

**CONSECUENCIAS DEL TERREMOTO Y TSUNAMI
OCURRIDOS EL 11 DE MARZO DE 2011 EN JAPÓN:
ESTADO DE SITUACIÓN**

Pedro M. Sajaroff

Buenos Aires, 2 de mayo de 2011

CONTENIDO

PREFACIO

INTRODUCCIÓN

Sismicidad global

Algunos datos del Japón para ubicarse en su contexto

EVOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN

Eventos iniciantes

Consecuencias y acciones

SITUACIÓN DE LA CENTRAL NUCLEAR AL 26 DE ABRIL, 07 UTC

MONITOREO RADIOLÓGICO

Algunos datos para ubicarse en perspectiva

Depósito en suelos

Agua potable

Medición de plutonio en muestras de suelos

Medición de muestras de alimentos

Medición de muestras de agua de mar

Medición de muestras de organismos marinos

Tasa de dosis gamma

Trabajadores expuestos a radiación en el sitio

OIEA/FAO

OTRAS NOTICIAS

REPERCUSIÓN EN LA ESCALA INES

CONVENCIÓN SOBRE SEGURIDAD NUCLEAR

SITUACIÓN NO NUCLEAR EN JAPÓN

Dos casos singulares

Un aspecto relevante de la población

SITIOS DE INTERNET

COLOFÓN

REFERENCIAS

APÉNDICE 1: Un cuadro del pintor impresionista Hokusai

APÉNDICE 2: Criterios radiológicos asociados a la concentración de material radiactivo en alimentos debida al depósito en suelos

APÉNDICE 3: Niveles de orientación para concentraciones de I¹³¹ en agua potable

**CONSECUENCIAS DEL TERREMOTO Y TSUNAMI
OCURRIDOS EL 11 DE MARZO DE 2011 EN JAPÓN:
ESTADO DE SITUACIÓN**

Pedro M. Sajaroff

PREFACIO

El 11 de marzo de 2011 se produjo un terremoto en el Océano Pacífico, con epicentro cercano a la costa noreste de la isla mayor del Japón, al que luego siguió un tsunami. Los efectos combinados de ambos eventos en la zona territorial afectada –en particular la Prefectura Fukushima- fueron desoladores ya que vistos conjuntamente han provocado una tragedia no solamente para ese país sino para la Humanidad.

En efecto, en esa zona hubo miles de muertos y desaparecidos, y los daños materiales (viviendas, edificios públicos y privados, torres y redes de suministro eléctrico, carreteras, puentes, etc., arrasados) impactaron severamente tanto en sobrevivientes que quedaron sin vivienda, como en variadas actividades humanas, económicas e industriales, incluyendo restricciones temporales al suministro eléctrico en otras áreas.

Según la información dada por el ingeniero Antonio Godoy¹ el 29 de marzo, el terremoto² colapsó un área en el lecho del Pacífico estimada en unos 600 km de largo, 200 km de ancho y 10 km de profundidad. Su magnitud fue 8,9 en la escala Richter; es decir un evento natural extremo. El tsunami que se produjo a continuación por efecto del terremoto fue también otro evento natural extremo: la altura estimada preliminarmente de la ola fue 10 metros³.

Según Godoy, los datos históricos en esa zona del Japón durante un lapso de varias décadas registraban terremotos con magnitudes bastante menores que 9 en la escala Richter⁴, y alturas de ola de tsunamis menores que 6 metros.

Había un dato de 830 (siglo IX) que indicaba cualitativamente los efectos de un terremoto que podría haber tenido una magnitud similar, pero es una suposición ya que no mediaron mediciones con sismógrafos.

La central nuclear Fukushima Dai ichi, integrada por seis unidades y emplazada en la Prefectura Fukushima, fue diseñada conservativamente⁵ con estructuras sismo-resistentes para afrontar terremotos de magnitud siete en la escala Richter y muros rompe-olas de seis metros y medio de altura. Ante ambos eventos naturales extremos fuera de toda previsión razonable, cuatro de sus seis unidades⁶ del tipo BWR⁷ [1] resultaron seriamente dañadas.

¹ *International Seismic Safety Centre, IAEA, Vienna.*

² *Que en realidad, aclaró, fueron tres longitudinales casi simultáneos.*

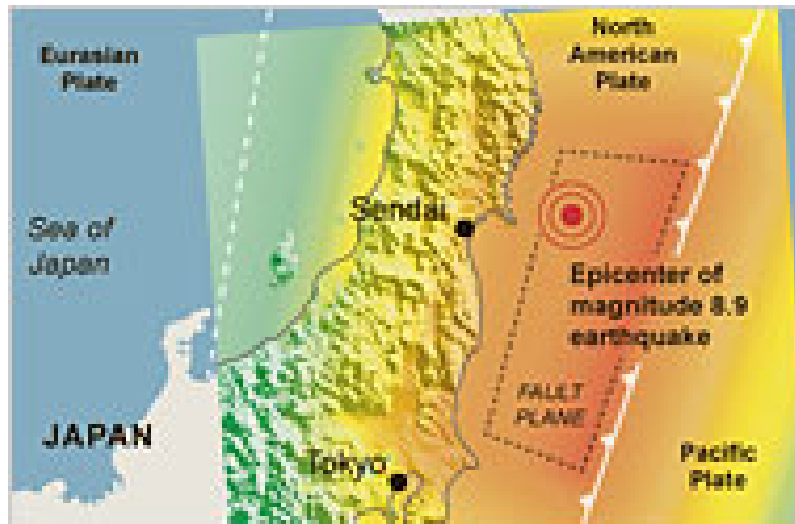
³ *Según un dato reciente, su altura fue 14 a 15 metros.*

⁴ *Al lector interesado le sugiero que se informe de las implicancias de esta escala logarítmica.*

⁵ *Este término significa que el diseño se hizo con parámetros mayores que los valores máximos de los registros históricos.*

⁶ *En la nomenclatura japonesa es sinónimo de reactores nucleares de potencia.*

⁷ *Boiling Water Reactors según sus siglas en inglés, Reactores de Agua en Ebullición.*



Epicentro del terremoto

INTRODUCCIÓN

Sismicidad global

En la figura 1⁸ se presenta un esquema global de placas tectónicas, en el que para este trabajo cabe destacar una de las zonas de elevada peligrosidad sísmica: el Cinturón de Fuego del Pacífico.

Chile, Japón y Nueva Zelanda -donde se desencadenaron los recientes grandes terremotos- se encuentran circunscriptos dentro de ese Cinturón (Haití, golpeado por un terremoto de magnitud 7,2 en enero de 2010, se encuentra sobre la Placa del Caribe).

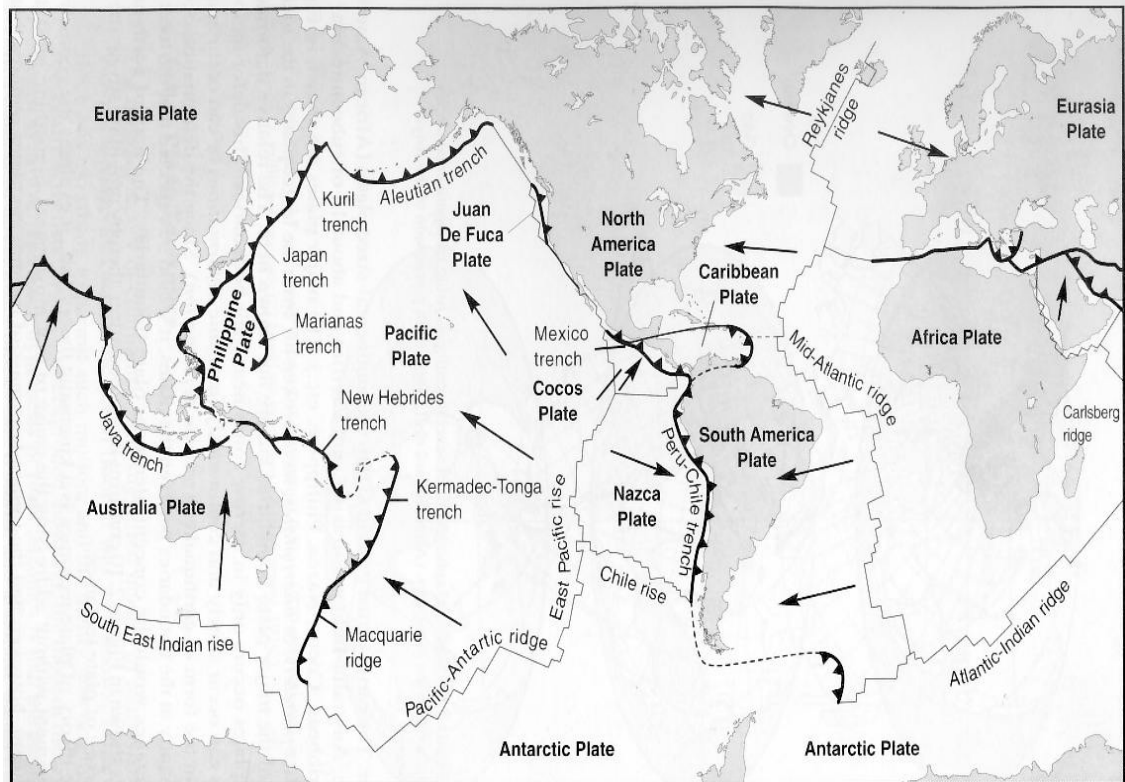


Figura 1. Tectónica de Placas

Algunos datos del Japón para ubicarse en su contexto

Superficie: ~ 380.000 km² (la de la Argentina, ~ 2.800.000 km²)

Población: 128 millones (la de la Argentina, ~ 40 millones)

Superficie en buena medida montañosa (ver orografía en la figura siguiente)

Ubicación geográfica del archipiélago: Océano Pacífico, frente a ambas Corea, China y Rusia

⁸ Proporcionada por el profesor ingeniero Carlos Llopiz, Instituto de Mecánica Estructural y Riesgo Sísmico, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.

La división territorial es en prefecturas:

Hokkaido	Shiga
Aomori	Kyoto
Iwate	Osaka
Miyagi	Hyōgo
Akita	Nara
Yamagata	Wakayama
Fukushima	Tottori
Ibaraki	Shimane
Tochigi	Okayama
Gunma	Hiroshima
Saitama	Yamaguchi
Chiba	Tokushima
Tokyo	Kagawa
Wakayama	Ehime
Niigata	Kōshi
Toyama	Fukuoka
Ishikawa	Saga
Fukui	Nagasaki
Yamanashi	Kumamoto
Nagano	Ōita
Gifu	Miyazaki
Shizuoka	Kagoshima
Aichi	Okinawa
Mie	-----

Geografía y orografía:

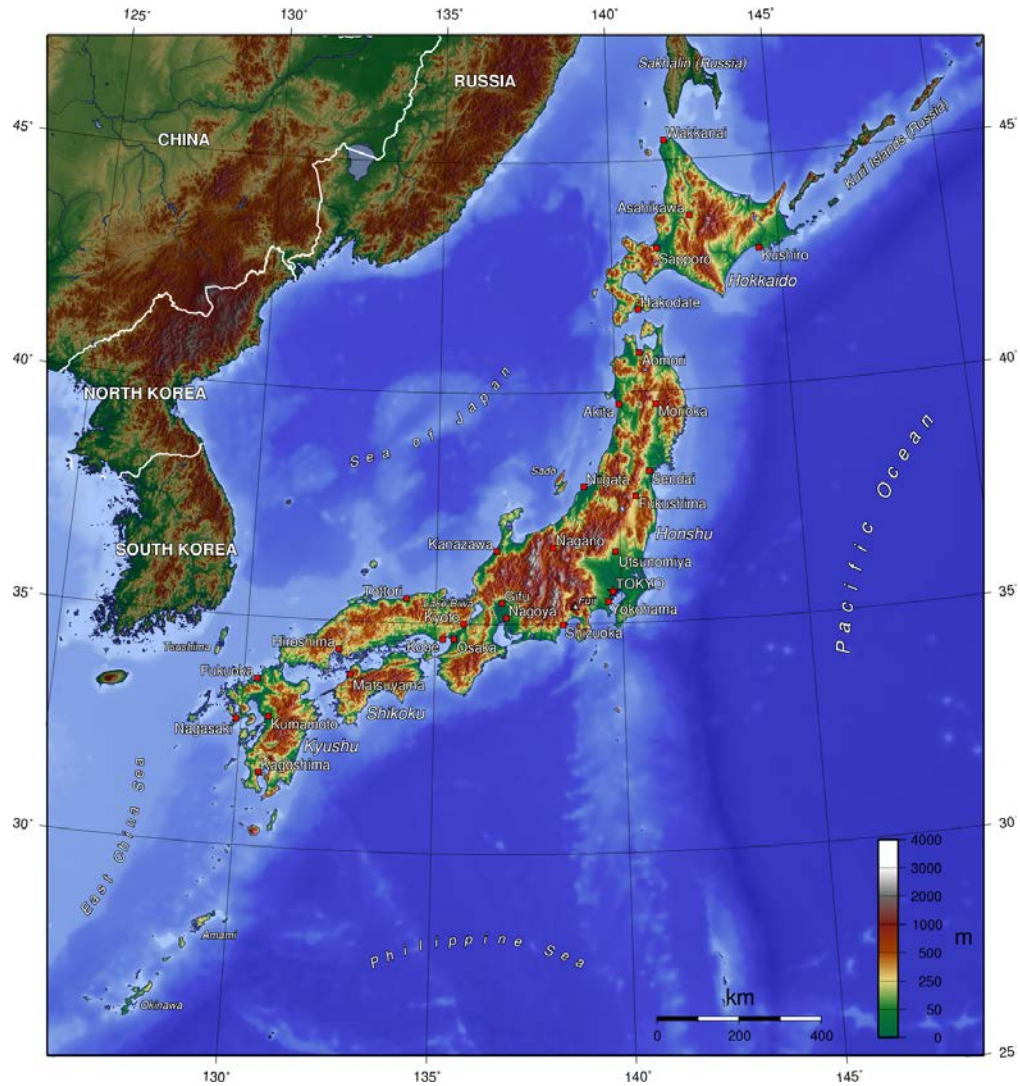


Figura 2. Características geográfico-orográficas

Nótense las ubicaciones de Fukushima y Tokio (y las de Hiroshima y Nagasaki respecto de Tokio)⁹

⁹ Sobre ambas ciudades se hicieron detonar en la atmósfera artefactos nucleares militares en 1945. El lector podrá inferir conclusiones teniendo en cuenta las distancias a Tokio y los valores de tasa de dosis gamma en aire y de depósito en suelo en Tokio resultantes del accidente en la central nuclear Fukushima Dai ichi.

Tipo y ubicación geográfica de las centrales nucleares instaladas
(datos al 31 de marzo de 2007)

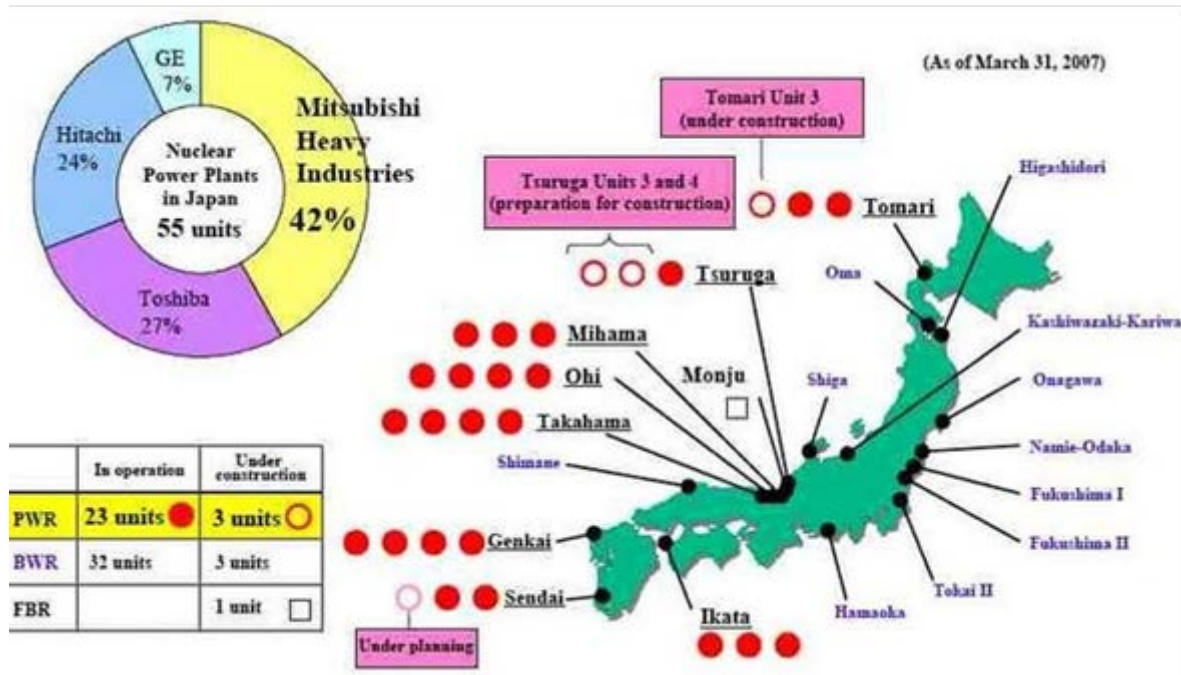


Figura 3. Parque de centrales nucleares en Japón

55 unidades en operación

7 en construcción (una de ellas, Monju, un *fast breeder reactor*)

Nota: en el Apéndice 1 presento una imagen perteneciente al impresionismo japonés que puede asociarse al contexto de este trabajo.

EVOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN

Eventos iniciantes

Las ondas sísmicas del terremoto en el suelo de la Prefectura Fukushima provocaron –según la información disponible- la caída de torres de las redes de alimentación eléctrica a las cuales venía suministrando energía la central nuclear Fukushima Dai ichi, y de las cuales recibía a su vez energía para consumo propio. Es decir, la central se quedó sin alimentación eléctrica externa.

Ante la ocurrencia de la excitación sísmica, el correspondiente sistema de seguridad produjo automáticamente la extinción¹⁰ de las tres de las seis unidades de la central nuclear que estaban en funcionamiento.

De no haber ocurrido a posteriori el tsunami, hubieran actuado los generadores Diesel de emergencia previstos para energizar el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo de las unidades que funcionaban, la instrumentación y control, etc. En este caso el escenario hubiera quedado circunscripto a un incidente operacional¹¹ y parada segura¹², sin evolucionar a una situación accidental¹³ [2].

Pero el tsunami ocurrió y al llegar a la Prefectura Fukushima arrastró –como si fuesen guijarros- los Diesel y equipamiento de refrigeración de emergencia, lo que provocó la falta de la adecuada refrigeración de los elementos combustibles alojados en los núcleos de las tres unidades que estaban en funcionamiento. Así, esos elementos combustibles fueron quedándose paulatinamente descubiertos de agua, pues la que tenían para enfriarlos durante la operación se fue evaporando y no se la pudo ir reponiendo. Para garantizar la integridad de los elementos combustibles es esencial asegurar su refrigeración durante el tiempo necesario para remover el calor residual generado por el decaimiento del material radiactivo contenido en ellos como resultado de la reacción nuclear propia de la operación. El tsunami produjo además averías severas en una cuarta unidad que no estaba funcionando.

Y así se inició este escenario accidental que no se limita al nuclear, es mucho más amplio aunque no se lo presentó como tal en variados medios de comunicación masiva ya que la actividad nuclear tiene alto impacto en la opinión pública debido a la percepción subjetiva del riesgo.

¹⁰ En aras de la claridad para el lector no especializado, según la terminología de la Autoridad Regulatoria Nuclear de nuestro país la extinción del reactor es el proceso mediante el cual el núcleo del reactor es llevado al estado subcrítico, permaneciendo en este estado con un margen suficiente de antirreactividad durante un intervalo de tiempo apropiado.

¹¹ Similarmente, proceso operacional que produce una alteración del funcionamiento normal pero que, debido a la existencia de características de diseño apropiadas, no ocasiona daños significativos a los elementos de importancia para la seguridad ni conduce a situaciones accidentales.

¹² Estado en el cual el reactor se mantiene extinguido y adecuadamente refrigerado durante un intervalo de tiempo apropiado.

¹³ Alteración grave de una situación operacional (definida como funcionamiento normal o incidente operacional) que puede conducir a consecuencias radiológicas significativas para las personas expuestas a radiación, si los correspondientes sistemas de seguridad no funcionan según se ha previsto en el diseño.

Consecuencias y acciones

Poco después, las Autoridades gubernamentales decidieron preventivamente la evacuación de los sobrevivientes de esa Prefectura en un radio de 20 km con centro en la central nuclear. A los ubicados en una corona circular comprendida entre los 20 y 30 km se les indicó que en lo posible mantuviesen puesta a cubierto en su casa o, a los que la habían perdido, en centros de refugio temporal y se les distribuyó pastillas de yoduro de potasio para eventual ingestión. Si su ingesta fuere necesario, se satura la glándula tiroidea con yodo estable a fin de evitar en ella la acumulación de yodo radiactivo.

En lo que incumbe a la central nuclear Fukushima Dai ichi, desde el 11 de marzo la situación se mantiene muy seria pero hay signos de recuperación de algunas funciones tales como energía eléctrica e instrumentación. La tabla siguiente detalla el estado de cada unidad al 26 de abril, 07 UTC¹⁴.

Si bien los datos de diversos parámetros y sistemas de la tabla son técnicos, los lectores no especializados podrán inferir la seriedad de la situación e, incluso, hacer un seguimiento propio de su evolución en el devenir.

Para aquellos que no están familiarizados con situaciones accidentales o emergencias de diversa índole debe ser claro que no basta con tener información de que ocurrió tal o cual accidente (y no solamente en la actividad nuclear), hay que tener también información de su severidad y consecuencias [3] [4].

¹⁴ *Siglas en inglés de tiempo universal coordinado: el tiempo de la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo.*

SITUACIÓN DE LA CENTRAL NUCLEAR AL 26 DE ABRIL, 07 UTC

Unidad	1	2	3	4	5	6
Potencia MWe/MWt	460/1380	784/2381	784/2381	784/2381	784/2381	1100/3293
Tipo de reactor	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Estado al momento del terremoto	En servicio, extinción automática	En servicio, extinción automática	En servicio, extinción automática	Fuera de servicio	Fuera de servicio	Fuera de servicio
Integridad del núcleo y del combustible	Dañada	Severamente dañada	Dañada	No había combustible en el reactor	En parada fría. Se la mantiene así con energía eléctrica fuera del sitio y equipamiento de la unidad	En parada fría. Se la mantiene así con energía eléctrica fuera del sitio y equipamiento de la unidad
Integridad del recipiente de presión y del sistema de enfriamiento del reactor	Temperatura del recipiente de presión disminuyendo	Temperatura del recipiente de presión estable	Temperatura del recipiente de presión estable	No aplicable por haber estado fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Integridad de la contención	Sin información	Sospecha de daño	Sospecha de daño	No aplicable por haber estado fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Energía eléctrica alterna	Disponible para instrumentación e iluminación en sala de control principal	Disponible para instrumentación e iluminación en sala de control principal	Disponible para instrumentación e iluminación en sala de control principal	Disponible para instrumentación e iluminación en sala de control principal	Ídem arriba	Ídem arriba
Edificio	Daño severo	Daño leve	Daño severo	Daño severo	Ídem arriba	Ídem arriba
Nivel de agua en el recipiente de presión	Aprox. la mitad del combustible descubierta	Aprox. la mitad del combustible descubierta	Aprox. la mitad del combustible descubierta	No aplicable debido al estado de fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Presión en el recipiente de presión	Rediciéndose lentamente	Estable	Estable	No aplicable debido al estado de fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Inyección de agua en el recipiente de presión	Inyección de agua no marina con una bomba móvil con alimentación eléctrica externa al sitio	Inyección de agua no marina con una bomba móvil con alimentación eléctrica externa al sitio	Inyección de agua no marina con una bomba móvil con alimentación eléctrica externa al sitio	No aplicable debido al estado de fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Inyección de agua en la contención	Sin información	Sin información	Sin información	No aplicable debido al estado de fuera de servicio	Ídem arriba	Ídem arriba
Pileta de EECCs quemados	Inyección de agua con bomba camión de concreto	Inyección de agua a la línea de enfriamiento de la pileta	Inyección ídem y rociado periódico	Inyección de agua con bomba camión de concreto	Ídem arriba	Ídem arriba

MONITOREO RADIOLÓGICO

Algunos datos para ubicarse en perspectiva [5]:

- Fondo natural de radiación promedio global: ~ 2,4 mSv/año ~ 0,1 µSv/hora
- Límite de dosis ocupacional anual (en operación normal): 20 mSv
- Límite de dosis anual para individuos del público (ídem): 1 mSv
- Nivel de intervención para trabajadores calificados voluntarios ante una emergencia radiológica o nuclear¹⁵ en Japón: 250 mSv
- Dosis por una placa con rayos x de tórax: ~ 10 mSv
- Dosis por una tomografía computada de tórax: ~ 50 mSv
- Vida media del I¹³¹: ≈ 8 horas
- Vida media del Cs¹³⁷: ≈ 30 años

Depósito en suelos

El 28 de marzo se detectó depósito de I¹³¹ en doce prefecturas y de Cs¹³⁷ en nueve. Los valores más altos fueron los medidos en la de Fukushima, 23.000 Bq/m² de I¹³¹ y 790 Bq/m² de Cs¹³⁷.

En las demás prefecturas donde se detectó depósito de I¹³¹, el rango medido fue de 1,8 a 280 Bq/m², en tanto que para Cs¹³⁷ fue de 5,5 a 52 Bq/m².

En el distrito Shinjyuku de Tokio, los valores medidos diariamente del depósito de I¹³¹ y de Cs¹³⁷ estuvieron por debajo de 50 Bq/m².

El 25 de abril los valores medidos del depósito de Cs¹³⁷ en cinco prefecturas estuvieron comprendidos entre 3,2 y 20 Bq/m².

Véase el Apéndice 2 para ubicar estos valores en el marco de la protección radiológica [6] [7].

Agua potable

El 28 de marzo el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar Social informó que las restricciones sobre el consumo de agua potable debido a la concentración de I¹³¹ se mantenían solamente en cuatro localidades de la Prefectura Fukushima. No hubo recomendaciones para restricciones por Cs¹³⁷.

El 25 de abril se pudo aún detectar I¹³¹ o Cs¹³⁷ pero sólo en unas pocas prefecturas.

Al 1° de abril la única restricción remanente para el consumo de agua potable referida a I¹³¹ (para un nivel de 100 Bq/litro) se mantenía en un único pueblo de la Prefectura Fukushima y solamente para niños.

Para ubicar a estos valores en el contexto de la protección radiológica, en el Apéndice 3 presento niveles de orientación para I¹³¹ en agua potable y su equivalencia estimada con la exposición debida a varias actividades usuales cuando corresponde [8].

¹⁵ Con el objetivo primario de salvar vidas o prevenir lesiones graves, evitar una gran dosis colectiva o impedir la evolución de situaciones catastróficas.

Medición de plutonio en muestras de suelos

El 21 y 22 de marzo se recolectaron muestras de suelo a distancias comprendidas entre 500 y 1000 metros de la chimenea de descarga de las unidades 1 y 2 de la central nuclear, las que se analizaron para identificar Pu²³⁸, Pu²³⁹ y Pu²⁴⁰.

Se detectó Pu²³⁸ en 2 de las 5 muestras, en tanto que Pu²³⁹ y Pu²⁴⁰ en las 5.

Esta noticia tuvo fuerte impacto en medios de comunicación pero no se aclaró lo importante: que esos valores medidos de concentraciones para Pu²³⁸, Pu²³⁹ y Pu²⁴⁰ fueron similares a los medidos desde bastante antes del terremoto y tsunami en todo el territorio del Japón como resultado de los ensayos de armas nucleares en la atmósfera que efectuaron algunos países, esencialmente en la segunda mitad del siglo XX¹⁶.

La relación de las concentraciones isotópicas de Pu²³⁸, de Pu²³⁹ y Pu²⁴⁰ indican que muy pequeñas cantidades de plutonio podrían haber sido liberadas desde Fukushima Dai ichi, pero no sería algo sorprendente si es que una de sus unidades posee elementos combustibles de óxidos mixtos de uranio y plutonio¹⁷, pero, primero, se necesita confirmación de que sea así y, segundo, evaluación y análisis en detalle.

Medición de muestras de alimentos

Del 24 al 29 de marzo se tomaron 63 muestras de vegetales, frutillas, hongos, huevos, mariscos y leche pasteurizada en ocho prefecturas (Chiba, Fukushima, Gunma, Ibaraki, Miyagi, Niigata, Tochigi y Yamagata).

Los resultados de las mediciones de I¹³¹, Cs¹³⁴ y Cs¹³⁷ informados entre el 27 y el 29 de marzo no superaron el límite de detección o estuvieron por debajo de los valores establecidos por las Autoridades competentes.

El 26 de abril los datos informados por el Ministerio de Salud, Trabajo y Bienestar Social para 39 muestras de vegetales, hongos, carne, mariscos y leche a granel no procesada tomadas el 22 y entre el 24-26 de abril en varias prefecturas (Chiba, Fukushima, Gunma, Hokkaido, Ibaraki, Kanagawa y Yamagata) indicaron que los niveles de I¹³¹, Cs¹³⁴ y Cs¹³⁷ no eran detectables o estaban bien por debajo de los valores establecidos por dichas Autoridades.

Medición de muestras de agua de mar

El 27 y 28 de marzo los resultados de las mediciones en estaciones marinas de monitoreo a 30 km de la costa de Fukushima fueron, tal como los anteriores, inferiores al límite de detección.

El 26 de marzo los resultados del análisis de agua de mar a 330 metros al este del punto de descarga de las unidades 1 a 4 fueron 74.000 Bq/litro de I¹³¹, de 12.000 Bq/litro de Cs¹³⁷ y de 12.000 Bq/litro de Cs¹³⁴. El 27 de marzo los

¹⁶ Esos ensayos se efectuaron en regiones de ambos hemisferios y depositaron plutonio no solamente en Japón.

¹⁷ Combustible MOX, en la jerga especializada.

resultados fueron 11.000 Bq/litro de I^{131} y 1900 Bq/litro de Cs^{137} ; es decir, mostraron una significativa reducción.

A 30 metros del punto común de descarga de las unidades 5 y 6 también se recolectaron muestras de agua de mar. El 26 de marzo los resultados de estas muestras mostraron un incremento de los valores medidos pero los del día 27 fueron menores.

Era concebible que estos valores fuesen bastante variables, dependiendo de los niveles de descarga. En efecto, entraron en juego el proceso de dilución por corrientes oceánicas y en aguas profundas así como el decaimiento de radionucleidos de vida media corta, tales como I^{131} o I^{132} . Si las descargas se mantienen estables es esperable que esos valores sigan gradualmente disminuyendo.

Medición de muestras de organismos marinos

En marzo los primeros resultados fueron informados por el Instituto Nacional de Investigación sobre Investigación Pesquera. De las 5 muestras de pescado fresco recolectadas en el puerto de la prefectura de Chiba, 4 de ellas indicaron concentraciones de Cs^{137} por debajo del límite de detección.

En la quinta muestra se midió 3 Bq/kg de pescado fresco, levemente por encima del límite de detección. Esta concentración estaba lejos de cualquier preocupación radiológica por el consumo de pescado.

Todavía es temprano para sacar conclusiones sobre concentraciones esperables en alimento marino. Sin embargo es esperable que las concentraciones iniciales detectadas en agua de mar vayan rápidamente reduciéndose por dilución y decaimiento radiactivo, y por ende que los niveles en alimento marino no alcancen niveles por encima de los límites establecidos para consumo, presumiendo obviamente que no aumenten las descargas de agua de mar contaminada desde la central.

Preventivamente no se permite que el pescado y otros alimentos marinos sean por ahora recolectados en un área cercana a la central nuclear, una medida de precaución razonable.

Algunas algas marinas acumulan en particular I^{131} y Tc^{99m} . Sin embargo, estos valores pronto se reducirán significativamente debido a la vida media corta de esos radionucleidos (del orden de 8 y 6 horas respectivamente).

TEPCO lleva a cabo el programa de monitoreo marítimo en puntos muy cercanos y hasta un radio de unos 20 km de las áreas de descarga de Fukushima Dai-ichi. En puntos más alejados lo realiza el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología (MEXT). La contaminación del ambiente marino se debió a depósito aéreo y a descargas de agua contaminada.

El monitoreo *off-shore* en los puntos de muestreo consiste en:

- Mediciones de tasa de dosis ambiental en aire por encima del mar
- Análisis de polvo ambiental encima del mar
- Análisis de muestras de agua de mar superficial

- Análisis de muestras de agua de mar recolectada a 10 metros por arriba del lecho marino

Tasas de dosis gamma

Se vienen midiendo diariamente en las 47 prefecturas y desde el 20 de marzo se observa una tendencia decreciente.

Recientemente, en la Prefectura Fukushima los valores medidos fueron 1,7 a 1,8 $\mu\text{Sv/hora}$. En Ibaraki fue 0,12 $\mu\text{Sv/hora}$ y en las restantes 0,1 $\mu\text{Sv/hora}$ (es decir, del orden del fondo natural de radiación).

El 25 de abril, en la zona este de la Prefectura Fukushima y a distancias de 30 km de la central nuclear Fukushima Dai ichi, los valores fueron 0,1 a 19,4 $\mu\text{Sv/hora}$ con tendencia también decreciente.

El 28 de marzo, dos grupos de especialistas del OIEA efectuaron mediciones propias con los siguientes resultados:

- Grupo 1 en ocho ubicaciones en la región de Tokio: 0,08 a 0,13 $\mu\text{Sv/hora}$
- Grupo 2 en el radio de 30 a 46 km desde Fukushima Dai ichi: 0,5 a 3 $\mu\text{Sv/hora}$

Trabajadores expuestos a radiación en el sitio

El día 24 de marzo fueron cinco, dos de ellos con contaminación superficial en pies y brazos.

La sintomatología observada fue enrojecimiento temporal transitorio, sugiriendo dosis localizadas comprendidas entre 2000 a 3000 mSv.

Los valores de sus dosímetros personales para todo el cuerpo estuvieron comprendidos entre 173 y 180 mSv (compárese con el valor de 250 mSv del nivel de intervención).

Estuvieron bajo observación médica durante cuatro días.

El 28 se les dio el alta a tres de los cinco, los dos restantes presentaban problemas locales en piernas y a esa fecha seguían bajo observación médica pero no había presunción de que sus vidas peligrasen [9] [10] [11].

OIEA/FAO¹⁸

El 28 de marzo, un equipo conjunto de OIEA/FAO de expertos en evaluación de seguridad de alimentos se reunió con autoridades gubernamentales locales en la Prefectura Ibaraki y proporcionó asesoramiento sobre contaminación de alimentos y el ambiente, incluyendo los mecanismos y la persistencia de tal contaminación, estrategias de remediación, estándares internacionales, diseño de planes de muestreo y transferencia de radionucleidos a plantas, particularmente en lo relacionado con la producción de arroz en el área [12].

¹⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Las autoridades gubernamentales de Ibaraki le informaron al equipo sobre la extensión de contaminación, los principales productos agropecuarios afectados, las principales áreas de producción y métodos de producción (invernaderos, cielo abierto) y niveles de contaminación encontrados.

Con similar propósito, el equipo se reunió también el mismo día con las autoridades gubernamentales de la Prefectura Tochigi y el 29 con las de Gunma.

OTRAS NOTICIAS

2 de abril

TEPCO informó que en el edificio de turbina de la unidad 4 se habían encontrado los cadáveres de dos trabajadores considerados desaparecidos desde el 11 de marzo. A la fecha no hubo comunicación de la causa de sus muertes pero se descartó que hubiese sido por sobreexposición a la radiación.

4 de abril

TEPCO informó que había intentado sellar la posible vía de pérdida de agua contaminada al mar desde una trinchera del edificio de turbina de la unidad 2 inyectando primero cemento y luego polímeros, pero al día 3 no lo había logrado. El 6 comunicó que pudo hacerlo con otros materiales selladores.

7 de abril

Ocurrencia de una nueva réplica (que fueron muy numerosas) del terremoto con magnitud algo superior a 7. No se informó la ocurrencia de un nuevo tsunami ni de daños adicionales.

REPERCUSIÓN EN LA ESCALA INES

Estas siglas en inglés son las de la Escala Internacional de Sucesos Nucleares y Radiológicos, copatrocinada por el OIEA y OECD/AEN¹⁹, creada a posteriori del accidente de Chernobyl como un medio de información rápida de la severidad de estos sucesos [13].

Consta de siete niveles cuyas descripciones son:

Nivel 7 Accidente grave

Nivel 6 Accidente importante

Nivel 5 Accidente con consecuencias de mayor alcance

Nivel 4 Accidente con consecuencias de alcance local

Nivel 3 Incidente importante

Nivel 2 Incidente

Nivel 1 Anomalía

¹⁹ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/Agencia de Energía Nuclear.

En realidad los niveles son ocho pues hay otro por debajo de la Escala (un Nivel 0) Sin significación para la seguridad.

Los criterios para la clasificación tienen en cuenta, según corresponda, las personas y el ambiente, las barreras y controles radiológicos en las instalaciones, y la defensa en profundidad²⁰.

Recientemente en la comunidad nuclear internacional y en el público provocó confusión la noticia de que el accidente en la central nuclear Fukushima Dai ichi había sido clasificado en el Nivel 7 tal como el de Chernobyl, pese a que las características y consecuencias de ambos accidentes son muy diferentes (causas, niveles de liberaciones al ambiente y además en el primero, la inexistencia de víctimas por síndrome agudo de radiación).

Es así que considero recomendable que esta Escala sea revisada.

El lector interesado puede consultar el Manual del Usuario de INES, Edición de 2008, recientemente publicado por el OIEA en español.

CONVENCIÓN SOBRE SEGURIDAD NUCLEAR²¹

En la Quinta Reunión de Examen trianual que tuvo lugar recientemente en Viena, la delegación japonesa no pudo presentar el escenario accidental de Fukushima Dai ichi en detalle debido al poco tiempo transcurrido desde su ocurrencia y a que se desconoce mucho aún de las averías en el interior de las unidades dañadas. Seguramente en la próxima Reunión, o antes, la comunidad nuclear internacional recibirá y discutirá tal información con el fin de aprovechar las lecciones aprendidas, una buena práctica generalizada que se hace desde Chernobyl para mejorar el conocimiento.

SITUACIÓN NO NUCLEAR EN JAPÓN

Lo que me llamó la atención es que algo después del 11 de marzo numerosos medios de información dejaron de ocuparse por las personas de las zonas afectadas que perdieron familiares o viviendas, que dejaron de tener recursos económicos o ingresos por pérdida de empleo debido a la destrucción de fábricas, comercios, carreteras, puentes, sumado a restricciones de suministro eléctrico, falta de agua potable, salud pública limitada, etc. En cambio sí se siguieron ocupando de la evolución de la situación en Fukushima Dai ichi.

Dos casos singulares

Hace pocas semanas se encontró con vida en el océano a un hombre anciano arriba de un techo de madera que hizo de balsa salvadora, y en tierra a un

²⁰ INSAG-10 *Defence in Depth in Nuclear Safety, a Report of the International Nuclear Safety Advisory Group; International Atomic Energy Agency, Fundamental Safety Principles, Principle 8.*

²¹ *Puesta en vigencia luego del accidente de Chernobyl, la integran 72 Partes Contratantes (incluyendo todos los países con centrales nucleares en construcción u operación).*

albatros que había sobrevivido (otro individuo añoso pues es el mayor de la colonia de estas aves en la zona de Fukushima²²).

Un aspecto relevante de la población

Cuando vi filmaciones del 11 y 12 de marzo observé actitudes que reflejaban una cultura sólidamente adquirida. Me impactó la tranquilidad, orden y acatamiento de numerosas personas de varias ciudades a directivas gubernamentales para evacuar edificios, dirigirse a tal o cual lugar, la falta de pánico y saqueos, el respeto al prójimo cuando se distribuían alimentos y agua potable.

Además pensé que seguramente debía haber integrantes de los grupos de intervención en Fukushima Dai ichi que habían perdido a familiares, amigos o vivienda, sin embargo no encontré información sobre abandono de puestos de trabajo.

Estos atributos reflejan el haber aprendido a convivir desde hace milenios con terremotos y tsunamis, no es casual que este último término provenga del idioma japonés.

SITIOS DE INTERNET

www.iaea.org	International Atomic Energy Agency
www.nisa.meti.go.jp/english	Japan Nuclear and Industrial Safety Agency
www.icrp.org	International Commission on Radiological Protection
www.who.int	World Health Organization
www.fao.org	UN Food and Agriculture Organization
www.codexalimentarius.net/web/index_en.jsp	Codex Alimentarius
www.nea.fr	OECD Nuclear Energy Agency
www.radioproteccionsar.org.ar	Sociedad Argentina de Radioprotección
www.arn.gob.ar	Autoridad Regulatoria Nuclear
www.nrc.gov	US Nuclear Regulatory Commission
www.irsn.fr	Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire

COLOFÓN

En la central nuclear Fukushima Dai ichi las acciones remediales prosiguen y el lector interesado puede seguir su evolución obteniendo regularmente información en sitios de Internet, en particular los de IAEA y NISA.

En tal sentido será significativa la evaluación detallada que se presente a la comunidad internacional a través de misiones de ese Organismo Internacional y de la Convención sobre Seguridad Nuclear.

²² Se lo pudo identificar gracias a un anillo que tenía en una de sus patas que indicaba precisamente que era el más anciano de la colonia; fue su único sobreviviente.

REFERENCIAS

[1] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Boiling Water Reactor (BWR) Systems, Reactor Concepts Manual, USNRC Technical Training Center, Washington (2011)

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1; jointly sponsored by: European Atomic Energy Community, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, International Maritime Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization; IAEA, Vienna (2006)

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Requirements GS-R-2, jointly sponsored by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), IAEA, International Labour Organization (ILO), OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA), Pan American Health Organization (PAHO), United Nations Office for the Co-ordination of Humanitarian Affairs (OCHA) and World Health Organization (WHO); IAEA, Vienna (2002)

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, Safety Guide GS-G-2.1, jointly sponsored by FAO, IAEA, ILO, PAHO, OCHA, WHO; IAEA, Vienna (2007)

[5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation, People and the Environment, IAEA, Vienna (2004)

[6] UNITED NATIONS FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION / WORLD HEALTH ORGANIZATION, Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, Codex Stan 193-1995, Adopted 1995, Revised 1997, 2006, 2008, 2009, Amended 2009, 2010; Geneva (2010)

[7] WORLD HEALTH ORGANIZATION / FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Information on Nuclear accidents and radioactive contamination of foods, INFOSAN Note, WHO/FAO, Geneva (2011)

[8] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Focus on food safety and water quality, SITREP No. 27, WHO, Manila (2011)

[9] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Publicación 103, Recomendaciones 2007; traducida del inglés por la Sociedad Española de Protección Radiológica y la Asociación de Profesionales de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Actividad Nuclear con la colaboración de las siguientes instituciones del Reino de España: Concejo de Seguridad Nuclear (CSN); Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (ENRESA); ENUSA Industrias Avanzadas S.A. y Asociación Española de la Industria Eléctrica (UNESA), Madrid (2008)

[10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, patrocinadas conjuntamente por la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollos Económicos, el Organismo Internacional de Energía Atómica, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Organización Internacional del Trabajo, la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud; OIEA, Viena (1997)

[11] AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR, Norma AR 10.1.1 Norma básica de seguridad radiológica, Rev. 3, ARN, Buenos Aires (2003)

[12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Publication 109 Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, ICRP, Oxford (2009)

[13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, International Nuclear and Radiological Event Scale, IAEA, Vienna (2008)

APÉNDICE 1

Un cuadro del pintor impresionista Hokusai



Great Wave off Kanagawa, *circa* 1820

APÉNDICE 2

Criterios radiológicos asociados a la concentración

de material radiactivo en alimentos debida al depósito en suelos

Cuando por un accidente, tal como el de la central nuclear Fukushima Dai ichi, se produce la liberación al ambiente de material radiactivo bajo forma de gases y partículas (líquidas y sólidas), éste asciende por encontrarse a mayor temperatura que la de la atmósfera circundante, es arrastrado por vientos y gradualmente va depositándose por acción de la gravedad.

El depósito de material radiactivo en suelos implica su contaminación, incluyendo lo que hay sobre ellos, *inter alia*, vegetales y animales, lo cual toma particular importancia cuando pasan a ser alimentos de consumo humano.

En estas condiciones, la vía de exposición interna de animales herbívoros (por ejemplo, vacunos y caprinos) es a través de los vegetales contaminados que ingieren (tal como el pasto). A su vez, si estos animales son parte de la ingesta humana, la vía de transferencia para adultos es básicamente la carne y para niños (infantes) la leche.

Para identificar y cuantificar la actividad depositada por unidad de superficie de suelos ($\text{Bq}^{23}/\text{m}^2$) se monitorea el terreno en cuadrículas con equipamiento adecuado y se van registrando sistemáticamente –por ejemplo, día a día- los valores medidos de los radionucleidos de interés en protección radiológica, tales como el I^{131} , Cs^{137} , Sr^{90} , Pu^{239} .

De ser necesario, se establecen niveles de intervención para implementar contramedidas en base al órgano que se considere y el nivel de dosis a evitarse en un dado período. La implementación de contramedidas debe cumplir dos de los tres principios de la protección radiológica²⁴: justificación y optimización²⁵.

Para los radionucleidos de interés se establecen niveles de acción para determinados valores de concentración de actividad (Bq/kg) de cada radionucleido en alimentos y agua potable, tanto para adultos como para niños.

Surgen así los criterios de protección radiológica para limitar temporalmente o permitir el consumo de cierto alimento, o alimentos, y de agua potable en una zona especificada:

Contramedida	Órgano	Nivel de dosis a ser evitada
Puesta a cubierto	Todo el cuerpo	10 mSv ²⁶ en dos días
Evacuación	Todo el cuerpo	50 mSv en una semana
Entrega de pastillas de I estable	Tiroides	100 mGy ²⁷

²³ Un bequerelio (Bq) equivale a 1 desintegración/segundo y es la unidad de la magnitud actividad.

²⁴ El tercero es la limitación de las dosis.

²⁵ Usualmente denominado ALARA, acrónimo de la frase en inglés *as low as reasonably achievable, taking into account social and economic factors*.

²⁶ El sievert (Sv) es la unidad de las magnitudes dosis equivalente y dosis efectiva.

²⁷ El gray (Gy) es la unidad de la magnitud dosis absorbida.

APÉNDICE 3

Niveles de orientación para concentraciones de I¹³¹ en agua potable

Directriz de referencia	Concentración de radiactividad en agua potable (Bq/litro)	Equivalencia con el riesgo para la salud si se consumiese agua con esa concentración en un año
Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud ²⁸	10	Vuelo entre Nueva York y Londres
Reglamentación japonesa provisional en caso de emergencia para adultos ²⁹	300	Exposición a la radiación natural de fondo durante un año, o entre 10 a 15 radiografías de tórax
Reglamentación japonesa provisional en caso de emergencia para niños menores de 1 año ³⁰	100	Exposición a la radiación natural de fondo durante un año, o entre 10 a 15 radiografías de tórax
Nivel de intervención operacional del OIEA en caso de emergencias nucleares	3000	Sólo aplicable en la aplicación de medidas tempranas ante la emergencia

²⁸ Estas Guías no deben considerarse como referencia en emergencias nucleares pues los niveles son muy moderados ya que están establecidos para captación de I¹³¹ durante toda la vida.

²⁹ Valores reglamentarios provisorios en relación con los límites correspondientes a la ingesta de alimentos y bebidas, según lo indicado por NISA. Se adoptaron como precaución y tienen en cuenta recomendaciones internacionales, en particular las de OIEA e ICRP.

³⁰ Similar a lo indicado en la nota precedente pero aplicada al agua potable utilizada en la preparación de alimentos para bebés. Este nivel es equivalente a la directriz establecida en el Codex Alimentarius para alimentos para infantes (bebés).