



Academia del Mar

CUADERNO TALÁSICO N°41

Presentado por:

**Académico de Número n° 14
Ing. Abel González**

Tema:

Contaminación por submarinos.

Presentación:

Marzo 2014

Submarinos Nucleares: Impacto Radiológico sobre el Mar

Abel J. González

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este Cuaderno Talásico es explorar el devenir de los submarinos con propulsión nuclear y resumir su impacto sobre el mar en términos de la radioactividad que esta practica ha vertido a los océanos.

El Cuaderno incluye: un reducido sumario de la situación global con referencia a los submarinos nucleares, un somero análisis de diferentes aspectos de seguridad radiológica de los reactores propulsores de los submarinos nucleares *vis-à-vis* los reactores utilizados en la producción de electricidad de uso pacífico, un resumen de los vertidos radiactivos al mar esperables de los submarinos nucleares, y una descripción de las pérdidas emblemáticas de submarinos nucleares y de sus impactos radiológicos conocidos.

SUBMARINOS NUCLEARES

Los submarinos nucleares utilizan reactor nuclear para obtener la energía necesaria para su propulsión. Si bien en sus detalles tecnológicos los reactores de submarinos son distintos a los reactores nucleares que se utilizan para la generación núcleo-eléctrica con fines pacíficos, en sus aspectos básicos no tiene diferencias fundamentales con ellos. De hecho, el país donde se originaron los submarinos nucleares, los Estados Unidos de América (USA), desarrolló sus dos tipos de reactores nucleares para fines pacíficos, como una evolución de los reactores desarrollados previamente para propulsar sus submarinos. Estos fueron diseños originales construidos por Westinghouse Electric Corporation, los así llamados PWR (*pressure water reactors* o reactores de agua a presión), y por General Electric, los así llamados BWR (*boiling water reactors* o reactores de agua en ebullición).. Actualmente tanto la mayoría de los reactores de uso pacífico como los de propulsión submarina son del tipo PWR o similar.

El primer submarino propulsado por energía nuclear fue botado por USA en 1955. Fue el USS Nautilus de la así llamada clase Skate, propulsado por un único reactor nuclear. Su éxito llevó a una rápida reproducción de submarinos nucleares por los Estados poseedores de armamento nuclear.

En la actualidad, hay alrededor de 130 submarinos nucleares en operación [Sam Perlo- Freeman, 2014], el que parece un número muy modesto frente a las 17.300 bombas nucleares disponibles [FAS, 2016].

La información disponible a comienzos de este siglo indicaba que había alrededor de 400 reactores en submarinos de propulsión nuclear en todo el mundo; de ellos, la Federación de Rusia tenía alrededor de 70 submarinos militares activos, los EE.UU. alrededor de 117, el Reino Unido tenía 16, Francia tenía 11 y China uno. La distribución más reciente era la siguiente: 71 en los Estados Unidos de América; 33 en la Federación Rusa²; 10 en Francia; 2 en India; 11 en el Reino Unido; y, 3 en la República Popular China [IAEA, 2001]. Es decir que ha habido en los años pasados un gran número de submarinos dados de baja, en variado grado de desguace y bajo controles muy diversos.³

SEGURIDAD NUCLEAR

Dado que no existe una diferencia conceptual fundamental entre los reactores utilizados para la producción pacífica de energía eléctrica y los reactores propulsores de submarinos, no debería haber gran diferencia en su impacto radiológico. Sin embargo, existen diferencias substanciales entre la seguridad radiológica de estos dos tipos de reactores, a saber:

- (1) Control
 - a. La seguridad nuclear de los reactores de uso pacífico están regulados por:
 - i. convenciones internacionales legalmente vinculantes de las que la Argentina es parte contratante [IAEA, 1997, 1994, 1986 a y b];
 - ii. una normativa internacional establecida bajo la égida del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA);
 - iii. por inspecciones internacionales voluntarias; y, fundamentalmente,
 - iv. por una autoridad nacional independiente (en la Argentina, la Autoridad Regulatoria Nuclear, ARN).
 - b. A la inversa, los reactores nucleares de los submarinos solo son controlados por sus operadores militares, violando el principio básico de control independiente sobre el que se basa la seguridad radiológica internacional.

(2) Residuos radioactivos

- a. La gestión del combustible nuclear gastado y de los residuos radioactivos generados por las actividades pacíficas están bajo el control de la *Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos* [IAEA, 1997], de la cual la Argentina es parte contratante, y de un sofisticado corpus de estándares internacionales.
- b. A la inversa, la gestión del combustible gastado y de los residuos radioactivos generados por los submarinos nucleares es solo conocida por sus operadores.

(3) Seguridad nuclear

- a. Los reactores que se utilizan para la producción de energía núcleo- eléctrica con fines pacíficos están bajo el control de la *Convención de seguridad nuclear* [IAEA 1994] y cuentan con elaborados sistemas de seguridad nuclear con el objetivo de prevenir accidentes nucleares y, fundamentalmente, mitigar sus consecuencias si ellos ocurrieran. Para ello la mayoría de estos reactores nucleares disponen, *inter alia*, de un sofisticado edificio de contención capaz de inmovilizar en su origen el material radioactivo generado en un accidente (la Argentina ha dedicado especiales esfuerzos a este elemento); los accidentes de Chernobyl y Fukushima produjeron contaminación ambiental porque los reactores de Chernobyl no contaban con ese edificio y los de Fukushima eran inapropiados, pero el grave accidente de Three Mile Islands no produjo ninguna contaminación exterior gracias a su edificio de contención.

² Uno de los últimos desarrollos en submarinos nucleares fue el gigantesco submarino ruso denominado Severodvinsk, que entró oficialmente en funcionamiento hace solo una par de años. Sustituirá a los antiguos submarinos rusos de clase Akula y clase Alfa con nuevas armas y capacidades para sumergirse 600 metros y lanzar misiles nucleares de largo alcance con un rango de hasta 5.000 kilómetros. Tiene 119 metros de eslora y 13,5 de puntal y capacidad para 90 tripulantes.

³ El número de buques es menor que el número de reactores nucleares reportados porque la mayoría de los submarinos de la antigua Unión Soviética se propulsan con dos reactores, mientras que los submarinos de los países occidentales suelen tener solo un reactor a bordo.

- b. A la inversa, los submarinos nucleares no cuentan con ningún sistema de contención otro que el casco del mismo submarino. Cualquier accidente puede ocasionar una seria contaminación marina.

(4) Accidentes

- a. La notificación y asistencia en caso de accidentes en instalaciones nucleares de uso pacífico esta internacionalmente regulada por la *Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica* [IAEA, 1986 a y b].
- b. A la inversa, los accidentes en submarinos nucleares no estan regulados por ninguna convención internacional.

VERTIDOS RADIOACTIVOS AL MAR

Los vertidos radioactivos al medio ambiente (incluyendo los vertidos directos e indirectos al mar) de los reactores pacíficos son reportados periódicamente a la Asamblea General de las Naciones Unidas por el Comité de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). A la inversa, los vertidos radioactivos al medio ambiente, fundamentalmente al mar, de los submarinos nucleares no son ni controlados ni reportados internacionalmente.

Los materiales radiactivos que entran en el medio marino como resultado de la operación de submarinos nucleares incluyen los siguientes:

- (a) descargas controladas al mar de efluentes radiactivos líquidos resultantes de la operación normal de los reactores que propulsan a los submarinos
- (b) desechos radiactivos de los submarinos eliminados en el mar;
- (c) accidentes y pérdidas en el mar que eventualmente resultan en la liberación de material radiactivo en el medio ambiente marino.

Descargas 'normales'

Las descargas controlados de efluentes líquidos radiactivos procedentes de instalaciones civiles de uso pacífico están documentados en informes nacionales, incluidos los de Argentina, y en informes regionales. Además, los informes del UNSCEAR a la Asamblea General de la ONU sobre fuentes y efectos de la radiación ionizante, contienen datos sobre los niveles de los vertidos líquidos procedentes de las instalaciones

nucleares pacíficas y en las evaluaciones de dosis asociados a estas prácticas que pudieran ser incurridos por miembros de la población.

Sin embargo, como se indicó anteriormente, no se disponen datos sobre descargas controladas de efluente radiactivos líquidos resultantes de la operación normal de los reactores que propulsan a los submarinos. Es que si bien existe un control internacional de los vertidos de sustancias radioactivas al mar, pero lamentablemente no se aplican a las operaciones militares.

El Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, de la cual la Argentina fue parte activa, enunció principios generales para la protección del medio ambiente. Uno de los principios se dirigió específicamente a la protección del medio marino mediante el desarrollo de un conjunto de "Principios Generales para la Evaluación y Control de la Contaminación del Mar". De conformidad con la Recomendación 86 de la Conferencia de Estocolmo, estos principios para la evaluación y control de la contaminación marina se remitieron a una Conferencia Intergubernamental celebrada en Londres en 1972, que aprobó la *Convención sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos y otras Materias* [IAEA, 1974]. La Argentina es una de sus Partes Contratantes de esta Convención, la que entró en vigor el 30 de agosto de 1975 y también se conoce como el *Convenio de Londres de 1972*, y fue anteriormente referida como el *Convenio de Londres sobre Vertimientos (LDC)*.

El artículo I del Convenio de Londres de 1972 estipula que "*Las Partes Contratantes promoverán individual y colectivamente el control efectivo de todas las fuentes de contaminación del medio marino, y se comprometen especialmente a adoptar todas las medidas necesarias para evitar la contaminación del mar por el vertimiento de desechos cuestión y otras que se puedan constituir un peligro para la salud humana, dañar los recursos vivos y la vida marina, menoscabar los alicientes recreativos o entorpecer otros usos legítimos del mar*". Sin embargo, en la práctica esta sabia resolución no se ha aplicado a los submarinos nucleares.

No obstante, si se estima que la potencia total de los reactores de los submarinos nucleares operativos es menor a unas decenas de gigawatios (GW), sus vertidos radioactivos no deberían ser significativos desde el punto de vista de la seguridad radiológica global. En comparación, existen actualmente

instalados en el mundo 442 plantas de generación núcleo-eléctrica en 31 países, por un total de más de 380 GW (eléctricos), que se corresponden con alrededor de 1.000 GW térmicos (además se encuentran en construcción cerca de 66 plantas en 16 países con una potencia de 70 GW (e) es decir cerca de 200 GW térmicos) [ENS, 2016].

De esta comparación se colige que la potencia total disponible de reactores de submarinos es un poco más de solo el 1% de la de reactores pacíficos. Aunque el control de los vertidos normales al ambiente de los submarinos fuera un 99% peor que el de los reactores pacíficos, aun en ese caso extremo los vertidos no serían superiores a los de las actividades pacíficas las que por su parte han demostrado ser insignificantes desde el punto de vista de su impacto radiológico.

En resumen, si bien no se dispone de datos fidedignos sobre las descargas normales al mar de materiales radioactivos provenientes de submarinos nucleares, parecería ser que este no es un problema crucial de protección radiológica. Debe destacarse sin embargo que uno de los principios fundamentales de la protección radiológica es la justificación de la práctica. La justificación internacional de la generación núcleo-eléctrica ha sido determinada en varios foros [ver, e.g., Woodhead, 2012], pero la justificabilidad de los submarinos nucleares está limitada a las decisiones individuales de los países que los poseen.

Residuos Radioactivos

La *Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos* establece específicamente que '*esta Convención no se aplicará a la seguridad en la gestión de combustible gastado o desechos radiactivos que formen parte de programas militares o de defensa, a menos que la Parte Contratante los defina como combustible gastado o desechos radiactivos para los fines de esta Convención*' [IAEA, 1997]. Ninguna Parte Contratante poseedora de submarinos nucleares ha definido la gestión de combustible gastado o desechos radiactivos de sus submarinos nucleares como combustible gastado o desechos radiactivos para los fines de la Convención.

En resumen, no se dispone de información alguna sobre la gestión del combustible gastado o de los desechos radiactivos de los submarinos nucleares, aunque por los accidentes y pérdidas que han ocurrido (ver el punto siguiente) se sospecha

que la gestión es altamente defectuosa.

Accidentes y 'Pérdidas'

Desde el punto de vista radiológico, los mayores problemas con los submarinos nucleares son los accidentes y lo que se suele denominar eufemísticamente 'pérdidas', las que incluyen el desechar en el mar a todo el submarino incluyendo su inventario radioactivo.

Se debe destacar que con respecto a la seguridad en el mar y los accidentes nucleares en el mar, existen una serie de convenios de los cuales la Argentina es Parte Contratante. Por ejemplo: El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar o SOLAS (acrónimo de la denominación inglesa del convenio: "Safety of Life At Sea"), que fue adoptado en Londres en 1960 [IMO, 2016], la Convención sobre la pronta notificación de accidente nuclear firmado el 27 de octubre de 1986 [IAEA, 1986a] y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, aprobada el 26 de septiembre 1986 [IAEA, 1986b]. Sin embargo todos estos instrumentos de control internacional no aplican a los submarinos nucleares.

Si bien no existe un registro completo de accidentes y 'perdidas' con submarinos nucleares, se ha informado que ha habido varios accidentes confirmados relacionados con submarinos de guerra de propulsión nuclear que se han traducido en una pérdida de material radiactivo y la liberación de radionucleidos al medio marino.

Se ha confirmado al menos seis pérdidas emblemáticas de submarinos nucleares debido a accidentes ocurridos desde 1963 hasta principios de este siglo, en varios sitios oceánicos: dos de la Marina EE.UU, el "Thresher" o Trilladora en 1963 y el Scorpion en 1968 , mientras que otros tres procedentes de la Unión Soviética, el K- 8 en 1970 , el K- 219 en 1986 y el K -278 Komsomolets en 1989 y uno de la Federación de Rusia, el K -141 Kursk en 2000. Estas pérdidas emblemáticas se describirán someramente en la sección siguiente.

PÉRDIDAS

EMBLEMÁTICAS

K-19

El 4 de julio de 1961, en el Atlántico Norte occidental, se produjo

un grave accidente de radiación a bordo del submarino nuclear soviético K-19. Durante el trabajo de rutina, los miembros de la tripulación no se dieron cuenta de fugas del circuito primario de transferencia de calor de uno de los dos reactores. El combustible nuclear se sobrecalentó. En un intento de arreglar la tubería de refrigeración del combustible, una parte de la tripulación quedó sobreexpuesta a la radiación y el comandante pidió ayuda. El submarino fue remolcado a la base. Los marinos sobreexpuestos fueron evacuados a un hospital especial. El accidente en sí mismo no produjo una contaminación radiactiva significativa del agua de mar. Sin embargo, dado que el submarino no podía ser reparado debido a los campos de alta radiación, los compartimientos del reactor junto con dos reactores fueron posteriormente cortados y arrojados en la Bahía Abrosimov de Nueva Zembla.

Thresher

El submarino nuclear de los Estados Unidos denominado "Thresher" (o "Trilladora") se perdió en el mar el 10 de abril de 1963. Se han realizado en el sitio del hundimiento varios monitoreos de seguimiento, pero sólo se detectaron pequeñas concentraciones de ^{60}Co de los sistemas de transferencia de calor en las muestras de sedimentos del sitio. No se encontraron niveles detectables de ^{60}Co en muestras de agua, vida marina, o residuos. La cantidad total estimada de radiactividad liberada desde el submarino se reportó como menor a 0,04 GBq⁴.

K-129

⁴ Es conveniente dar cierta perspectiva a los vertidos conocidos de materiales radioactivos al mar provenientes de los submarinos nucleares. La actividad total de radionucleidos antropogénicos en los océanos del mundo desde las secuelas de las pruebas de armas nucleares ha sido estimado en más de 105 PBq . (Se recuerda que 1 becquerel (1 Bq) es la unidad de radioactividad, 1 Bq=1 segundo⁻¹; 1 GBq = 1 × 10⁹ Bq; 1 TBq = 1 × 10¹² Bq; 1 PBq = 1 × 10¹⁵ Bq). La mayor contribución a la radiactividad en el medio marino de los escapes accidentales procedentes de instalaciones nucleares con base en tierra ha llegado desde el accidente en la central nuclear de Chernobyl en abril de 1986. El inventario total liberada al medio ambiente durante el accidente fue entre 1000 y 2000 PBq y consistió principalmente radionucleidos de vida corta, pero una fracción medible alcanzó el medio ambiente marino; los radionucleidos más radiológicamente significativos que alcanzaron las aguas del norte de Europa fueron ^{137}Cs y ^{134}Cs , cuyos inventarios fueron estimados en 10 PBq y 5 PBq , respectivamente. Para poner estos valores en perspectiva, se observa que los radionucleidos de origen natural, tales como ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{210}Po en los océanos siguen siendo los que más contribuyen a la dosis de radiación de origen marino en el hombre. El inventario total de dichos radionucleidos naturales en los océanos del mundo se ha estimado en más de 107 PBq.

Si bien no se trata de un submarino nuclear, es interesante reportar que el 6 de marzo 1968, el submarino diesel soviético K-129, se perdió en el Océano Pacífico a unos 1.230 millas de Kamchatka, cerca de las islas hawaianas. Es que el submarino llevaba dos torpedos con cabezas nucleares y tres Rockets ICBM, En agosto de 1974 la parte de proa fue recuperada por el RV "Glomar Explorer" pero el armamento nuclear no fue recuperado.

Scorpion

El submarino nuclear SSN-583 de los Estados Unidos denominado "Scorpion" (o "Escorpión") se perdió en el mar el 22 de mayo de 1968. Se han realizado en el sitio del hundimiento varios monitoreos y sólo se detectaron pequeñas concentraciones de ^{60}Co en las muestras de sedimentos del sitio. No se detectó plutonio de las dos armas nucleares que llevaba el submarino en ninguna de las muestras de agua, sedimentos y vida marina. No se detectó ^{60}Co en muestras de agua, la vida marina o residuos. El total estimado cantidad de radiactividad liberada desde el submarino fue menor a 0,04 GBq.

K-8

El 8 de abril de 1970 en la Bahía de Vizcaya, a 300 kilómetros al norte-oeste de España, se inició un incendio a bordo del submarino nuclear soviético K-8, posiblemente causado por combustible que entró en contacto con el sistema de regeneración de aire. Durante el fuego ambos reactores nucleares fueron apagados. Como resultado del fuego, las juntas de goma en el casco fallaron y comenzó a entrar agua de mar en el interior del submarino. Se hundió durante una tormenta en 11 de abril 1970.

K-431

El 10 de agosto de 1985, mientras se llevaban a cabo operaciones de reabastecimiento de combustible en el submarino nuclear soviético K-431 en un muelle en el astillero de la marina de guerra en la Bahía de Chazhma, en el lejano Oriente ruso, ocurrió un accidente de criticidad en el compartimiento del reactor. Como resultado, radionucleidos con una actividad de aproximadamente 185 TBq (principalmente se liberaron a la atmósfera y una fracción se depositó en las aguas de la Bahía en un área aproximada de 0,1 km². La actividad total de ^{60}Co en los sedimentos del fondo de la parte radiactiva contaminados de la bahía se estimó en 185 GBq.

K-219

En octubre de 1986, el submarino nuclear soviético K-219 se hundió unos 1000 km al noreste de las Bermudas en el Océano Atlántico. El submarino sumergió cuando comenzó un incendio. A continuación ocurrió una explosión en el compartimiento de misiles dañando el casco. Durante el fuego, ambos reactores fueron cerrados. Después de

intentar durante tres días llegar a puerto por sus propios medios el submarino fue remolcado por un buque mercante soviético, antes de hundirse a una profundidad de 6.000 m. No se ha tratado de recuperar el submarino

HMS Tireless

El 19 de mayo de 2000, tras una fuga de agua refrigerante de las tuberías en el compartimiento del reactor, el submarino de propulsión nuclear "HMS Tireless" del Reino Unido entró en Gibraltar para la evaluación de la reparación. Según la información proporcionada por el Ministerio de Defensa del Reino Unido, no se habría vertido agua contaminada desde el submarino aunque algún refrigerante se descargó en el mar Mediterráneo. El Gobierno del Reino Unido decidió que la opción más segura era llevar a cabo la reparación en Gibraltar. Todas las otras opciones consideradas (remolque utilizando un buque de carga o barcaza, o regresar al Reino Unido haciendo uso de los motores diesel secundarias del submarino) implicaban riesgos adicionales y fueron rechazadas. En octubre de 2000 se hizo evidente que la falla en el HMS Tireless podría haber sido genérica. Todos los otros submarinos de un diseño similar se inspeccionaron y se encontró el mismo defecto en otros seis submarinos.

K -141 Kursk

De estos hundimientos o 'perdidas' como se los llama eufemísticamente, solo el del submarino nuclear ruso K -141 " Kursk " fue ampliamente divulgado por los medios internacionales. En la mañana del 12 de agosto de 2000, el Kursk se hundió en las aguas del mar de Barents, a unos 140 km de la ciudad de Severomorsk , en la Península Rybatschi (península de Kola) . El submarino fue un Oscar clase II, un submarino de ataque propulsado por dos reactores de agua presurizada de 190 MW. La causa del accidente no se conoce. Se registraron dos sismos en la posición del submarino por la mañana temprano en el día del accidente por la red sísmica noruega (NORSAR), el más grande con una fuerza de 3,5 en la escala de Richter. De acuerdo a la información del gobierno ruso, el " Kursk " no llevaba ojivas nucleares en el momento del accidente, y los reactores se apagaron cuando el submarino se hundió y no hubo liberación de sustancias radiactivas. Una operación de rescate iniciada por las autoridades rusas a raíz del accidente no tuvo éxito inmediato: los 118 miembros de la tripulación a bordo en el momento del accidente murieron. Las muestras de agua de mar y sedimentos recogidos por la Agencia de Protección Radiológica de Noruega (NRPA) en las inmediaciones del submarino no mostraron signos de aumento de los niveles de radiactividad por encima de los niveles de fondo naturale. NRPA estima que el inventario de radionucleidos de los dos reactores en el submarino en el momento del accidente era entre 1000 y 2000 PBq.

El caso del HMS Sheffield

Si bien no se trató de un submarino nuclear, el hundimiento del "HMS Sheffield" es de especial importancia para la Argentina. El 4 de mayo de 1982, durante el conflicto entre el Reino Unido y Argentina por la soberanía de las Islas Malvinas, el Sheffield, un destructor Tipo 42 de la Marina Real del Reino Unido, fue alcanzado por un misil Exocet disparado desde un avión Super Etendard de la Armada argentina. Veinte miembros de su tripulación murieron y el barco fue abandonado y se hundió. Se ha sugerido que el barco tenía armas nucleares a bordo cuando se hundió. En respuesta a las preguntas formuladas en el Parlamento británico en julio de 1982, un ministro de la Corona aseguró el Parlamento, en el contexto del hundimiento del "HMS Sheffield", en mayo de 1982, que "nunca ha habido ningún incidente en el que se haya perdido un arma nuclear británica o dispersión de contaminación radiactiva". Sin embargo nunca hubo una negación específica del Gobierno Británico indicando sin ambigüedades que el buque no transportaba armas nucleares.

Observaciones

La profundidad en los sitios de los accidentes y pérdidas, por debajo de 1.500 metros, no ha permitido la recuperación de los submarinos o de sus reactores nucleares hundidos.

La principal barrera para evitar la liberación de radionucleidos en el caso de un accidente de un submarino nuclear es la vasija de presión del reactor, que está diseñado para contener sustancias radiactivas en condiciones, ya sea normal o accidental y se espera que limiten o retrasen la liberación de radionúclidos en el medio marino. En el caso de los Komsomolets, se llevó a cabo un monitoreo detallado alrededor de las dos cabezas nucleares a bordo del submarino. Para impedir el lavado de plutonio por la corrosión de ojivas, grandes agujeros en el casco del submarino hundido se cubrieron con placas de titanio especiales para reducir el flujo de agua a través del compartimiento de torpedos.

Se han llevado a cabo monitoreos radiológicos en muestras de agua de mar, sedimentos y organismos marinos profundos recogidos cerca de los diferentes sitios de los accidentes pasados. Hasta el momento, el seguimiento en general no ha mostrado ninguna elevación en los niveles de radionucleidos por encima de los debido a la precipitación debida a la explosión de armas nucleares a excepción de contaminación de ^{60}Co que se detectó en muestras de sedimento recolectadas cerca de los submarinos Scorpion y Thresher y de ^{137}Cs en agua y muestras de sedimentos cerca de los restos del naufragio del Komsomolets. El Scorpion llevaba dos armas nucleares. El análisis de los sedimentos, agua y muestras de la vida marina en el sitio Scorpion utilizando métodos sensibles no ha encontrado ninguna evidencia de fugas de plutonio de las armas nucleares.

EPÍLOGO

La presencia de submarinos nucleares en distintas bases navales en el mundo ha causado preocupación pública y una importante reacción de grupos pacifistas y también antinucleares. Casos representativos ocurrieron en España por la presencia del HMS Tireless en Gibraltar y están ocurriendo actualmente en las bases navales Británicas en Escocia.

Parecería que los vertidos radioactivos normales de los submarinos nucleares al mar no son globalmente significativos como para justificar estas reacciones. Sin embargo la potencialidad de accidentes y la falta de control y elementos de seguridad que garanticen la contención de materiales radioactivos en caso de un accidente son una causa de preocupación genuina. Mas aun, se sabe la existencia de más de 180 submarinos nucleares rusos fuera de servicio con combustible nuclear todavía a bordo. En algunos casos el combustible se almacena por separado en espera de descarga de combustible y el desmantelamiento del submarino. Es probable que situaciones similares existan en los otros países que operan submarinos nucleares. Muchos de los submarinos en desguace se encuentran en un estado de deterioro con un potencial cada vez mayor para la liberación de radionucleidos en el medio ambiente costero y marino de poca profundidad.

Si bien los buques nucleares militares no son inspeccionados por los países que transitan, La Argentina es uno de los pocos países no-nucleares que tuvo la experiencia no solo de recibir sino también de inspeccionar un buque nuclear pacífico en sus puertos. Esto ocurrió durante la visita del buque nuclear alemán NS Otto Hahn, que fue uno de los pocos buques nucleares civiles (era un carguero) que se construyeron⁵ (los otros fueron el NS Savannah de los Estados Unidos, el NS Mutsu de Japón y dos series de rompehielos y un porta barcasas de la Unión Soviética).

El NS Otto Hahn visitó los puertos Argentinos de Buenos Aires y Bahía Blanca en 1973. Fue inspeccionado por la autoridad competente Argentina, que en ese entonces era la Comisión Nacional de Energía Atómica presidida por el Contralmirante Ingeniero Oscar A, Quihillalt. El autor tuvo el honor de participar en esa inspección. En nueve años el buque navegó 650.000 millas a propulsión nuclear, visitando 33 puertos y 22 países, pero una de sus pocas inspecciones regulatorias completas ocurrió en Argentina.

Pese a su experiencia y a que la Argentina es parte contratante de varios instrumentos internacionales que podrían utilizarse para mejorar la seguridad radiológica de los submarinos nucleares, no existe en el país una Política de Estado sobre el problema radiológico presentado por la operación de buques nucleares en general y de submarinos nucleares en particular.

REFERENCIAS

- ENS, 2016. ¹ European Nuclear Society.
<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-power-plant-world-wide.htm>
- FAS, 2014. Federation of American Scientists: Status of world nuclear forces.
<http://www.fas.org/programs/ssp/nukes/nuclearweapons/nukestatus.html>
- IAEA, 2001. International Atomic Energy Agency. *Inventory of accidents and losses at sea involving radioactive material*. IAEA-TECDOC-1242. ISSN 1011-4289. IAEA, VIENNA, 2001.
- IAEA, 1997. International Atomic Energy Agency. *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management*. INFCIRC/546, IAEA, Vienna.
- IAEA 1994. International Atomic Energy Agency. *Convention on Nuclear Safety*. IAEA Legal Series No. 16. IAEA, Vienna, 1994.
- IAEA 1986a. International Atomic Energy Agency. *Convention on Early Notification of a Nuclear Accident*. INFCIRC/335. IAEA, Vienna, 18 November 1986
-
- ⁵ La construcción del NS Otto Hahn había sido fue comenzada en 1963 por los astilleros Howaldtswerke Deutsche Werft AG de Kiel y fue botado en 1964. El reactor del barco tenía una potencia de 38 megawatios. El capitán del NS Otto Hahn fue Heinrich Lehmann-Willenbrock, un famoso comandante de submarinos alemán de la Segunda Guerra Mundial.
- IAEA, 1986b. International Atomic Energy Agency. *Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency*. INFCIRC/336, IAEA, Vienna, 18 November 1986.
- IAEA, 1974. International Atomic Energy Agency. *Convention on the Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter*. INFCIRC/205, IAEA, Vienna, 1974.
- IMO, 2016. *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar*.
[http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\)-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas)-1974.aspx)
- Sam Perlo-Freeman et al, 2014. Sam Perlo-Freeman, Olawale Ismail And Carina Solmirano. Military expenditure. SPRI Yearbook 2013. Stockholm International Peace Research Institute, Signalistgatan 9, SE-169 70 Solna, Sweden, 2014.

Woodhead, 2012. *Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes*. Woodhead Publishing. Print Book ISBN :9781845699734; eBook ISBN :9780857093776. 2012

Desarrollo del debate.

No hubo debate sobre este tema.