

El Accidente de Fukushima Daiichi: Situación actual y efectos en el medio marino

Febrero 2016

GREENPEACE

El accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi ocasionó la mayor cantidad de contaminación radiactiva en el medio marino de la historia. Unido a esto hubo liberaciones masivas a la atmósfera, que se depositaron sobre una amplia área del Océano Pacífico Norte. A esta contaminación se añaden las emisiones no controladas de agua contaminada por la radiactividad que se han estado vertiendo en el mar todos los días durante los últimos cinco años. La crisis del agua en Fukushima Daiichi comenzó en las primeras horas del accidente por la desesperada necesidad de mantener una cierta función de refrigeración para los cientos de toneladas del combustible del núcleo del reactor en las unidades 1, 2 y 3 y las cuatro piscinas de combustible gastado. El operador de la planta, Tokyo Electric Power Company (TEPCO), optó por inyectar cientos de toneladas de agua de mar en un intento desesperado para prevenir la múltiple fusión de los núcleos de los reactores. En los cinco años que han pasado desde 2011, más de un millón de toneladas de agua ha sido bombeada en los núcleos de los reactores de la planta de Fukushima Daiichi. Como consecuencia, el accidente nuclear de Fukushima ha creado una crisis de agua radiactiva única en su escala y complejidad y sin perspectivas de una solución segura y eficaz en los próximos años.

Además de la contaminación radiactiva de la planta en sí, el territorio japonés, en particular los bosques y montañas de Fukushima, son una fuente de radiactividad al Océano Pacífico a través de ríos y arroyos. Debido a que la vida media de uno de los principales radionucleidos liberados, cesio-137, es de 30 años, **el flujo de radiactividad de la tierra al mar continuará durante un período de por lo menos 300 años.**

El Océano Pacífico es la mayor masa de agua del mundo, con una superficie de 165,25 millones de kilómetros cuadrados, o lo que es lo mismo el 46% de la superficie del agua de la tierra y alrededor de un tercio de su superficie total. Es más grande que dos veces la superficie terrestre. Entender el comportamiento y los efectos de la radiactividad del accidente nuclear de Fukushima que ha entrado en este vasto medio marino es muy complejo y al mismo tiempo es esencial para entender cómo será la persistencia de la contaminación. Esto es especialmente importante debido a que, **es un hecho que las emisiones no controladas de radiactividad en el Océano Pacífico continúan** y es posible que haya liberaciones importantes adicionales en el futuro. Es mucho lo que ya se conoce de la extensa investigación científica que se lleva a cabo desde el año 2011. De la misma manera hay muchas cosas que aún no se entienden.

En un esfuerzo por comprender mejor los impactos radio-ecológicos en el mundo derivados de la peor emisión de radiactividad liberada de una sola vez en el medio marino, un equipo de investigación de Greenpeace se ha embarcado en un proyecto de medición de la radiación de la costa de Fukushima. Greenpeace ha investigado la contaminación marina procedente de las instalaciones nucleares durante más de 25 años, incluyendo los impactos en el Atlántico Nordeste de la Dounreay, Sellafield y La

Hague, plantas de reprocesamiento de combustible nuclear en el Reino Unido y Francia. Ahora, en 2016, trabajando desde un barco de investigación japonés, y con el apoyo del barco insignia de la organización, el Rainbow Warrior III, durante el mes de febrero y la primera quincena de marzo, los equipos de estudio estarán llevando a cabo en el lecho marino bajo el agua la medición de radiación y la recogida de muestras. Las áreas del océano en las que Greenpeace estará haciendo las mediciones se incluyen dentro del radio de 20 km de la planta de Fukushima Daiichi, así como las áreas al norte y al sur de la planta. El trabajo también se centrará en los principales ríos de la costa de Fukushima, que son una fuente continua de contaminación radiactiva. El equipo de la investigación de Greenpeace está trabajando con científicos de radiación del laboratorio independiente ACRO en Francia, junto con su laboratorio asociado en Tokio.

A través de esta investigación, Greenpeace tiene el objetivo de favorecer la comprensión de los efectos y las amenazas futuras desde el accidente nuclear de Fukushima Daiichi.

Estado actual de la central nuclear Fukushima Daiichi

Cinco años después del grave accidente que se produjo en la central nuclear de Fukushima Daiichi todavía se conoce muy poco acerca de las causas y efectos de la catástrofe nuclear. No obstante, las causas del accidente aún no se han aclarado: ¿Cuál fue la causa principal del accidente, el terremoto o el tsunami? Es cierto que ambos estaban implicados, pero **el accidente de la central nuclear de Fukushima fue el resultado de la connivencia entre el gobierno, los reguladores nucleares y TEPCO y la falta de gobernabilidad.** Traicionaron de manera efectiva el derecho de Japón a estar a salvo de los accidentes nucleares y, por lo tanto, se llega a la conclusión de que el accidente fue "provocado por el hombre".¹ Muchas de las averías que se produjeron en los reactores todavía no se sabe cómo, ni porqué, ni en qué secuencias se produjeron.

En el lugar donde está situada la inutilizada central nuclear de Fukushima Daiichi, miles de trabajadores se enfrentan a desafíos extremos. El lugar sigue estando muy contaminado con radiactividad, se siguen haciendo investigaciones directas del interior de los edificios de los reactores y de las instalaciones dañadas y sigue siendo imposible conocer ni la ubicación de parte de combustible fundido, ni en qué estado se encuentra. Las áreas subterráneas de las turbinas y de los edificios de los alrededores se encuentran sumergidas bajo agua radiactiva altamente contaminada y no pueden ser investigadas.

Muchos de los instrumentos de medición instalados en los sistemas de Fukushima Daiichi siguen funcionando mal como resultado del accidente y no hay garantía de la exactitud de los valores que están midiendo. Sin embargo, a partir de la temperatura del agua en la vasija de contención y en las piscinas de combustible gastado, y desde la liberación de Xenon-135, que se libera cuando el uranio se somete a la fisión, y otras mediciones, se puede estimar que el estado del combustible fundido es estable.

Los detalles específicos sobre la ubicación, estado y condición de los cientos de toneladas de combustible del reactor fundido en unidades de Fukushima Daiichi 1, 2 y 3 siguen siendo desconocidos. Lo que está confirmado es que el combustible se ha fundido en su camino a través de los recipientes de acero a presión del reactor (RPV).

Procesamiento de agua

¹ Informe encargado por La Dieta Nacional de Japón a la Comisión Independiente de Investigación del Accidente Nuclear de Fukushima, 2012. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naaic.go.jp/en/>

Mientras que el accidente de Fukushima Daiichi mantiene en curso una crisis nuclear también se está produciendo una extraordinaria crisis de la gestión del agua. Un total de 316 toneladas de agua se bombean en las unidades de Fukushima Daiichi 1, 2 y 3 cada día.² Un total de 64.000 toneladas de agua contaminada se mantienen dentro de los edificios reactores 1-4 según la información de finales de enero de 2016. En la semana del 28 de enero de 2016 un total de 8.190 toneladas de agua se procesaron. El volumen total de agua tratada asciende a 1,43 millones de toneladas desde que comenzó a funcionar el procesamiento en 2011.³

Almacenamiento de agua

A fecha de 28 de enero de 2016, un total de 788.541 toneladas de agua tratada permanece en las instalaciones en tanques de almacenamiento, de las cuales 162.362 toneladas se encuentran dentro del tanque de almacenamiento tratado de estroncio. TEPCO parece ser que realiza el tratamiento de alrededor de 1.000 toneladas de agua altamente contaminada para la eliminación de estroncio cada semana, un total de 4.200 toneladas por semana para el cesio y otra de eliminación de radionúclidos. La capacidad máxima de almacenamiento para el agua tratada a finales de enero fue de 613.900 toneladas, con 599.609 a partir del 28 de enero almacenados. Con un incremento semanal de 4.200 toneladas por semana no había suficiente capacidad para tres semanas más de almacenamiento. Sin embargo, el 18 de febrero de 2016⁴ TEPCO había aumentado la capacidad de tanque de almacenamiento a 625.100 toneladas, lo que indica una capacidad adicional de 12.000 toneladas que se suman a los tanques de almacenamiento.⁴ Un total de 1.106 tanques de almacenamiento de agua están actualmente en el lugar, con 20 tanques adicionales previstos para su instalación el año 2016.⁵

La crisis del agua

De acuerdo con una estimación realizada por TEPCO en 2012-13 aproximadamente 800-1.000 m³ de agua subterránea fluye hacia el emplazamiento del reactor nuclear, con cerca de 300 m³ que fluye en los edificios de los reactores. TEPCO está implementando siete tipos diferentes de medidas en un intento de reducir el flujo de las aguas subterráneas:

- Se han instalado pozos de bombeo de agua subterránea en la ladera de la montaña para bombear el agua subterránea y liberarla en el océano después de medir su nivel de contaminación. Este sistema "de derivación de las aguas subterráneas" para reducir el flujo de las aguas subterráneas comenzó su actividad en abril de 2014. Un total de 154.021 m³ de agua han sido bombeados (hasta el 21 de diciembre de 2015). En octubre de 2015, TEPCO estimaba que, en combinación con las medidas de supresión de agua tomadas en la

²"Situation of Storage and Treatment of Accumulated Water including Highly Concentrated Radioactive Materials at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (237th Release)" January 29, 2016 Tokyo Electric Power Company, see http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu16_e/images/160129e0201.pdf

³ "Situación de almacenamiento y tratamiento de agua acumulada incluyendo altamente concentrada materiales radiactivos en la estación de Fukushima Daiichi de energía nuclear (237a Release)" 29 de enero de, el año 2016, Tokyo Electric Power Company, ver http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu16_e/images/160129e0201.pdf

⁴"Situación de almacenamiento y tratamiento de agua acumulada en especial los materiales radiactivos altamente concentrada en la estación de Fukushima Daiichi de energía nuclear (239a Release)" 12 de febrero, el año 2016, Tokyo Electric Power Company, http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu16_e/images/160212e0101.pdf

⁵"FOTO: Más de 1.100 tanques de almacenamiento de agua en la planta de Fukushima ... y contando", Asahi Shimbun, 13 de febrero de 2016, <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201602130025>

instalación de incineradores de alta temperatura, esta operación reduce el flujo de las aguas subterráneas 80 m3 por día.

- La instalación de la barrera impermeable en la zona costera para evitar que el agua contaminada se salga con las aguas subterráneas. Los trabajos de construcción se completaron en octubre de 2015, pero debido a un aumento en el nivel de las aguas subterráneas que hasta ahora tenía salida, la barrera de agua se ha deformado y ha aparecido una fisura entre el suelo y la barrera. Las reparaciones se completaron el 5 de diciembre de 2015, pero se están planteando preguntas acerca de la viabilidad a largo plazo de esta barrera.
- El agua subterránea se bombea desde los pozos de bombeo, conocidos como sub-drenajes, que se han excavado alrededor de los edificios, y esta se libera en el océano después de procesarla en la planta de tratamiento de agua para el agua de los sub-drenajes y de otros lugares. Esta medida comenzó a funcionar en septiembre de 2015. Alrededor de 360 m3/día de agua están siendo bombeados hacia la superficie y un total de 36.376 m3 habían sido liberados a partir del 21 de diciembre de 2015.
- Cinco de los sub-drenaje fueron excavados en las proximidades de la barrera de agua al lado del mar, y se vierte al océano después de procesarla en la planta de tratamiento de agua con el agua de los sub-drenajes y otros lugares. Esta operación se inició en noviembre de 2015, cuando el nivel de las aguas subterráneas se elevó. Alrededor de 90 m3 día se bombean hasta un total por ahora de 14.380 m3. El nivel del agua subterránea está siendo ajustado en combinación con bombeo de agua subterránea (80 m3/día), utilizando también los puntos que empezó a funcionar en agosto de 2013.
- La construcción de una barrera de aguas continentales, **la llamada pared de hielo**, consta de 1.568 tubos de refrigeración hasta una profundidad de 30 metros y 359 tubos de medición de temperatura a intervalos establecidos alrededor de las unidades 1 a 4. La preparación para la congelación se completó en los tres lados interiores, el 15 de septiembre de 2015 y el trabajo para instalar las restantes tuberías de refrigeración en el lado de mar se completó el 9 de noviembre de 2015. La prueba de congelación, que comenzó en abril del año pasado en 18 lugares utilizando 58 tubos de congelación, mostró diferencias en la temperatura de congelación.
- Se ha implementado la eliminación de agua altamente contaminada que fluye de los edificios en las zanjas al lado mar. El trabajo en la Unidad 4 para detener los flujos de agua y para eliminar el agua contaminada se llevó a cabo en dos etapas y se terminó el 28 de abril y el 21 de diciembre de 2015, de la unidad 2 el 10 de julio, y para la unidad 3 el 27 de agosto.

TEPCO estima que han reducido el flujo de las aguas subterráneas en los edificios en 200 m3 / día. Sin embargo, el proyecto de evacuación de agua subterránea tratada ha tenido que ser abandonado debido a que se encontró el agua subterránea bombeada altamente contaminada con tritio por encima del máximo de 1.500 bequerelios por litro, que no se pudo procesar por la instalación de procesamiento de agua para el agua de los sub-drenajes y otros lugares. Unas 300 toneladas adicionales de agua ahora están siendo bombeadas en los edificios de los reactores. Para agravar el problema, las barreras al mar también han aumentado de manera importante los niveles de agua subterránea, obligando a la compañía a bombear mucha más agua subterránea de

lo inicialmente previsto.⁶ Como resultado, el volumen de agua trasvasada al edificio para el tratamiento de ALPS (Advanced Liquid Processing System = ALPS) es cada vez mayor (en torno a 400 m³/día, a 18 de diciembre de 2015). La afluencia total de los edificios del reactor aumentó a 600 toneladas por día.

TEPCO ha declarado que sospecha que los altos niveles de radiación que se encuentran en el agua subterránea de los pozos son debidos a que el agua está siendo expuesta a los suelos altamente contaminados cerca del terraplén costero de la planta.⁷ Esto era predecible pero TEPCO aún no ha sido transparente para explicar exactamente cómo está ocurriendo esto y no ha anunciado planes sobre cómo va a procesar esta agua.

Dudas sobre la pared de hielo

La construcción de la barrera de hielo de Fukushima Daiichi se inició en junio de 2014, con un proyecto que tiene un coste de 34,5 millones de yenes (300 millones de dólares) a enero de 2016.⁸ TEPCO había planeado comenzar la operación de congelación en marzo de 2015 durante un período de seis años, lo que es el tiempo que dicen que se necesitará para sellar los reactores del medio ambiente. Además de que parece un cronograma no realista, existen serias dudas sobre la eficacia del plan de la pared de hielo.⁹ La tasa real de la migración de agua subterránea, las características geológicas, el movimiento del suelo (incluyendo los riesgos sísmicos) y la temperatura de la superficie son cuestiones que plantean dudas sobre las perspectivas de eficacia de la barrera de pared de hielo. En diciembre de 2015, la Autoridad de Regulación Nuclear (NRA) pidió a TEPCO que consideraran que la pared de hielo sólo funciona en lugares en los que es poco probable que se produzcan fugas en el suelo del agua contaminada. En febrero de 2016, más dudas llevaron a la NRA a parar por primera vez por completo los planes de la pared de hielo de TEPCO ¹⁰ más tarde daría marcha atrás para permitir un funcionamiento limitado en la zona costera de la planta. La NRA declaró en febrero de 2016 que el agua contaminada acumulada en los edificios de los reactores podría filtrarse en las aguas subterráneas si el nivel de agua subterránea dentro de la pared del suelo congelado cae demasiado. TEPCO ha mantenido que una vez que el suelo esté congelado, se formará una barrera circular y se reducirá el flujo de las aguas subterráneas en los edificios de los reactores; y que, a su vez, evitará que el agua esté contaminada con sustancias radiactivas por acumulación.

"TEPCO está difundiendo la extraña ilusión de que el problema del agua contaminada puede ser resuelto por completo con una pared de suelo congelado, dijo el presidente NRA Shunichi Tanaka.¹¹

⁶ "Fukushima Daiichi NPS Informe del sistema (Ene 08,2016) Temas recientes: Tiendas de Tepco en lugar de los vertidos procedentes de drenaje de las aguas subterráneas Después de seguimiento de los niveles de contaminación Detecta Superior", ver http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2016/1265513_7763.html

⁷"TEPCO se enfrenta nuevo problema de agua radiactiva en la planta de Fukushima", Asahi Shimbun, el 26 de diciembre de 2015, ver <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201512260045>

⁸"NRA pide un alto al plan de TEPCO para congelar el suelo en la planta de Fukushima", Asahi Shimbun, 10 de Febrero, 2016, ver <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201602100079>

⁹ http://www.huffingtonpost.com/2014/05/02/fukushima-ice-wall_n_5252868.html, visitada 29 de enero^{el} de 2015.

¹⁰"NRA para permitir que parte de la pared de suelo congelado en la planta de Fukushima" Asahi Shimbun, 15 de Febrero, 2016, <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201602150062>

¹¹ "NRA pide un alto al plan de TEPCO para congelar el suelo en la planta de Fukushima", Asahi Shimbun, 10 de Febrero, 2016, ver <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201602100079>

La radiactividad continúa hacia el Océano Pacífico

Sin perspectivas de poner fin a la crisis del agua en la planta de Fukushima Daiichi, la amenaza radiactiva a la costa de la prefectura de Fukushima, a las comunidades que viven allí y al Océano Pacífico es una preocupación importante para Greenpeace. Como resultado del accidente de Fukushima Daiichi, hay tres fuentes principales de radiactividad que tienen y que están contaminando el océano:

- los iniciales vertidos atmosféricos y líquidos directos al mar en 2011;
- las emisiones no controladas directamente desde el emplazamiento de Fukushima Daiichi, incluidas las aguas subterráneas;
- la contaminación de origen terrestre desde la prefectura de Fukushima a través de ríos y cursos de agua.

El cesio radiactivo es en gran parte soluble en el medio marino, y es llevado por las corrientes oceánicas, pero también una pequeña fracción se adhiere a sedimentos marinos. **Estas partículas de cesio asociadas son una importante fuente potencial para incrementar los niveles de cesio que se encuentran en invertebrados bentónicos específicos y peces demersales.** Son estas partículas de cesio las que están asociadas con la contaminación del fondo marino de la zona de la costa cerca de la planta de Fukushima Daiichi. Los niveles de cesio en esta área, incluyendo el radio de 20 km de la planta, supera con creces el nivel general en las aguas japonesas en su conjunto.¹²

Como se observó en 2011, debido a la cantidad total de radiactividad liberada de Fukushima, **"las concentraciones de Cs en sedimentos y biota marina cerca de la planta central nuclear pueden ser bastante grandes y seguirán siéndolo durante al menos 30-100 años debido a la vida media más larga de cesio-137"**.¹³

Las emisiones totales de cesio sigue siendo inciertas, que van desde 4-90 PBq¹⁴, con la mayoría de las estimaciones en el rango 15-30 PBq para cada isótopo de cesio.¹⁵ Las estimaciones sugieren que las liberaciones en el Océano Pacífico a través de deposición atmosférica y las descargas directas fue de alrededor de 11 PBq.¹⁶

La dispersión y la concentración en los sedimentos costeros

¹² "El seguimiento del destino de partícula asociada Fukushima Daiichi cesio en el océano fuera de Japón ", K. Buessler, C. alemán, M. Honda, S. Otosaka, E. Negro, H. Kawakami, S. Manganina, S. Pike, Woods Hole Oceanographic Institute, Agencia Japonesa de Marina Ciencias de la tierra y Tecnología, Agencia Japonesa de Energía Atómica, Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, 2015. 9 julio

¹³ de "Impactos de las plantas de energía nuclear de Fukushima radiactividad Marina", Ken Buessler, Michio Aoyama y MSAO Fukasawa, Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Sociedad Americana de química, 2011.

¹⁴ PBq=10¹⁵ Bq

¹⁵ Véase, por ejemplo, "131 I y 137 Cs accidentalmente procedentes de la instalación de Fukushima Daiichi de energía nuclear en el ambiente", Chino, M.; Nakayama, H.; Nagai, H.; Terada, H.; Katata, G.; "Preliminar La estimación de las cantidades de emisiones de 1129-1134", J. Ciencia y Tecnología Nuclear 2011, 48 (7), Yamazawa, H.; Tsumune, D.; Tsubono, T.; Aoyama, M.; Uematsu, M.; Misumi, K.; Maeda, Y.; Yoshida, Y.; Hayami, H. de un año, la simulación regional escala de ¹³⁷Cs radiactividad en el océano como consecuencia del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi Biogeosciences 2013, 10 (8), 5601-5617.

¹⁶ "Fuente estimación a corto plazo de la liberación a la atmósfera debido a la Fukushima Planta de Dai-ichi de energía nuclear accidente por simulaciones de dispersión atmosférica y oceánica ", Kobayashi, T.; Nagai, H.; Chino, M.; Kawamura, H. J. Ciencia y Tecnología, 2013, 50, 255-264 nuclear.

Las corrientes del océano frente a la costa de Japón transportan el agua contaminada hacia el sur a través de la corriente Oyashio, así como hacia el norte, en gran parte como resultado de los cambios de viento impulsado en superficies. Las concentraciones de cesio en el agua de mar cerca de las costas de las prefecturas de Fukushima e Ibaraki durante la primavera de 2011 se incrementaron dramáticamente respecto a los niveles de fondo anteriores al accidente, desde 1-2 becquerelios por metro cúbico a concentraciones de hasta 60 millones de becquerelios por metro cúbico, **"lo suficientemente alta como para causar efectos reproductivos y de salud en los animales marinos "**.¹⁷

Durante los cinco años transcurridos, el cesio liberado en ese momento se dispersa debido tanto a la mezcla horizontal como vertical, y la contaminación radiactiva del agua de mar en general, ya que el océano dispersa rápidamente, sobre todo en comparación con la contaminación del suelo en tierra. Sin embargo, la evidencia de que las liberaciones se mantenían en curso a partir de la planta de Fukushima Daiichi durante mayo y junio de 2011, cuando los niveles de concentración en el agua de mar no disminuyeron como se esperaba. Para el período hasta el año 2012, la radiactividad se mantuvo en un nivel relativamente alto en las proximidades de la planta Fukushima Daiichi, una clara evidencia del continuo vertido de la planta.¹⁸ El cesio tiene el potencial de ser tomado por el plancton y la cadena alimentaria marina, así como ser depositado con material orgánico y biominerales. Una fracción de este se ha asentado en el fondo del mar.

Se trata de los procesos que afectan a la distribución sedimentaria de cesio¹⁹ en el entorno costero cercano a lo largo de la costa de Fukushima que es un foco de las investigaciones realizadas por Greenpeace en febrero / marzo de 2016.

Anomalías de cesio en los fondos marinos dentro de 20 kilómetros de la central nuclear de Fukushima Daiichi

"La falta de información plantea preocupaciones con respecto a nuestra capacidad para predecir los efectos del accidente sobre el ecosistema marino ... "²⁰

Debido a los complejos desafíos de investigaciones marinas existe una comprensión limitada sobre la distribución local de Cs137 en las proximidades de la central de Fukushima Daiichi. La investigación que se ha llevado a cabo ha identificado una variación considerable en la distribución y concentración de Cs137. Antes del accidente de 2011, las concentraciones en el sedimento de fondo marino fuera de Fukushima estaban en el rango de 0.68-1.7Bq / kg (peso seco) de acuerdo

¹⁷ "Los radioisótopos en el Océano ¿Qué hay allí? ¿Cuánto? ¿Por cuánto tiempo?", Institución Woods Hole, David Pacchioli, 1 de mayo de 2013, ver <http://www.whoi.edu/oceanus/feature/radioisotopes-in-the-ocean>

¹⁸ "Continuando 137 Cs liberación al mar de la planta nuclear de Fukushima Daiichi hasta el año 2012", J Kanda, Departamento de Ciencias oceánicas de la Universidad de Tokio Ciencia y Tecnología Marinas, Tokio, el 26 de septiembre de 2013, Biogeosciences.

¹⁹ "vertical y lateral Transporte de partículas cesio radiactivo fuera de Fukushima", Shigeyoshi Ootosaka, Takahiro Nakanishi, Takashi Suzuki, Yuhi Satoh, y Hisashi Narita Grupo de Investigación de Ciencias del Medio Ambiente, Agencia Japonesa de Energía Atómica, Fukushima Grupo de Investigación del Medio Ambiente, Agencia Japonesa de Energía Atómica, y la Escuela Japonesa de Ciencias Marinas y Tecnología de la Universidad de Tokai, [dx.doi.org/10.1021/es503736d](https://doi.org/10.1021/es503736d) | Ciencia y Tecnología, 2014, 48, 12.595 a 12.602 13 de octubre de 2014 del Medio Ambiente .

²⁰ Distribución de las anomalías locales de 137Cs en el fondo marino cerca de la Dai-ichi de Fukushima Nuclear Power ", Blair Thornton, Seiki Ohnishi, Tamaki Ura, Naoteru Odano, Shun Sasaki, Tsuneo Fujita, Tomowo Watanabe, Kaoru Nakata, Tsuneo Ono, Daisuke Ambe, Instituto de Ciencia Industrial de la Universidad de Tokio, Instituto Nacional de Investigación Marítima, estación Experimental de Fukushima Prefectural Pesca, Instituto Nacional de Investigación de Pesquerías Ciencia, Agencia de Investigación pesquera, Marine Pollution Bulletin,

con el Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología (MEXT). Los niveles posteriores a 2011 son comúnmente de varios cientos de Bq / kg.²¹

Las mediciones llevadas a cabo a finales de 2012 y principios de 2013 identificaron anomalías en los niveles máximos de Cs137 que fueron superiores a unos pocos cientos de Bq / kg dentro de un radio de 20 km de la planta de Fukushima Daiichi. Las anomalías medidas estaban en la escala de unos pocos metros hasta varios cientos de metros de longitud. Los investigadores del estudio concluyeron que el tamaño y distribución de las anomalías de cesio sedimentarias parecía estar estrechamente relacionado con las características de escalas de medición del terreno del fondo marino y que la existencia ***de estas anomalías debe ser tomada en cuenta al planificar los futuros esfuerzos de las mediciones, y al considerar los efectos potenciales de Cs137 en la ecología marina.***

²¹ 2013 "Distribución de las anomalías locales de 137Cs en el fondo marino cerca de la planta de Fukushima Dai Planta de energía nuclear -ichi ", Blair Thornton, Seiki Ohnishi, Tamaki Ura, Naoteru Odano, Shun Sasaki, Tsuneo Fujita, Tomowo Watanabe, Kaoru Nakata, Tsuneo Ono, Daisuke Ambe, Instituto de Ciencia Industrial de la Universidad de Tokio, Investigación Marítima Nacional Instituto, estación Experimental de la Prefectura de Fukushima Pesca, Instituto Nacional de Investigación de Ciencias de la Pesca, Agencia de Investigación pesquera, Marine Pollution Bulletin, 2013