

- Tilgner, D.J. 1990. Preface. En: "Seafood: Resources, Nutritional Composition, and Preservation". p. 2. Ed. Sikorski, Z.E. CRC Press, Inc. USA.
- Vázquez-Ortiz, F.A., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sánchez, M.E., y Villegas-Ozuna, R.E. 1997. *Application of the Freshness Quality Index (K Value) for Fresh Fish to Canned Sardines from Northwestern México*. Journal of Food Composition and Analysis. 10, 158-165.
- Woyewoda, A.D., Shaw, S.J., Ke, Pj., y Burns, B.G. 1986. *Recommended Laboratories Method for Assessment of Fish Quality*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science. Fisheries and Oceans, Canada.
- Xiong, Y.L. 1994. *Myofibrillar protein from different muscle fiber types: Implications of biochemical and functional properties in meat processing*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 34(3): 293-320.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a SIBEJ CONACyT el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto.

# La Gestión de Desechos Radiactivos y la Contaminación del Medio Marino

Juan Lartigue G.\*

## Introducción

Más del 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua y el 97% de ésta se encuentra en mares salados. Los ecosistemas marinos son indispensables para el suministro de alimentos en todo el mundo: aproximadamente mil millones de personas, la mayoría en países en desarrollo, dependen del pescado como única fuente de proteínas; por otra parte, más de la mitad<sup>d</sup> de la población mundial vive en zonas costeras {1}.

La importancia de los océanos y mares en el bienestar económico y el equilibrio ecológico es ampliamente reconocida en la

actualidad, en que el planeta tiene casi seis mil millones de habitantes y está sujeto a una intensa industrialización. Por ello, es indispensable comprender, definir y apoyar las medidas de preservación de este valioso recurso natural.

Una de las principales fuentes de contaminación del medio marino la constituían los desechos nucleares que se vertían ampliamente en 1961 al inicio de la era nuclear. En este trabajo se describe la situación actual de los desechos nucleares en México y en el mundo, así como las acciones importantes que las Naciones Unidas están ejerciendo en lo relativo a la contaminación radiactiva de los mares.

## LOS DESECHOS NUCLEARES

Hay actualmente cerca de 500 reactores nucleares en operación o construcción, los que, para el año 2000, estarán produciendo 400 Gigawatts de potencia nucleoelectrónica en todo el mundo. Para ese año se habrán acumulado unas 200,000 toneladas de uranio quemado, de las que sólo 50,000 estarán siendo reprocessadas y el resto continuará siendo un residuo nuclear.

Mientras se definía la mejor manera de desechar este tipo de residuos, se estuvo utilizando al mar como depósito desde 1946 hasta 1976, en que entró en vigor el Convenio de Londres firmado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Marítima Internacional (OMI). En el mismo, se clasificó a los desechos, en general, en una lista negra y otra gris; en la lista negra estaban los desechos de alta actividad (DAA) y en la gris los de baja actividad (DBA). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) intervino en 1977 en el tema y promovió una moratoria voluntaria sobre el vertimiento de desechos en el mar. Sin embargo, no fue sino hasta 1994 que

\*Sección de Química Nuclear - Facultad de Química, UNAM

entró en vigor la prohibición total de vertimiento de desechos radiactivos en el mar y, en 1996, la prohibición de vertimiento de todo tipo de desechos industriales en el mar.

Como era de esperarse, a la fecha se han vertido cantidades importantes de radiactivi-

Tipo de desecho	Radiactividad en Peta Becquerels*	océano
DAA	90	Artico
DBA (solidos)	45.	Atlántico
DBA(líquidos)	1	Pacífico
Total	136	

\*1 Peta = 10<sup>15</sup>

1 Becquerel = 1 desintegración por segundo.

dad en el mar, las que se han distribuido, aproximadamente, de la siguiente manera:

De los 120 países miembros del OIEA, sólo 30 tienen industria nuclear, que ha generado las 200,000 toneladas de DAA ya mencionadas. Aún suponiendo que la energía nucleoelectrica no creciera más allá de dicho año, se continuarán generando unas 20,000 toneladas de uranio quemado por año. Por otra parte, muchos países tienen reactores de investigación y, prácticamente, los 120 países miembros del OIEA generan algún tipo de desecho de baja actividad cuyo volumen, sin ser tan grande como el de los DAA, representa también un problema por su dispersión. Tan sólo en los EU se gastaron, en 1991, 250,000 millones de dolares en ventas de material radiactivo, de los que dependían 3.7 millones de empleos, sin incluir en esto a la industria nucleoelectrica. Así pues el mercado nuclear mundial, aún con una expansión baja o nula, seguirá generando una cantidad muy importante de desechos radiactivos que deben ser objeto de una gestión segura y eficiente. Desafortunadamente, en los primeros años del desarrollo nuclear muchos países no le atribuyeron toda la atención que merecía y

algunos ni siquiera cuentan con legislación ni organismos controladores capaces.

Los desechos radiactivos se clasifican, como ya se dijo, en DAA y DBA. Los primeros se originan principalmente en la industria del ciclo de combustible y en la explotación de reactores nucleares; los segundos provienen de actividades de la industria en general, de hospitales y de la investigación.

La gestión de desechos radiactivos se define como el conjunto de actividades administrativas y técnicas relacionadas con la minimización, manipulación, tratamiento, acondicionamiento, transporte, almacenamiento y evacuación de desechos radiactivos. Su objetivo es proteger al ser humano y a su entorno de los peligros derivados de los desechos radiactivos, en el presente y en el futuro.

De los métodos investigados para la disposición final de los DAA, se considera como el más adecuado el del almacenamiento geológico. La disposición de los DBA incluye:

- incineración de la materia orgánica
- solidificación
- compactación
- empaque sellado
- aislamiento a poca profundidad
- monitoreo continuo.

Paradójicamente, es en estas actividades de eliminación y control de los desechos radiactivos donde se enfoca la mayor oposición de la sociedad, mucho más que en la generación de tales desechos. En efecto, la aparición en público de la energía nuclear mediante las bombas sobre el Japón, hace 50 años, los accidentes de 3 Millas y Chernobil y algunos accidentes con radioisótopos ocurridos en varios países, han generado un temor y un rechazo generalizado hacia las instalaciones nucleares, incluidos los cementerios nucleares. Esta oposición se traduce a menudo

en falta de presupuesto para realizar las actividades necesarias lo que, finalmente, hace que el riesgo efectivo sea mayor. De ahí que sea indispensable una mejor labor de información pública sobre la magnitud real de los riesgos, en cada caso particular y no como un dogma general. Al respecto, el OIEA ha establecido normas (RADWASS) y programas de asesoramiento de gestión (PAGD) en 35 países, así como paquetes de información equipo y cursos de capacitación en gestión de desechos.

En México se creó la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) en 1956, la que tenía un Programa de Seguridad Radiológica que operó hasta su integración en la actual Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) en 1979. Esta Comisión y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se ocupan de los diversos aspectos de la gestión de los desechos radiactivos en México.

Aunque el programa nucleoelectrico de México está suspendido, la Central Nucleoelectrica de Laguna Verde (CNLV), genera anualmente unas 20 toneladas de DAA y 400 metros cúbicos de DBA. En cuanto a los DBA provenientes de pequeños productores, se generan anualmente 30 metros cúbicos de sólidos y 28 0 metros cúbicos de líquidos y se desechan 300 fuentes de radiación selladas {2} en todo el país. Asimismo, se tienen registrados más de 1000 usuarios de radioisótopos y unos 25,000 equipos de rayos x para radiografía. Lo anterior, aunado al incremento global de la lluvia radiactiva y del aumento de actividades de la industria nuclear mundial, obliga a una mejor supervisión y control de la radiactividad ambiental en nuestro país, tarea que también está a cargo de la CNSNS y del ININ y en la cual la Facultad de Química de la UNAM participa con un proyecto del OIEA sobre radón ambiental.

En el ámbito internacional se procura, en primer lugar, reducir el volumen de los DBA por razones de costo y espacio requeridos. La evacuación de estos desechos se realiza tanto en instalaciones ubicadas cerca de la superficie (Francia) como a profundidades intermedias (Noruega). Actualmente, unos 35 países cuentan con instalaciones para la evacuación de los DBA.

En cuanto a los DAA, constituidos en su mayoría por uranio quemado, se presentan 2 opciones: el reprocesamiento para extraer el plutonio o su evacuación final. La primera opción es apoyada por Argentina, Bélgica, China, Francia, Italia, Reino Unido, Rusia, Suiza y Alemania; la segunda opción ha sido adoptada por Canadá, Estados Unidos, España, Suecia y Finlandia. Por lo menos 25 países cuentan con instalaciones para la evacuación definitiva de sus DAA, pero sólo 7 tienen plantas de reprocesamiento a nivel industrial.

En México se encuentran en operación 2 almacenes temporales de desechos radiactivos, el de la CNLV para DAA y el CADER para DBA; el primero, a cargo de la CFE, el segundo, al del ININ.

### **La Contaminación Radiactiva de los Mares**

5 categorías de actividades humanas han contribuido a la contaminación radiactiva, del medio marino. Ellas son: {4}

- a) las explosiones nucleares en la atmósfera y en el mar;
- b) la liberación controlada de afluentes líquidos de baja radiactividad, provenientes de centrales nucleares, industrias, hospitales y centros de investigación;
- c) la evacuación de desechos de baja radiactividad en los fondos oceánicos, generalmente embalados;

d) los accidentes, como el de Chernobil, la pérdida de embarcaciones nucleares y de aviones con armas nucleares, la caída de satélites con equipo nuclear, etc.

Es importante señalar que la primera etapa del Convenio de Londres únicamente prohibía el vertimiento en el mar de los DAA y que no fue sino hasta 1983 que se aprobó la moratoria voluntaria para prohibir el vertimiento de los DBA, moratoria que se convirtió en prohibición total en 1994 y la cual no es seguro que esté siendo respetada por todos los países signatarios; por ejemplo, se tiene noticia de vertimientos recientes en el Artico, en los mares de Barents y Kara. En lo que respecta a accidentes en el mar, hasta 1992 se habían reportado 13 casos en todos los océanos, con excepción de la Antártida.

No en todos los casos se cuenta con información suficiente. El área más documentada es la del Atlántico Norte, siguiéndole la del Pacífico Norte. En la primera se han identificado 26 sitios de evacuación de desechos de baja actividad y, en la segunda, 21 sitios, que suman, respectivamente, los 45 y 1 Peta Becquerels mencionados en la Tabla anterior.

En cuanto a la composición de la mayor parte de los desechos vertidos en el mar, se ha encontrado que los emisores beta y gamma representan más del 98% de la radiactividad total y se trata de productos de fisión y activación tales como el tritio, el carbono 14, el hierro 55, el cobalto 58 y 60, el estroncio 90 y el cesio 137. De estos, el tritio equivale a la tercera parte de los radioisótopos evacuados. Se han encontrado también pequeñas cantidades de emisores alfa, de los cuales el plutonio y el americio representan el 96%.

Entre las acciones que las Naciones Unidas están ejerciendo para conocer, preservar y proteger al medio marino se

encuentra, además del aspecto legislativo antes mencionado, el establecimiento en 1961 del Laboratorio para el Medio Ambiente Marino (MEL), el cual es subsidiado por el Gobierno de Mónaco, el OIEA y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el que participan también la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO y diversos gobiernos e instituciones. Sus actividades principales se refieren a:

- a) estudios de los efectos de la evacuación de desechos nucleares;
- b) investigación de las consecuencias radiológicas de los ensayos de armas nucleares en el Océano Pacífico;
- c) estudios de la contaminación provocada por la industria y los productos agroquímicos en ecosistemas marinos;
- d) análisis del efecto invernadero y del calentamiento terrestre.

Más recientemente, en 1995, más de 100 gobiernos y la Unión Europea aprobaron la Declaración de Washington por la que se establece un Programa de Acción Mundial (PAM), para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra. Dicho PAM está dirigido a:

- a) evaluar los problemas causados por la contaminación marina en cuanto a: seguridad alimentarla, salud pública, ecosistemas, etc.;
- b) evaluar los efectos concretos de los diversos contaminantes tales como: aguas residuales, hidrocarburos, radioisótopos, etc.
- c) Seleccionar estrategias de remediación;

d) Promover los programas de acción nacionales y regionales.

En nuestro país, además de las acciones que sobre el tema ejercen las instancias gubernamentales tales como el ININ, la CNSNS y la SEMARNAP, la CNLV cuenta con un Laboratorio de Ingeniería Ambiental que monitorea continuamente la radiactividad en la zona costera aledaña a la Central. De acuerdo a sus informes, a la fecha no se ha detectado ningún efecto radiológico anormal. Cabe señalar que dicho Laboratorio cuenta con equipo muy especializado y personal técnico sumamente capaz.

#### CONCLUSIONES

Puede decirse que los problemas de la evacuación de desechos radiactivos y de contaminación del medio marítimo han

estado sumamente ligados en el pasado pero que, afortunadamente, tal contaminación ha cesado casi por completo y la situación actual es de cuantificación del daño, remediación y prevención. En cuanto a México, están por tomarse algunas decisiones importantes en estos rubros.

#### BIBLIOGRAFIA

- Baxter M. et al. *Ciencias Marinas: mancomunando esfuerzos en favor del medio ambiente*. Boletín del OIEA, 39,1, (1997).
- Jiménez, J. y Hernández E. *Gestión de desechos radiactivos generados de la aplicación de los radioisótopos en medicina, investigación e industria, a nivel nacional*. Memorias del Simposio sobre Desechos Radiactivos de la Sociedad Química de México. Guanajuato, Gto., (1996).
- Martínez, T. y Lartigue J. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 216, 1, (1997).
- Calmet, D. y Sjoblom, K. *Inventario del material radiactivo que entra al medio ambiente marino* Boletín del OIEA, 34, 3, (1992).