

Actividades del Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina

por A. Walton*

No ha sido sino en los últimos tres decenios cuando la opinión internacional ha tomado conciencia de la necesidad de administrar y cuidar uno de nuestros recursos más valiosos — los océanos. Sin embargo, pese a que tal necesidad se admite cada vez más, solo en los últimos 10 años se ha llegado a un acuerdo internacional para controlar la inmersión de desechos (inclusive de naturaleza nuclear) en el mar.

El Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina fue creado en 1961, mucho antes de la entrada en vigor de ese acuerdo internacional. En efecto, el Laboratorio nació por iniciativa del Organismo Internacional de Energía Atómica, que previsoramente advirtió la necesidad de abordar el problema del comportamiento de las sustancias radiactivas en los océanos — cuestión sobre las que se poseían pocos conocimientos antes de los años 50. Con la cooperación del Gobierno de Mónaco y del Instituto Oceanográfico, el Laboratorio fue establecido en 1961 en el Museo Oceanográfico de Mónaco. Fue un acierto instalar el Laboratorio en un edificio erigido por uno de los iniciadores más eminentes de la oceanografía — el Príncipe Alberto I de Mónaco.

Desde 1961, el programa y las actividades del Laboratorio de Mónaco se han ido ampliando y modificando a la par que cambiaban las prioridades en los trabajos sobre contaminación de los océanos. Pese a los muchos cambios de este género habidos en los últimos 20 años, es probablemente correcto afirmar que los objetivos generales han permanecido invariables. Por consiguiente, la misión del Laboratorio es:

- realizar investigaciones sobre la existencia y el comportamiento de las sustancias radiactivas y otras formas de contaminación en el medio ambiente marino;
- verificar la buena calidad y la comparabilidad de los estudios realizados por laboratorios nacionales sobre las sustancias radiactivas y otras formas de contaminación presentes en el medio ambiente marino, mediante comparaciones entre los laboratorios, calibración y estandarización de la metodología;
- ayudar a los Estados Miembros a resolver sus problemas de radiactividad marina y del medio ambiente capacitando a personal, estableciendo programas coordinados de investigación y prestando asesoramiento y asistencia.

Se habrá observado que los trabajos del Laboratorio no están consagrados exclusivamente a las cuestiones relativas a la radiactividad. En efecto, se ha acordado que, con la cooperación y el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de la UNESCO, el Laboratorio realizará estudios sobre

“contaminantes no nucleares”, además de su programa normal referente a la radiactividad. Este campo de actividades es lógico y racional en vista de las analogías de los trabajos de campo y de laboratorio en estas materias.

A fin de alcanzar dichos objetivos las actividades y el personal del Laboratorio se han agrupado en tres secciones principales: Química Marina, Biología Marina y Sedimentología/Geoquímica Marinas — este último grupo ha sustituido a la Sección de Estudios sobre el Medio Ambiente, a finales de 1980.

Química Marina

Los elementos transuránicos en el medio ambiente marino: Uno de los principales programas de la Sección de Química Marina es estudiar el comportamiento de los elementos transuránicos en el medio ambiente marino. Se han efectuado recientemente mediciones de ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ y ^{241}Am en agua de mar, agua de río, materia en suspensión, agua de lluvia y sedimentos recogidos en toda la región del Mediterráneo. Estos datos permiten observar el comportamiento de los elementos transuránicos desde que entran en el mar aportados por los ríos y las precipitaciones atmosféricas, hasta su separación, cuando ésta tiene lugar, por procesos de sedimentación en la capa límite bentónica. Inesperadamente, los resultados demuestran que, en el Mediterráneo, el plutonio de las precipitaciones se presenta en forma bastante soluble, mientras que el americio tiende a asociarse más fácilmente con partículas, de forma que es transportado verticalmente por las partículas descendentes con mayor rapidez que el plutonio. Se sigue explorando el mecanismo exacto de este comportamiento diferente del plutonio y el americio en las capas superiores del Mediterráneo. Un mejor conocimiento de la velocidad y magnitud de la transferencia de elementos transuránicos hasta los sedimentos del fondo es desde luego de considerable importancia para juzgar las consecuencias de la evacuación de desechos radiactivos en el mar.

Los oligoelementos en el Mediterráneo: Como parte de un programa del PNUMA sobre la geoquímica de los oligoelementos metálicos en el Mediterráneo, el Laboratorio estudia la distribución de ciertos oligoelementos a fin de obtener datos de referencia como contraste para determinar las eventuales tendencias a largo plazo. En varios cruceros realizados recientemente se tomaron en mar abierto muestras de agua y de sedimentos en diversas zonas del Mediterráneo. Con fines de comparación, se tomaron también un número limitado de muestras en puntos costeros. La determinación del cobre, cinc, cadmio y mercurio se realizó por voltimetría de separación anódica en el caso de las muestras de agua, y por espectrofotometría de absorción

*Director del Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina de Mónaco.

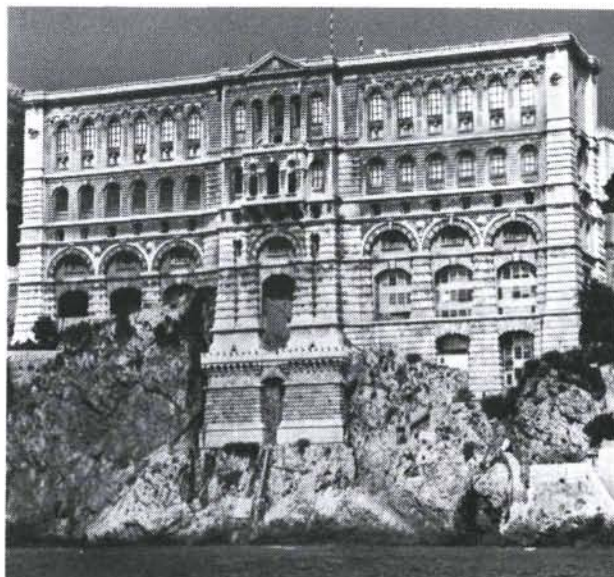
atómica, en el de los sedimentos. Aunque existen algunos "puntos neurálgicos" de presencia de estos oligoelementos metálicos en las zonas costeras del Mediterráneo, se ha comprobado que las concentraciones en aguas abiertas del mismo no difieren mucho de las de otras zonas oceánicas y suelen ser más bajas que las halladas en otros mares cerrados, por ejemplo, el Mar del Norte, el Mar de Irlanda y el Mar Báltico.

Programa de intercalibración: El Laboratorio, por su carácter genuinamente internacional, se ha convertido en una institución aceptada para la coordinación de una serie de programas mundiales cuyo fin es mejorar la calidad de los datos sobre el medio ambiente, mediante la organización de comparaciones entre laboratorios y la preparación y distribución de materiales de referencia.

Para las mediciones de radionucleidos, se han realizado con la participación de unos 100 laboratorios de más de 30 países, prácticas de intercalibración utilizando tres muestras de agua de mar, tres muestras de sedimentos y cuatro muestras biológicas marinas. Las muestras homogéneas preparadas en el Laboratorio se distribuyeron entre las organizaciones participantes. Los resultados de la encuesta han revelado, después de un examen crítico, que si bien la comparabilidad de las mediciones de productos de fisión han mejorado considerablemente en los últimos años, debido probablemente al perfeccionamiento del equipo de espectrometría gamma, la comparabilidad de las mediciones de elementos transuránicos de bajo nivel era menos que satisfactoria. Por consiguiente, en los últimos años, los trabajos de intercalibración se han centrado especialmente en las mediciones de elementos transuránicos. Se ha puesto de manifiesto la necesidad de tener fácil acceso a materiales de referencia, en los que se conozca con exactitud la concentración de los radionucleidos investigados, a fin de comprobar la eficacia de los métodos aplicándolos a dichos materiales de referencia. Actualmente, a fin de satisfacer esta necesidad, se están preparando grandes muestras de sedimentos homogéneos.

Las prácticas de intercalibración se han ampliado también a la medición de oligoelementos e hidrocarburos clorados. En los trabajos sobre oligoelementos han participado hasta la fecha unos 120 laboratorios de 35 países. En 1976-1980, se llevaron a cabo prácticas de intercalibración con cuatro muestras biológicas (ostras, copépodos, plantas marinas y carne de pez). Los resultados demuestran que en general la comparabilidad de los resultados de los análisis es mucho mejor que la esperada, excepto en el caso del plomo.

En las prácticas de intercalibración sobre hidrocarburos clorados presentes en el agua del mar, organismos marinos y sedimentos han participado hasta ahora alrededor de 50 laboratorios de todo el mundo. El examen de los resultados indica que, si bien la dispersión de los valores hallados en el caso de los hidrocarburos clorados suele ser mayor que en el de los metales pesados, debido a la menor reproductibilidad intrínseca de las mediciones de hidrocarburos, la comparabilidad de los resultados comunicados por los diferentes laboratorios es mejor que la esperada, excepto para algunos compuestos, por ejemplo, el hexacloruro de benceno alfa, el hexacloruro de benceno gamma, etc. Teniendo en cuenta que un cierto número de laboratorios participantes han empezado hace poco a trabajar en programas de mediciones del medio ambiente, cabe



El Museo Oceanográfico de Mónaco, Sede del Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina del Organismo.

esperar en el futuro una considerable mejora de la comparabilidad de los resultados. Lo mismo que el programa de intercalibración referente a los oligoelementos, las prácticas de intercalibración relacionadas con los hidrocarburos clorados constituyen un componente esencial de los proyectos patrocinados por el PNUMA.

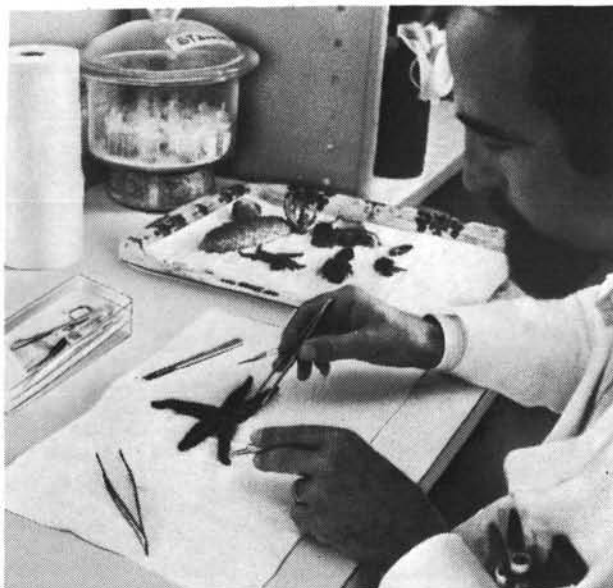
Estos trabajos de intercalibración se extenderán en el futuro a los materiales radiactivos naturales, los radionucleidos originados por las actividades industriales y los contaminantes de origen no nuclear. Se prestará también atención creciente a las ventajas de normalizar las técnicas de muestreo.

A fin de poder desempeñar un papel dirigente en estas importantes actividades internacionales, el laboratorio de Mónaco debe mantener el más alto nivel de competencia científica y técnica en esta esfera. Incluso en el plano administrativo y organizativo, reviste un valor incalculable la experiencia adquirida en los últimos años en la tarea de distribución de muestras y control de resultados realizada para distintos laboratorios de muchos países.

Biología marina

La Sección de Biología dedica también sus trabajos a los materiales radiactivos y a los de otra índole. Muchas de las técnicas de radiotrazadores elaboradas inicialmente para trabajos con sustancias radiactivas han demostrado ser particularmente valiosas para el estudio de los metales pesados.

Transporte vertical de contaminantes: El objetivo principal de este proyecto es la evaluación cuantitativa del flujo vertical descendente de contaminantes tales como radionucleidos, metales pesados, hidrocarburos clorados, etc., causado por la caída de materia en forma de partículas biogénicas. El flujo vertical de los contaminantes presentes en los detritos biológicos tales como pelotillas fecales, mudas, cadáveres, y sus restos, etc., se determina analizando los materiales tomados en trampas de sedimentos situadas a distintas profundidades en el mar. Paralelamente a este acopio de muestras



Uno de los científicos del Laboratorio se dispone a disecar una muestra biológica para estudios de radiactividad.

mediante trampas, los mismos materiales, recién liberados por el zooplancton y otros organismos marinos, se muestrean con aparatos de abordaje especialmente diseñados, y a continuación se analizan para determinar los mismos contaminantes. El conocimiento de las concentraciones de contaminantes en los detritos biológicos a distintas profundidades, juntamente con el de las concentraciones en los mismos materiales liberados en las aguas superficiales ("términos originales"), permite estimar la liberación y/o la eliminación de estos contaminantes por los detritos biogénicos en su movimiento descendente. Los trabajos de campo son completados con mediciones en laboratorio de la descomposición y liberación consecutiva de los contaminantes presentes en esos materiales, mediante análisis de radiotrazadores y de elementos estables. Esta información se está utilizando para comprobar modelos del movimiento de los contaminantes introducidos en la superficie, en su descenso hasta la capa límite bentónica. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que las partículas biogénicas descendentes contienen a menudo proporciones sumamente elevadas de distintos contaminantes y contribuyen a eliminar muchos de estos contaminantes de las capas superficiales y transportarlos a las capas profundas.

Estos trabajos sobre el flujo de los elementos transuránicos se van a prorrogar y formarán parte del programa VERTEX (Transporte vertical e intercambio de materiales en las capas superiores de los océanos), un proyecto multiinstitucional propuesto por la Oficina de la Fundación Científica Nacional de los Estados Unidos, con ocasión del Decenio Internacional de la Exploración de los Océanos, 1980-1990.

Bioacumulación y transferencia de los elementos transuránicos por la cadena alimentaria: Se están realizando experimentos con trazadores para medir los coeficientes de transferencia del plutonio, americio, curio y neptunio, a partir del agua, los sedimentos y alimentos, en diversos organismos marinos. Se presta especial atención al estudio de especies pelágicas del zooplancton que contribuyen al transporte vertical, y de especies bentónicas que viven en estrecho contacto con los sedimentos.

Los datos resultantes de los estudios sobre especies bentónicas servirán de parámetros de entrada para las evaluaciones referentes a la evacuación en aguas profundas. Además, se realizan estudios a nivel orgánico y subcelular sobre el comportamiento y el destino final de elementos transuránicos que se hacen pasar por cadenas alimentarias simuladas. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que el agua y los alimentos son vectores más importantes que los sedimentos en la transferencia de elementos transuránicos a los organismos marinos. Además, algunos invertebrados bentónicos retienen grandes fracciones de estos radionucleidos durante largos períodos, tras incorporarlos a partir del agua o de los alimentos. Los trabajos experimentales se han visto grandemente facilitados por el emisor gamma ^{237}Pu que permite efectuar mediciones *in vivo*.

Distribución de los emisores alfa naturales en los organismos marinos: El polonio-210, nucleido radiactivo natural, se concentra muy fuertemente en los organismos marinos y puede considerarse que causa la dosis de radiación más elevada en muchas especies.

La proporción del polonio-210 en un pez entero puede alcanzar hasta 7000 pCi/kg en húmedo, mientras que en un concentrado de proteína de pez, concretamente de anchoa, se ha hallado un valor sumamente elevado, 26 000 pCi/kg en seco. La dosis de radiación al zooplancton causada por el polonio-210 interno se calcula que es de unos 400 mrem/año, mientras que en algunas especies la dosis a órganos críticos podría ser del orden de 10 rem/año. Los factores de acumulación del polonio-210 pueden ser de 10 a más de 10 000 veces mayores que los de ciertos nucleidos transuránicos.

Se está ejecutando un programa para diferenciar la distribución del ^{210}Po en los tejidos de ciertos organismos marinos seleccionados. Los resultados indican que el hepatopáncreas o hígado de una gran variedad de especies suele contener las proporciones máximas de ^{210}Po , y se está procurando con especial atención determinar exactamente los lugares de fijación de este radionucleido en dicho órgano. Los futuros trabajos se encaminarán a dilucidar la distribución subcelular del mismo, con ayuda de técnicas bioquímicas. Los datos servirán para determinar las tasas de dosis debidas a la radiación de fondo natural y para evaluar las dosis provenientes de otros radionucleidos vertidos al medio ambiente. Esta labor podría contribuir de modo importante al mejor conocimiento del controvertido problema de los efectos de bajos niveles de radiación nuclear en los organismos vivos.

Estudios biocinéticos de los metales pesados: Estos estudios son una buena ilustración de cómo las técnicas de trazadores radiactivos se han perfeccionado y aplicado a la investigación del comportamiento y destino final de los metales pesados contaminantes de la biosfera marina. Utilizando los trazadores emisores gamma cadmio-109, mercurio-203, selenio-75, arsénio-74 y vanadio-48, es posible examinar *in vivo* la acumulación y pérdida de estos metales por los organismos marinos, evitando de esta manera las operaciones de sacrificio del animal, extracción del órgano y análisis químico necesario en el caso de los metales estables. De este modo se está estudiando la bioacumulación y la transferencia y través de la cadena alimentaria en las especies pelágicas y bentónicas. Se tiene gran interés por evaluar

Toma de muestras en el mar. ►

la medida en que los parámetros ambientales tales como la temperatura, salinidad y carga de metales afectan a los ciclos biogeoquímicos de estos elementos. También se han comparado experimentos realizados en laboratorio con mediciones análogas efectuadas *in situ*, a fin de evaluar hasta qué punto los resultados obtenidos en el laboratorio reflejan los procesos reales que se desarrollan en el medio ambiente natural. Los resultados conseguidos hasta ahora indican que ciertos factores ambientales influyen fuertemente sobre el flujo de metales a través de muchas especies marinas y, por ende, los ciclos biogeoquímicos de estos metales varían con estos factores. La comparación de los experimentos de laboratorio con los de campo ha puesto de manifiesto las múltiples dificultades de preparar experimentos de laboratorio que proporcionen información fiable sobre los procesos naturales.

Estudio de referencia sobre los oligoelementos metálicos presentes en organismos de zonas abiertas del Mediterráneo:

Ultimamente se han realizado varios cruceros oceanográficos para capturar y analizar una variedad de organismos pelágicos a fin de determinar ciertos oligoelementos metálicos. Se atiende en especial a la diferenciación y análisis de las distintas especies, a fin de evitar los muchos problemas que suscita la interpretación de la concentración de metales en muestras mixtas de plancton. Los resultados indican que la concentración de oligoelementos metálicos en las especies pelágicas de zonas abiertas del Mediterráneo no suele diferir de la medida en organismos similares de otras regiones oceánicas. La concentración del mercurio parece ser particularmente baja en muchas de esas especies.

Estudios biocinéticos de hidrocarburos clorados: Se han organizado experimentos para medir la bioacumulación, distribución tisular y depuración de ciertos compuestos de hidrocarburos clorados, en una serie de especies marinas. Se está examinando también el grado de transferencia por la cadena alimentaria, así como la biodisponibilidad a partir de los sedimentos. Se presta especial atención a la medida en que los datos obtenidos en laboratorio sobre la biocinética de los hidrocarburos clorados pueden extrapolarse a las situaciones reales del medio ambiente natural. La información resultante de estas comparaciones entre condiciones naturales y

sistemas de laboratorio proporciona orientación para los experimentos de laboratorio encaminados a obtener información realista acerca de los procesos *in situ*.

Sedimentología marina

Esta labor va a significar una importante ampliación de los trabajos del Laboratorio. Los sedimentos marinos suelen considerarse como el sumidero final de la mayoría de los elementos químicos que experimentan distintos procesos geoquímicos tanto en el mar como en la tierra. Pero se sabe también que varios elementos pueden ser reciclados por reacciones agua-sedimentos así como por interacción biológica con los organismos marinos. Es indispensable conocer mejor los mecanismos y alcance de estos procesos potenciales de reciclado. El programa es de particular importancia si se consideran los efectos a muy largo plazo de los contaminantes y el eventual destino de los materiales vertidos al medio ambiente marino, que dependerá de las reacciones que tengan lugar en la interfase sedimentos-agua. Esto merece especial atención desde el punto de vista geoquímico.

Cooperación internacional

El Laboratorio de Mónaco admite a científicos visitantes con licencia sabática, así como a personal, principalmente de los países en desarrollo, para su capacitación. Las actividades de capacitación se consideran un componente importante de los trabajos patrocinados por el PNUMA en el Mediterráneo y en otros lugares, en el marco del Programa de mares regionales.

Esta labor del PNUMA, que representa alrededor del 20% de las actividades del Laboratorio, se realiza en estrecha colaboración con otras instituciones nacionales del Mediterráneo y otras regiones. Como parte de este programa de colaboración, el Laboratorio tiene un ingeniero electrónico encargado de instalar y mantener los instrumentos de medición, tales como cromatógrafos de gases, espectrofotómetros de absorción atómica, medidores de corriente, etc. Esta actividad es de particular valor para los países en desarrollo que participan en los trabajos. Además, en colaboración con el Centro Científico de Mónaco, el Laboratorio creó en 1975 una dependencia encargada del mantenimiento de los refinados instrumentos electrónicos que ambos poseen.

