ha entregado datos contradictorios. Es evidente que este complejo nuclear no estaba preparado para enfrentar un sismo de 9° de magnitud y el posterior tsunami, aunque este era un hecho esperable, después de un terremoto de esa magnitud. En Fukushima, no fue uno de los reactores que falló, sino los 3 que estaban en funcionamiento, además del incendio del reactor 4, así como la falla en la protección de las piscinas contenedoras del combustible gastado en los mismos reactores.

Un análisis de las declaraciones oficiales, la información recabada por los periodistas y el análisis de los expertos, además de los conocimientos disponibles sobre el funcionamiento de este tipo de centrales, permiten visualizar algunas de las principales fallas de los reactores de Fukushima y sus posibles consecuencias para el futuro inmediato.

1. Los generadores diesel son inundados por el maremoto y dejan de funcionar

A pesar de las recomendaciones de la OIEA sobre las condiciones de localización de las instalaciones nucleares, la central Fukushima Daiichi estaba funcionando a metros del mar y los generadores diesel de respaldo, se encontraban en el primer piso, cercanos al mar y sin protecciones suficientemente seguras, como por ejemplo en contenedores cerrados herméticamente al agua. El terremoto provocó la suspensión del abastecimiento energético, quedando la central dependiente de los generadores diesel para mantener funcionando la refrigeración de los reactores. Estos fallaron al cabo de una hora, posiblemente como consecuencia del tsunami. Las baterías de respaldo sólo podían mantener la refrigeración durante 8 horas. Esto llevó a que las barras de combustión no pudieran enfriarse lo suficiente, pues las bombas no contaban con electricidad para hacer circular el agua.

2. No se instalaron nuevos generadores, durante el periodo de 8 horas que cubría el sistema de refrigeración de emergencia.

No existe información precisa sobre lo ocurrido con los generadores diesel que deberían haber sido enviados a Fukushima Daiichi dentro de las 8 horas que establecía el protocolo de emergencia. Aparentemente tampoco se previó que los cortes de energía eléctrica podrían durar varios días luego de un terremoto de esa magnitud.

Según el OEIA recién el viernes 18 de marzo (una semana después del terremoto) se pudo instalar un generador diesel en la unidad 6, que estaría inyectando agua a las piscinas de refrigeración de los combustibles gastados en las unidades 5 y 6. Estas piscinas deben mantenerse a menos de 25 °C, y sin embargo la temperatura de las piscinas del reactor 4 llegó a 84°C el 13 de marzo y a 65°C y 62°C en las piscinas del reactor 5 y 6 respectivamente.

3. Se realizaron operaciones de venteo sin la suficiente información sobre la temperatura y el nivel del agua en los reactores

Al no funcionar los sistemas normales de refrigeración de los reactores, se comenzó a inyectar agua de mar con boro, a través del sistema de emergencia para incendios, sin lograr recuperar el nivel del agua necesaria para evitar el recalentamiento. Este procedimiento produjo grandes emanaciones de vapor de agua. Por otra parte, siguiendo los procedimientos establecidos, se realizaron operaciones de venteo en los reactores 1, 2 y 3 (eliminación de la presión interna del núcleo hacia las piscinas que estaban en los pisos superiores del edificio). Pero se evalúa que estas maniobras habrían hecho descender el nivel del agua del contenedor por debajo de las varillas de combustibles (cubiertas de Zircaloy) dejándolas al descubierto unos 1,8 metros. Esta maniobra produce normalmente hidrógeno (por una reacción de oxidación entre el agua y el Zircaloy). Pero como aparentemente no se conocía la temperatura exacta que había en el núcleo del reactor y el nivel del agua del contenedor, no se previó la cantidad de hidrógeno que se produciría. El hidrógeno es un gas explosivo en contacto con el oxígeno, lo que provocó explosiones en el exterior de los contenedores primarios de los reactores volando la parte superior de los edificios de contención de los reactores en funcionamiento. El techo del reactor 1 fue destruido por una explosión el 12 de marzo; el techo del reactor 2 sufrió lo mismo el 13 de marzo (con posibles fugas radiactivas); y el edificio exterior del reactor 3 fue destruido por la misma causa el 14 de marzo.

4. Las estructuras de contención de los reactores, no habrían sido adaptadas al objetivo de impedir la salida de los materiales radiactivos al medioambiente

El Dr. Magdi Ragheb, profesor de Ingeniería nuclear de la Universidad de Illinois, en un estudio sobre las estructuras de contención de los reactores BWR utilizados en Fukushima, señala que hay una confusión sobre el objetivo de estas estructuras. Estas fueron diseñadas para impedir el daño de los efectos de los elementos exteriores que incluyen misiles, tornados o tormentas con vientos de más de 100 Km. por hora, o aún el impacto de un Boeing 747. De hecho estas estructuras son muy fuertes hacia el exterior, pero son débiles en su curvatura interior. Actúan igual que la cáscara de un huevo, son difíciles de romper si se aplica una fuerza global desde el exterior, pero muy fáciles de romper si la fuerza proviene del interior.¹⁴

¹⁴ M. Ragheb, Containment Structures, 16 de marzo del 2011. Ver en: <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20457%20CSE%20462%20Safety%20Analysis%20of%20Nuclear%20Reactor%20Systems/Containment%20Structures.pdf>

Figura 4: Imagen de los reactores dañados al 17 de marzo del 2011



Fuente: Reuters, 17/03/ 2011

Esto podría explicar la destrucción de las partes superiores de los tres edificios que explotaron. Tal como se muestra en el esquema de la Figura 3 (página 11), el combustible gastado que se encuentra en las piscinas del reactor n°3 (parte superior del edificio), habría quedado al descubierto y aparentemente no contendría más agua. En los últimos días se ha intentado aportar agua mediante helicópteros militares y mediante aspersión desde camiones cisterna al edificio de los reactores 3 y 4. Según informo la OTAN esta operación aparentemente habría conseguido introducir cierta cantidad de agua en la piscina del reactor 3, el cual como se explico anteriormente contiene combustible de uranio y plutonio (Tabla 1).

5. Desprotección de las piscinas que contienen combustible gastado altamente radioactivo.

El reactor 4 de Fukushima, que no estaba en funcionamiento, se incendió entre el 15 y el 16 de marzo. La detonación asociada al incendio provocó dos fisuras de ocho metros cuadrados en el muro del edificio exterior del reactor, dejando en contacto con el exterior la piscina de combustible nuclear gastado. Este debe mantenerse siempre cubierto de agua para impedir que aumente su temperatura y que se liberen los elementos radiactivos a la atmósfera. En este momento la mayor preocupación se centra en la piscina del reactor 4, la cual según datos publicados por la AIEA, los días 14 y 15 de marzo estaba a 84°C. En cambio, las piscinas de combustible gastado de los reactores 5 y 6, no superaban en ese momento los 62 grados, aunque según los últimos informes oficiales están subiendo de temperatura.

Estas piscinas no tenían protecciones adecuadas y además se encuentran en la parte superior del edificio, el que fue muy dañado por las explosiones y los incendios¹⁵. Su única protección era el techo y el agua de las piscinas. Esto es aún más grave cuando se considera que los elementos radiactivos cesium-137, estroncio-90, yodina-129 y plutonio-239 están presentes en el combustible gastado en mayor proporción aun, que en el combustible utilizado en el núcleo del reactor.

Con respecto a la piscina común de contención de los combustibles gastados del complejo nuclear de Fukushima Daiichi, la que contiene 60% del material nuclear utilizado en la planta, no existe información.

¹⁵ <http://www.urgente24.com/noticias/val/5578/que-pasara-cuando-finalmente-estalle-fukushima.html>

Otros impactos ocurridos y que podrían repetirse en los próximos días

1. Errores del equipo humano que trabaja en la central

Respecto al equipo de emergencia que está operando en la planta Fukushima Daiichi, se desconoce hasta ahora sus nombres, su estado de salud y sus condiciones de trabajo. Tampoco se sabe cuántos minutos han estado expuestos a la radiación. Pero es de imaginar las condiciones extremas a las que han estado expuestos desde hace una semana: han debido soportar el terremoto, el tsunami y luego las explosiones y los incendios. De hecho, dos de ellos han desaparecido y otros 21 están heridos por las explosiones y los incendios.

La situación de stress severo a que están sometidos los operarios del complejo nuclear explica que se haya bloqueado en una ocasión el flujo de agua hacia el reactor; que en otro momento uno de los generadores diesel se haya quedado sin combustible, interrumpiendo el flujo de agua en momentos críticos del reactor n° 2¹⁶. En este escenario, también es posible que se hayan producido otros errores humanos importantes en una planta donde normalmente operan más de 1000 trabajadores.

Por ejemplo, habría que preguntarse cuál fue el rol de la utilización de agua de mar, en la reacción que provocó la explosión de la parte superior de los edificios. Considerando que el agua es un moderador de la reacción en cadena en estos reactores nucleares, hay expertos que se preguntan por las consecuencias de la utilización del agua de mar para enfriar los reactores, siendo que el agua es un moderador en este tipo de reactores.

2. Emisiones radioactivas a la atmósfera

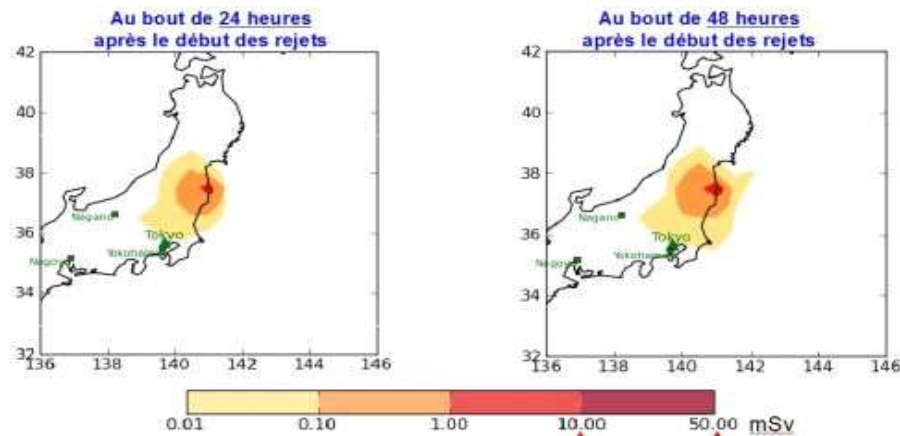
Según datos del OIEA en Fukushima se produjeron peaks de radiación de 400 milisievert durante las explosiones en las unidades 3 y 4.

El Instituto de Radio Protección y Seguridad Nuclear de Francia (IRNS) señala que en el mismo sitio de la central, la dosis de radiactividad a la cual sería expuesta una persona sin protección sería de 1000 mSv. A estas dosis se comienza a destruir la médula ósea, y disminuyen las plaquetas y los glóbulos blancos, con una alta probabilidad que estas personas mueran en las semanas o meses que siguen.

El IRNS hizo una simulación de las dosis de radiactividad que absorberían las personas sin ninguna protección, si uno de los núcleos de los reactores de Fukushima se fundiera en un 100%:

¹⁶ <http://www.theglobeandmail.com/news/world/asia-pacific/meltdown-looms-as-errors-mount-at-fukushima-nuclear-plant/article1943489/page1/>

Figura 5: Simulación de las dosis de radioactividad si uno de los núcleos de los reactores de Fukushima Daiichi se fundiera



Fuente: Instituto de Radio Protección y Seguridad Nuclear de Francia (IRSN)¹⁷

Los puntos críticos de mayor preocupación en los próximos días

La emergencia nuclear en Japón sigue en pleno desarrollo. A una semana del terremoto y tsunami que dañó el complejo nuclear de Fukushima Daiichi, todavía no se logra controlar la temperatura de los reactores. Es por ello que habrá que seguir con especial atención a lo menos los siguientes aspectos:

- Las temperaturas máximas del combustible nuclear y grado de fusión de los reactores.
- El grado de exposición al aire del combustible nuclear.
- El estado de los diferentes contenedores en los reactores y de las piscinas de combustible gastado de cada reactor.
- El estado de la piscina común de contención de combustible gastado del complejo nuclear.
- El estado de los mecanismos de ingreso del refrigerante a los reactores y las salidas para los cables de los instrumentos y el sistema de generación eléctrica, (ya que como señala el Dr. Ragheb estos serían los elementos más débiles de este tipo de reactor).
- Condiciones de la cámara de liberación de presión en los reactores
- Emisiones radiactivas a la atmósfera y al mar.
- Evacuación del agua de mar utilizada para enfriar los reactores.
- Dosis de radioactividad a la que se ha expuesto a la población y a los trabajadores del complejo nuclear.

¹⁷ El IRSN, es un Instituto de investigación público de Francia sobre los riesgos nucleares y radiológicos. Ha elaborado varios mapas interactivos sobre la posible dispersión de los elementos radioactivos provenientes de la central Fukushima Daiichi. Ver: <http://www.irsn.fr/FR/Documents/home.htm>

- Interrupciones de la generación eléctrica (lo que afecta no sólo al enfriamiento de los reactores, sino que también a las mediciones de radiactividad en el medio ambiente).
- Confinamiento posterior de los reactores inservibles.

El nivel de angustia y stress de la población

A la muerte de miles de personas y a la destrucción de hogares, infraestructura y ciudades que provocó el terremoto y el tsunami del 11 de marzo, se ha agregado la obligada evacuación más de 200.000 personas y niveles de temor y de angustia inaceptables para cualquier ser humano. La ciudad de Fukushima ha quedado desierta. No existen servicios básicos, ni comercio, ni personal de seguridad o policía.

El miedo a una fuga masiva de radiactividad en el complejo nuclear, ha convertido a Fukushima y a decenas de localidades vecinas en lugares de alto riesgo de los que todos desean huir. Pero no hay trenes, el recientemente reabierto aeropuerto está desbordado por pasajeros que quieren tomar un vuelo a cualquier parte y todas las gasolineras de esta ciudad de 350.000 habitantes exhiben carteles de "existencias agotadas".

Un centenar de damnificados se reúne alrededor de un transistor de radio en el gimnasio de la escuela primaria Seimei de Fukushima, escuchando los últimos detalles sobre la desesperada carrera de las autoridades para rebajar la temperatura en los reactores; información sobre la dirección del viento — indicativo de hacia dónde viajaría una hipotética nube radiactiva— e instrucciones sobre las medidas de precaución que deben tomarse en caso de contaminación masiva. “Nos están mintiendo”, dice un refugiado al escuchar las últimas noticias. “Queremos que alguien nos saque de aquí. Queremos irnos lo más lejos posible”.

Lo ocurrido en Japón muestra claramente el sinsentido de adoptar tecnologías de generación eléctrica tan riesgosas: la energía nuclear es una forma totalmente irracional de hervir agua para un mover turbinas de generación eléctrica. Adicionalmente, utilizar energía nuclear en un país sísmico, geológicamente inestable, en el que con certeza se deben esperar sismos y tsunamis con frecuencia y con gran intensidad, significa someter a las poblaciones humanas y al medio ambiente a riesgos inaceptables.

Referencias:

- Arjun Makhijani, *Post-Tsunami Situation at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Japan: Facts, Analysis, and Some Potential Outcomes*, Institute for Energy and Environmental Research, 11 marzo 2011
- Gobierno de Japón, *Convention on Nuclear Safety National Report for Japan*, Septiembre 2007.
- M. Ragheb, *Containment Structures*, 16 de marzo del 2011
- USNRC Technical Training Center, *Boiling Water Reactor (BWR) Systems*.
- Organismo Internacional de Energía Atómica, *Fomento de la seguridad en las instalaciones nuclear*.
- IRSN, Note d'information, Situation des réacteurs nucléaires au Japon suite au séisme majeur survenu le 11 mars 2011.