Desde Mónaco: Informe sobre la gestión de desechos y el mar

Actividades de investigación y desarrollo relacionadas con el medio ambiente en el Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina, del OIEA

por R. Fukai

El mar cubre aproximadamente el 70 por ciento de la superficie terrestre y su protección se considera de vital importancia para la vida humana. Al mismo tiempo, se sabe que los océanos son el "sumidero" final de muchos productos antropogénicos, incluidos los radionucleidos artificiales que se depositan o hasta se liberan directamente en la tierra o a la atmósfera.

Cuando se trata de prácticas de gestión de desechos relacionadas con el mar, es importante contar con información sobre el complejo comportamiento y el destino final de los radionucleidos en el medio ambiente marino para predecir y evaluar los efectos radiológicos en las personas. Debido a que el mar es, en su mayor parte, territorio internacional, la colaboración a ese nivel es esencial en esta esfera.

Métodos de control ambiental

Para dar cumplimiento a cualquier programa científico, es un requisito fundamental disponer de métodos apropiados para efectuar las mediciones necesarias con miras a lograr sus objetivos. Esto se aplica de manera especial al control ambiental de algunos radionucleidos de período largo. Por ejemplo, la extrema importancia ambiental de los isótopos de plutonio en la protección radiológica relacionada con la gestión de desechos en el mar no se comprendió totalmente hasta que se ideó un método (alfaespectrométrico) que permite medirlos en muestras ambientales.

Es difícil predecir el comportamiento de muchos radionucleidos en el medio ambiente marino sólo mediante los resultados de experimentos de laboratorio, ya que los procesos que lo rigen son demasiado complejos para simularlos. Por lo tanto, el mejor método para deducir ese comportamiento es efectuar mediciones de muestras ambientales y elaborar modelos razonables a partir de sus resultados. Dado que por lo general las concentraciones de radionucleidos artificiales en las muestras son bajas (excepto en algunas zonas especiales), se deben crear métodos suficientemente sensibles.

Durante más de diez años el Laboratorio de Mónaco ha trabajado en la elaboración de métodos analíticos para medir los elementos transuránicos y otros radionucleidos de período largo que se encuentran en las muestras ambientales a niveles bajos. A finales de los años setenta, el Laboratorio ideó un método para efectuar, por ejemplo, mediciones de niveles bajos de americio 241 en agua de mar, sedimentos marinos y materia biológica. Este método se ha aplicado a varias muestras tomadas en el Océano Pacífico, los mares Mediterráneo y Báltico y otros lugares. Los resultados de las mediciones permitieron que el Laboratorio dedujera el comportamiento específico de este isótopo en regiones océanicas diferentes.

Hasta el momento, el Laboratorio es uno de los pocos capaces de efectuar mediciones confiables de niveles bajos de americio 241 en muestras ambientales. Sobre la base de ese trabajo, también se ha creado un método para calcular el plutonio 241, que ha resultado útil en la identificación de fuentes de isótopos de plutonio en algunas zonas del medio ambiente marino.

En los últimos años el Laboratorio ha emprendido la elaboración de métodos para otros radionucleidos de período largo a niveles bajos, incluidos el tecnecio 99 (período de semidesintegración de $2{,}1 \times 10^5$ años) y el neptunio 237 (período de semidesintegración de $2{,}14 \times 10^6$ años). A pesar de que estos radionucleidos se encuentran en el medio ambiente marino desde los años cincuenta, su existencia y comportamiento no habían atraído la atención con anterioridad porque no existían métodos para medirlos en el medio ambiente.

En el caso del tecnecio 99, se ha aplicado el método de medición a varias muestras ambientales recogidas en diferentes regiones oceánicas. Los resultados demostraron que este elemento se concentra concretamente en especies de algas pardas, y que la descarga radiactiva proveniente de Sellafield, en el Reino Unido, puede detectarse en la costa noruega o en Groenlandia a más de 5000 kilómetros de su lugar de origen.

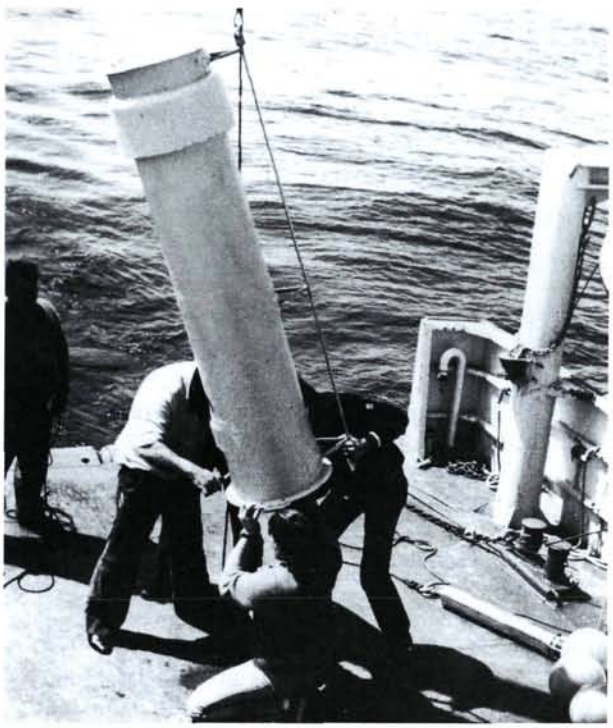
El Laboratorio ha creado también un método secuencial para medir los radionucleidos naturales, especialmente los isótopos de radio. Los resultados que se obtienen son de utilidad para comprender procesos geoquímicos tales como la disolución y la formación de partículas.

Los planes futuros prevén la creación de métodos para los radisótopos de período largo, por ejemplo el níquel 63 (período de semidesintegración de 100 años) emitido durante las operaciones de clausura de las instalaciones nucleares, y el yodo 129 (período de semidesintegración de $1{,}51 \times 10^7$ años) que procede de la reelaboración de desechos.

Garantía de la precisión de las mediciones

Desde 1968, y en estrecha colaboración con el Laboratorio del OIEA en Seibersdorf, Austria, el Laboratorio de Mónaco trabaja también en un programa

El Sr. Fukai es Jefe del Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina del OIEA, Musée Océanographique, Principado de Mónaco.



Preparativos a bordo para colocar un colector de sedimentos.

destinado a garantizar la calidad de los resultados de las mediciones ambientales obtenidos por los laboratorios nacionales de los Estados Miembros. Dado que la mayor parte de los océanos es territorio internacional, garantizar la precisión de las mediciones del medio ambiente marino reviste una importancia no sólo científica, sino también política.

El programa abarca dos aspectos: 1) organización y evaluación de las prácticas de intercalibración y presentación de informes al respecto, y 2) publicación de materiales de referencia uniformes. Estos aspectos están estrechamente relacionados en la práctica: se prepara en grandes cantidades un material homogéneo del medio ambiente marino con concentraciones de radionucleidos desconocidas, y se distribuye primeramente a los laboratorios que han expresado el deseo de participar en las prácticas de intercalibración. Posteriormente se evalúan mediante métodos estadísticos los resultados de las mediciones de radionucleidos concretos recibidos de los diferentes laboratorios, y se calculan las concentraciones más probables de cada radionucleido. Se considera que estos resultados son los que mejor representan las verdaderas concentraciones de los radionucleidos que contiene la muestra. Las cantidades restantes de la muestra se pueden designar entonces como material de referencia uniforme del cual se conocen las concentraciones más probables de varios radionucleidos.

Desde que se inició el programa, que es la contribución más directa del Laboratorio a las instituciones especializadas de los Estados Miembros, se han preparado aproximadamente 20 materiales de referencia uniformes cuyas matrices incluyen agua de mar, sedimentos marinos y muestras biológicas marinas. La lista incluye las concentraciones probables de plutonio 238, plutonio 239 y 240 y americio 241, así como de cobalto 60, estroncio 90, cesio 137 y otros radionucleidos naturales.

Transferencia de tecnología y capacitación

Otra esfera en que el Laboratorio efectúa contribuciones directas es la capacitación de científicos de países en desarrollo en mediciones de radionucleidos y experimentos con trazadores. En colaboración con la División de Asistencia y Cooperación Técnicas del OIEA, desde 1981 el Laboratorio viene aceptando anualmente, para su capacitación en el servicio, un promedio de dos becarios procedentes de varios Estados Miembros, entre ellos España, Filipinas, Grecia, Hungría, Portugal y Turquía. (Generalmente el período de capacitación es de un año.) Los científicos se capacitan en metodologías que son nuevas para ellos mediante el trabajo en conjunto con el personal del Laboratorio sobre temas concretos. En muchos casos, el personal del Laboratorio realiza visitas de consulta a los institutos de donde proceden los becarios para cerciorarse de que las metodologías se emplean eficazmente.

Evaluación de las repercusiones ambientales

Con miras a comprender el comportamiento y la distribución de determinados radionucleidos en los diferentes niveles de las columnas de aguas oceánicas, se realizan importantes estudios sobre sus "flujos de transporte vertical". El objetivo principal de dichos estudios es valorar cuantitativamente los flujos verticales descendentes de radionucleidos y otros contaminantes antropogénicos por conducto de partículas biogénicas descendentes (como mazas fecales, mudas, restos de animales muertos, etcétera) que se producen en las capas marinas superiores. Para determinar los flujos verticales se analizan los materiales obtenidos mediante colectores de sedimentos dispuestos a diferentes profundidades oceánicas. La liberación o barrido de radionucleidos mediante el descenso de partículas biogénicas puede calcularse combinando los resultados de las mediciones de los materiales obtenidos con colectores de sedimento y los de las mediciones del término fuente de las partículas biogénicas liberadas en las aguas superficiales.

Los resultados de los estudios demuestran que las partículas biogénicas en descenso vertical contienen altos niveles de radionucleidos y, por lo tanto, se considera que su movimiento vertical es el causante del traslado de varios radionucleidos y otros contaminantes desde las capas superficiales del océano hasta sus profundidades.*

La biocinética y la transferencia a través de la cadena alimentaria

El Laboratorio ha obtenido gran experiencia en el uso de radiotrazadores para medir la acumulación y pérdida de radionucleidos en organismos marinos de diversos

* Durante la ejecución del programa, el Laboratorio participó en programas nacionales (como el VERTEX de los Estados Unidos y el ECOMARGE de Francia) a los que aportó conocimientos especializados específicos. Su participación amplió el alcance del proyecto ya que ofreció la oportunidad de aplicar las metodologías de investigación establecidas en el Laboratorio a diferentes mazas de agua del Océano Pacífico y el Mar Mediterráneo.

tipos (incluidos el fitoplancton, el zooplancton, los crustáceos y los moluscos). Ultimamente los esfuerzos de investigación se han concentrado en la deducción de la biocinética y la transferencia a través de la cadena alimentaria de los elementos transuránicos y otros nucleidos de período largo. Entre los radiotrazadores utilizados en estos estudios están el tecnecio 95m, el neptunio 235, el plutonio 237, el americio 241, el curio 244 y el californio 252.

Los resultados de estos estudios son importantes para calcular los factores de concentración de radionucleidos transuránicos y de otra índole en diferentes organismos marinos, así como para comprender la biocinética de estos elementos en la transferencia a través de una cadena alimentaria determinada. Los factores de concentración de radionucleidos en diversos organismos marinos son especialmente importantes para valorar los efectos radiológicos que tiene en las personas cualquier radionucleido liberado en el mar. En vista de ello, la División del Ciclo del Combustible Nuclear del Organismo, junto con un grupo de consultores, trató de hacer una compilación de los valores del factor de concentración existentes. El Laboratorio aportó los valores del factor de concentración obtenidos en sus trabajos.

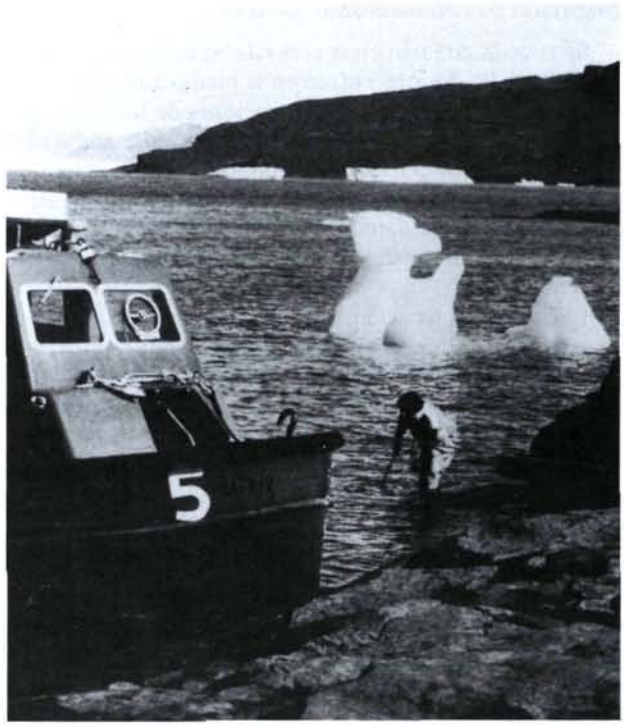
Además de los estudios experimentales con radionucleidos artificiales, se ha estudiado la distribución de los radionucleidos y su transferencia a través de la cadena alimentaria, debido especialmente a las altísimas concentraciones de polonio 210 que se encontró en los tejidos de algunos organismos marinos. Estos datos son útiles para comparar la dosis de la radiación natural con la que se recibe de radionucleidos artificiales liberados en el medio ambiente marino.

Estudios comparativos

Mediante la comparación de los resultados de las mediciones de radionucleidos en diferentes matrices obtenidas de diferentes lugares, ha sido posible deducir el comportamiento concreto de determinados radionucleidos liberados en diversas regiones marinas. Los estudios se realizaron en estrecha colaboración con instituciones nacionales del Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, la República Federal de Alemania y Suecia, entre otras. Se abarcaron zonas del Atlántico Norte y de los mares Artico, Báltico, del Norte y Mediterráneo.

Se recogieron en diversos lugares numerosas muestras de agua de mar, sedimentos y organismos marinos, y se realizaron mediciones de estroncio 90, tecnecio 99, cesio 134, cesio 137, plutonio 238, plutonio 239 y 240 y americio 241, entre otros elementos.

Los resultados pusieron de relieve algunos aspectos interesantes. Por ejemplo, aunque las cantidades de plutonio 238 y 240 vertidos en los mares Mediterráneo y Báltico son similares, la concentración superficial en el Mediterráneo es aproximadamente cinco veces mayor que en el Mar Báltico. Entre un 60% y un 80% del plutonio vertido en el Mediterráneo permanece en la columna de agua, mientras que el 99% del vertido en el Báltico se deposita en el sedimento. Esto se explica por las diferencias en las profundidades medios de ambos mares. (Los estudios también demostraron que el tecnecio 99 es un excelente trazador respecto del transporte de radionucleidos presentes en el mar.)



Recogida de algas frente a las costas de Thule, Groenlandia.

Los radionucleidos en los sedimentos

Muchos radionucleidos liberados en el medio ambiente marino se asocian con partículas terrígenas y biogénicas. Dado que estas partículas descienden por efecto de la gravedad, los radionucleidos también se desplazan hacia abajo y tarde o temprano llegan al fondo del mar. Si se mantuvieran allí sin moverse ésta sería una solución ideal para la gestión de desechos de estos isótopos. Sin embargo, en dependencia de diversos factores (por ejemplo, las características químicas de los radionucleidos, la naturaleza del sedimento, los movimientos del mar, la fauna béntica), los radionucleidos pueden volver a entrar en movimiento e introducirse nuevamente en los procesos geoquímicos y biogeoquímicos que ocurren en los sedimentos y en la interfaz agua/fondo marino. El objetivo de los estudios es verificar sistemáticamente estos procesos.

Hasta el momento se ha estudiado la división geoquímica de varios radionucleidos en diferentes tipos de sedimentos marinos, y en una serie de experimentos de laboratorio se han determinado factores de transferencia sedimento/animal. Se han comenzado estudios por separado sobre el grado del efecto de alteración biológica sobre la distribución de algunos radionucleidos naturales en los sedimentos marinos, y sobre la especiación química de los radionucleidos metálicos, como el cobalto 60 y el níquel 63, en las aguas intersticiales. En vista de la complejidad de los procesos de que se trata, se considera que los resultados obtenidos en los experimentos de laboratorio tienen una importancia limitada para los procesos que tienen lugar in situ. Se estima que los continuos esfuerzos por dar una orientación correcta a los proyectos de investigación en esta esfera son de especial importancia para realizar un trabajo útil y significativo.

Inventario de radionucleidos marinos

Se trabaja también en la compilación y evaluación de los radionucleidos que entran en el medio ambiente marino. El trabajo incluye estimaciones de los flujos de entrada y salida de radionucleidos en el medio embiente marino, y de inventarios de radionucleidos que se han deducido de mediciones ambientales. Mediante análisis posteriores se debe determinar si los inventarios son compatibles con los flujos estimados e identificar las diferencias.*

Inicialmente, de acuerdo con las recomendaciones de un grupo consultor, se estudiarán los radionucleidos siguientes: carbono 14, cesio 134, 135 y 137; radionucleidos de la serie de desintegración del uranio 238, dando prioridad al polonio 210 y el plomo 210, y luego al radio 226; y los isótopos de plutonio.

Programa coordinado de investigación

Para el período 1986–1988 el Laboratorio está organizando un programa coordinado de investigación (PCI) sobre métodos y estrategias para controlar la liberación de radionucleidos en las zonas costeras, haciendo hincapié en el uso de bioindicadores. En este programa participan varios institutos de países en desarrollo. Mediante el mecanismo del PCI se obtiene, recopila y publica la información científica necesaria para evaluar las repercusiones ambientales de la liberación de radionucleidos en el medio ambiente marino.**

Otras formas de cooperación internacional

Además de las actividades científicas relacionadas directamente con el programa de gestión de desechos del Organismo, el Laboratorio coopera con otras organizaciones internacionales en el control e investigación de la contaminación del medio ambiente marino. Entre estas organizaciones se encuentran la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Oceanográfica Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (COI/UNESCO).

El Laboratorio ha brindado especial apoyo al Programa del PNUMA sobre los océanos y las zonas costeras mediante el aporte de conocimientos científicos y técnicos. Esta ayuda incluye la elaboración, ensayo y publicación de directrices y referencias para la medición de contaminantes; asistencia en la medición de contaminantes; organización de prácticas de intercalibración y capacitación de personal científico. El trabajo abarca regiones del Mediterráneo, Kuwait y Africa occidental, central y oriental. El Laboratorio ha adquirido conocimientos especializados para esta asistencia realizando actividades similares en la esfera de los estudios de la radiactividad marina.

* El trabajo está basado en la recomendación formulada en marzo de 1984 por el grupo de examen científico del Laboratorio. En julio de 1985 un grupo consultor lo examinó y llegó a la conclusión de que ese tipo de trabajo puede ser de utilidad al OIEA y a toda la comunidad científica y puede contribuir a un examen futuro del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR).

** El Laboratorio organizó otros PCI titulados "Comportamiento cíclico del elemento transuránico en el medio ambiente marino" (1979–1981) y "Comportamiento de los radionucleidos de período largo asociados con la evacuación de desechos radiactivos en mares profundos" (1981–1984). También participó en dos PCI organizados por otras divisiones del Organismo sobre el "Estudio de materiales radiactivos en el Mar Báltico" y "El papel de los sedimentos en el transporte y la acumulación de radionucleidos en las vías acuáticas".

El Laboratorio de Mónaco

El OIEA tiene la responsabilidad de establecer directrices y hacer recomendaciones sobre prácticas internacionalmente aceptables de gestión de desechos que protejan el medio ambiente del hombre. Con este objetivo, el Organismo creó en 1961 el Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina en Mónaco sobre la base de un acuerdo tripartito con el Gobierno de Mónaco y el Instituto Oceanográfico de ese país. Desde entonces el acuerdo ha sido renovado en diversas ocasiones para permitir que el Laboratorio continúe cumpliendo su programa. Se espera que en un futuro cercano el OIEA y el Gobierno de Mónaco concluyan un nuevo acuerdo relativo a la sede, lo cual proporcionará una base más firme para su cooperación en esa esfera.

Los programas científicos del Laboratorio son examinados regularmente por un grupo de expertos altamente competentes en la esfera de los estudios de la radiactividad marina, cuyas recomendaciones sirven de base para efectuar modificaciones en los programas. El grupo de expertos más reciente se reunió en marzo de 1984.

El Laboratorio ha seguido concentrando sus esfuerzos en temas de investigación estrechamente relacionados con los aspectos de protección radiológica de la gestión de desechos radiactivos en el medio ambiente marino. Las esferas del programa científico relacionadas con el programa general de gestión de desechos del Organismo incluyen actividades de apoyo técnico para la vigilancia y la investigación de la radiactividad marina, así como actividades de recopilación de datos para evaluar las repercusiones ambientales de la liberación de radionucleidos en el medio ambiente marino.

Sede del Laboratorio: Musée Océanographique, Mónaco.