

## Contaminación ambiental del Mar Negro: En busca de respuestas

*Como parte de esfuerzos de mayor envergadura, el OIEA está apoyando investigaciones destinadas a ayudar a los países a evaluar los problemas de contaminación en la región del Mar Negro*

por V. Fabry,  
K. Fröhlich e  
I. Osvath

Muchos países de todo el mundo se preocupan cada vez más por proteger sus regiones costeras y estuarios de la contaminación y otros efectos nocivos provocados por la actividad del hombre. Un ejemplo de ello es la región del Mar Negro, donde los gobiernos han adoptado un enfoque regional de la ordenación y la protección del medio marino que se apoya en investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional.

Los problemas ambientales del Mar Negro son graves. Sus aguas poco profundas y superficiales mixtas reciben aportes fluviales excesivamente cargados de nutrientes que contienen nitrógeno y fósforo, y que están contaminados con desechos industriales y mineros. Además, parece que las industrias costeras vierten directamente en el mar desechos con poco o ningún tratamiento. Por ello, la calidad del agua de la capa superficial, sustentadora de la vida, se ha deteriorado seriamente. Hoy día predomina en muchas regiones del Mar Negro, la eutrofización (enriquecimiento en nutrientes), que ha transformado drásticamente la cadena alimentaria marina contribuyendo así a la desaparición de la pesca en el Mar Negro, especialmente en la región noroccidental, y a la disminución de su valor como lugar de esparcimiento.

Intervienen también otros factores, entre ellos, los cambios en el equilibrio hidrológico, la pesca excesiva y la contaminación química. (*Véanse los cuadros de la página siguiente.*) Analizados en conjunto, dichos factores han contribuido a que ocurran cambios catastróficos en el medio ambiente del Mar Negro. Por ejemplo, la escorrentía que recibe ha disminuido mucho debido a la construcción de embalses para el riego en los ríos principales. Esto podría provocar que se modificara el intercambio hídrico por el Bósforo y disminuyera el del estrecho

El Sr. Fröhlich es funcionario superior de la Sección de Hidrología Isotópica del Departamento de Investigaciones e Isótopos. La Sra. Osvath y la Sra. Fabry son funcionaria y ex funcionaria, respectivamente, del laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL) ubicado en Mónaco.

de Kerch. Además, al menguar la corriente de los ríos Don y Kuban ha ocurrido un aumento neto de la salinidad en las inmediaciones del Mar de Azov, lo que ha mermado la producción pesquera de esa región.

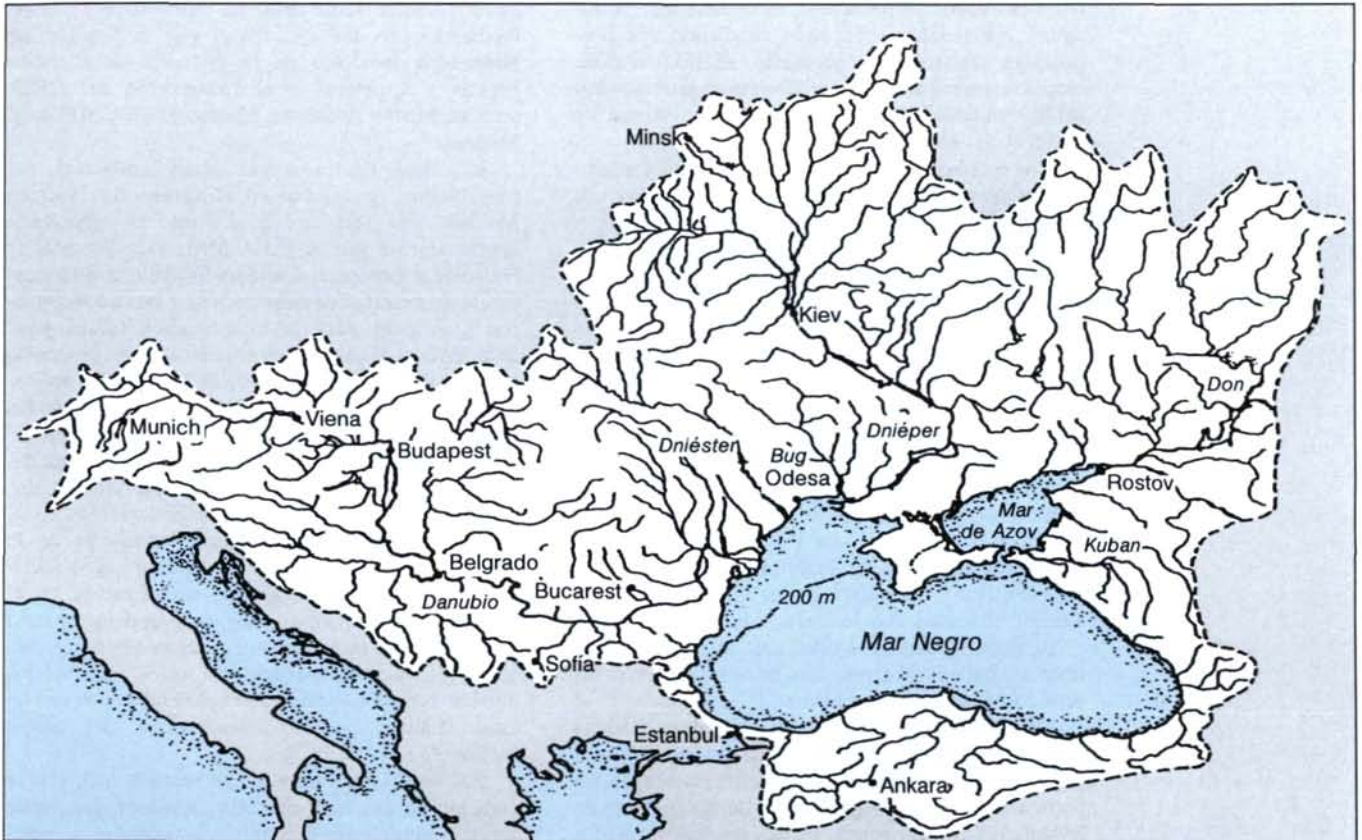
Después del accidente de Chernobil en 1986, los países ribereños siguieron asignando a la contaminación radiactiva una máxima prioridad. Ultimamente, la preocupación del público ha ido en aumento debido a los informes sobre deficiencias de la seguridad en algunas instalaciones nucleares ubicadas en la cuenca del Mar Negro y a los posibles problemas relacionados con el almacenamiento de los desechos. Hasta la fecha, ninguna de las mediciones de radionucleidos en el Mar Negro, reconocidamente limitadas, indican que exista una exposición radiológica importante, ya sea colectivamente o con respecto a grupos críticos. Con todo, aún se necesita una evaluación más detallada de la dosis.

En el presente artículo se analizan los principales aspectos de la situación ambiental en el Mar Negro y se esbozan las posibilidades del empleo de trazadores isotópicos para estudiar sus aguas, al igual que los primeros resultados así obtenidos. Se examinan además las iniciativas del OIEA para sumarse a las actividades internacionales concertadas que tienen por objeto rehabilitar el medio ambiente del Mar Negro.

### Isótopos en los estudios del Mar Negro

En los últimos años, las técnicas isotópicas han contribuido notablemente al progreso de los estudios oceanográficos y del medio marino. La investigación en estas esferas está dirigida a lograr una mejor comprensión de los procesos y fenómenos oceanográficos fundamentales, a la protección y ordenación del medio marino, incluido el uso apropiado de sus recursos, y a reconstruir los cambios de alcance mundial ocurridos en el pasado y a pronosticar los futuros.

En la región del Mar Negro es necesario realizar nuevos estudios del transporte y la redistribución de



**Mapa:** Con una superficie de 461 000 kilómetros cuadrados y un volumen de 540 000 kilómetros cúbicos, el Mar Negro es una excepcional masa de agua, prácticamente cerrada y bastante profunda (de 2212 metros de profundidad máxima), que comparten Bulgaria, Georgia, Rumania, Rusia, Turquía y Ucrania. Su capa superficial, poco profunda y mixta, tiene una salinidad relativamente baja, que se mantiene en virtud de una gran afluencia de agua dulce proveniente de dos de los mayores ríos de Europa, el Danubio y el Dniéper, así como, del Dniéster, el Don, el Kuban y diversos ríos más pequeños. La superficie total de su cuenca fluvial abarca más de 2 200 000 kilómetros cuadrados. Se calcula que la afluencia total de agua dulce es de 350 kilómetros cúbicos anuales. Una cantidad ligeramente menor (230 kilómetros cúbicos por año) procede de las precipitaciones que caen sobre la región del Mar Negro. Las aguas del Mediterráneo, que penetran en el Mar Negro a través del estrecho del Bósforo en Turquía, se mezclan rápidamente con aguas frías en la plataforma continental y se hunden hasta una profundidad intermedia (500 metros), formando una serie de intrusiones frías que se extienden horizontalmente hacia el interior de la cuenca. A diferencia de cualquier otro, el Mar Negro se mantiene permanentemente anóxico (deficiencia de oxígeno) por debajo de los 150 a 200 metros de profundidad. Así pues, la química de sus aguas profundas se rige por procesos químicos y biológicos completamente distintos a los del resto de los océanos del mundo.

Fuente: Mapa tomado de L.D. Mee, *Ambio*, 21, 4 (1992).

**Reducción de la descarga anual de algunos ríos que desembocan en el Mar Negro**

Río	Corriente natural (en km <sup>3</sup> por año)	Porcentaje de reducción durante		
		1971-75	1981-85	1991-2000 (proyectado)
Don	27,9	19	27	43
Kuban	13,4	39	49	65
Dniéper	53,5	24	52	71
Dniéster	9,3	20	40	62

Fuente: Tomado de L.D. Mee, *Ambio* 21 (4) 278 a 286 (1992).

**Nutrientes y contaminantes vertidos por el río Danubio en el Mar Negro**

Sustancia	Cantidad (toneladas por año)
Fósforo	60 000
Nitrógeno	340 000
Zinc	6 000
Plomo	4 500
Cromo	1 000
Cobre	900
Mercurio	60
Petróleo	50 000

Fuente: Tomado de L.D. Mee, *Ambio* 21 (4) 278 a 286 (1992).

los radisótopos introducidos recientemente en sus aguas superficiales, sobre todo atendiendo a preocupaciones sanitarias. Es necesario, además, realizar estudios con miras a comprender mejor procesos que serán fundamentales para mejorar la ordenación regional del medio ambiente.

Los estudios con trazadores basados en distintos radisótopos ofrecen esencialmente diferentes tipos de información sobre los procesos oceanográficos y biogeoquímicos. Como toda información que se pueda proporcionar será de gran importancia para facilitar una mejor comprensión del Mar Negro, se ha venido alentando la medición continuada de diversas sustancias trazadoras. (*Véase el cuadro de la página 24.*) Por ejemplo, los radionucleidos antropógenos cesio 137 y estroncio 90 pueden suministrar una valiosa información sobre escalas cronológicas del decenio. En este sentido revisten especial interés los radionucleidos que se introdujeron en las aguas superficiales del Mar Negro a causa del accidente ocurrido en Chernobil en 1986. Esta entrada de trazadores en forma de impulsos se puede utilizar para seguir la mezcla física de las aguas superficiales óxicas, marcadas con los trazadores de Chernobil, y las aguas abisales anóxicas, que al inicio estaban libres de los componentes de Chernobil. (*Véanse los gráficos de la página siguiente.*)

Otros elementos de partículas reactivas como el torio y el plutonio, se pueden utilizar para determinar la escala cronológica de la eliminación de las partículas de la capa superficial y de las regiones de la plataforma continental. El uso de radionucleidos como el carbono 14, el plomo 21, los isótopos de torio, el cesio 137, y los isótopos de plutonio para los sedimentos del fondo, puede proporcionar cronologías de hasta decenas de miles de años. Además, junto con otros parámetros pertinentes, se pueden utilizar para registrar las tasas de cambios climáticos y de procesos de eutrofización. También se puede obtener información sobre las edades de algunos marcadores biológicos presentes en los sedimentos. Por ejemplo, se ha observado recientemente que las tasas de sedimentación determinadas por el carbono 14 son inferiores a las determinadas por el plomo 210, y ello indica cierto descenso a largo plazo en las tasas totales de sedimentación. Mediante esta información recientemente comprobada sobre las deposiciones, se pueden confeccionar registros exactos de los últimos 3000 años para cualquier variedad de elementos y de marcadores biológicos secundarios del Mar Negro.

Las razones de isótopos estables pueden proporcionar información sobre el papel que desempeña la afluencia de cursos de agua provenientes del estrecho del Bósforo y sobre sus efectos. Pueden, además, ofrecer información sobre las fuentes de materia orgánica y nutrientes, y sobre las fluctuaciones cronológicas de la población de plancton de las aguas superficiales.

#### **Programa coordinado de investigaciones del OIEA**

Durante más de tres decenios, el Departamento de Investigaciones e Isótopos del OIEA ha iniciado y apoyado el uso de técnicas de trazadores isotópicos

en estudios del medio ambiente hidrológico y marino mediante actividades dirigidas por la Sección de Hidrología Isotópica de la División de Ciencias Físicas y Químicas y el Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL) en Mónaco.

En vista de la actual crisis ambiental del Mar Negro, se celebró en el verano de 1992 en Mónaco una reunión de consultores organizada conjuntamente por el IAEA-MEL y la Sección de Hidrología Isotópica. La reunión contó con la asistencia de expertos de ocho países, y en ella se trazaron directrices para la investigación futura y se definieron el alcance y los objetivos de un programa coordinado de investigación (PCI) sobre la aplicación de técnicas de trazadores en el estudio de los procesos y de la contaminación en el Mar Negro.

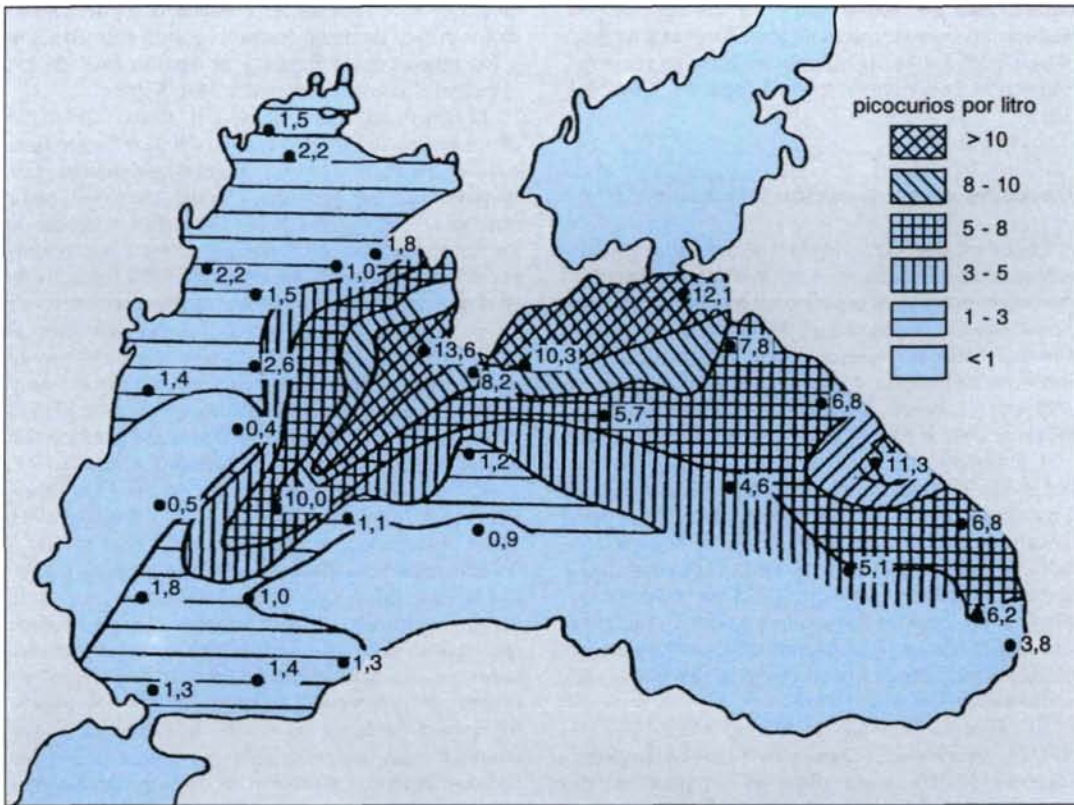
Los expertos recomendaron usar radionucleidos naturales y antropógenos e isótopos ambientales para evaluar el inventario de radionucleidos en el Mar Negro; evaluar las futuras tendencias de la contaminación radiactiva; y estudiar la circulación física y los procesos de eutrofización en el Mar Negro. Se prevé que la ejecución del programa esté a cargo de institutos de los países ribereños. Sin embargo, también participarán otros laboratorios que han acumulado bastante experiencia en el uso de estas técnicas para la investigación del medio marino.

Las recomendaciones de la reunión incluyen la creación de una base de datos detallada que puede servir después para determinar actividades de referencia para estudios de radionucleidos en general, y cuestiones relativas a la contaminación y la evaluación de dosis, en particular. Se señaló que como parte de un proyecto en curso el IAEA-MEL proporcionará una base de datos detallada para la región.

Los expertos observaron además que, excepto los modernos sistemas de espectrometría gamma, el otro equipo de que disponen los países que bordean el Mar Negro no puede cumplir los requisitos de análisis de bajo nivel necesarios para aplicar las técnicas de trazadores a la investigación marina. Por lo general, los laboratorios que participan directamente en la investigación marina carecen de los instrumentos requeridos para analizar isótopos estables. Por tanto, se consideró necesario proporcionar equipo radiométrico de baja actividad e instalaciones de procesamiento radioquímico a determinados laboratorios regionales que intervienen en el programa.

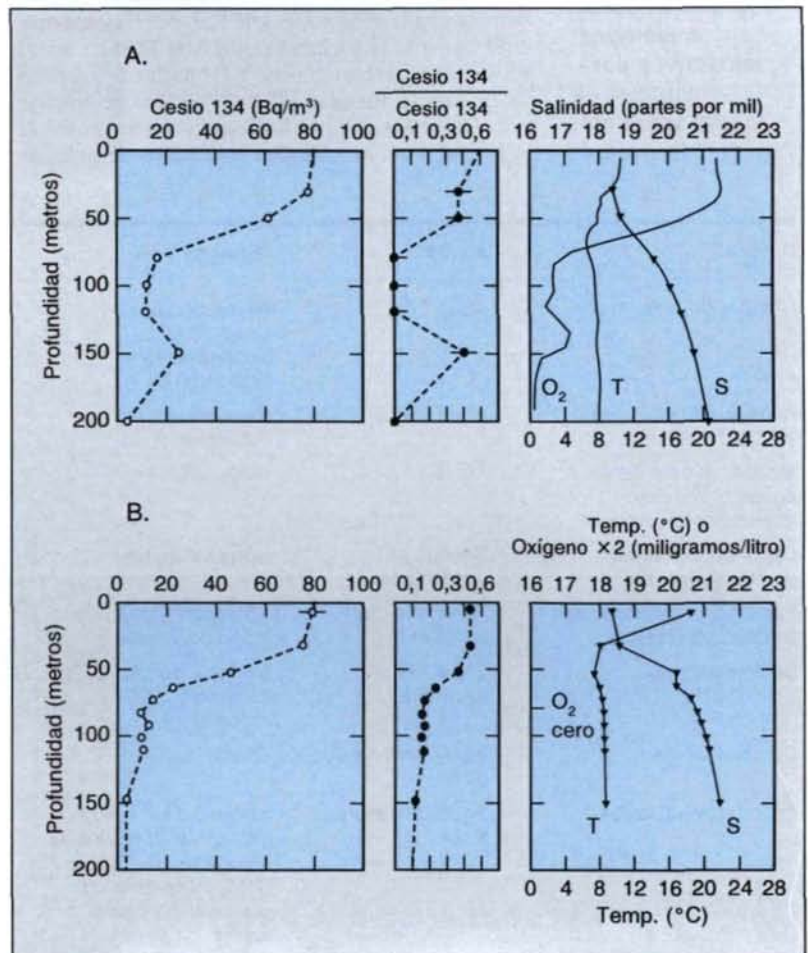
Además, la reunión recomendó encarecidamente que los laboratorios interesados participaran regularmente en los ejercicios de intercomparación del OIEA organizados por conducto del programa de Servicio para el Control de la Calidad de los Análisis (SCCA). El ejercicio debería incluir muestras de alta y de baja actividad. Se recomendó además organizar prácticas de comparación en las que se utilizaran muestras de sedimento y de agua del Mar Negro.

En los debates sobre los conocimientos prácticos que tienen los países ribereños, se llegó a la conclusión de que, a la brevedad posible, era indispensable ofrecer capacitación relativa a la ejecución del PCI. En particular, se indicó que era necesario organizar un curso regional de capacitación en muestreo, preparación de muestras, métodos analíticos y procesamiento de los datos que abarcara análisis de la



**Mapa:** El accidente de Chernobil, ocurrido en abril de 1986, dispersó cesio 137 por las aguas superficiales del Mar Negro. Según las mediciones efectuadas durante un período de observación comprendido entre el 12 de junio y el 6 de julio de 1986, la parte oriental del mar estaba más contaminada porque recibió niveles de precipitación elevados. Antes del accidente, el contenido de cesio de las aguas superficiales (aproximadamente 0,5 picocurios por litro, o 18 bequerelios por metro cúbico) era uniforme en todo el mar. El nivel máximo de concentración registrado de junio a julio de 1986 (14 picocurios por litro, o 520 bequerelios por metro cúbico) fue casi 30 veces el valor registrado antes del accidente, pero todavía estaba por debajo de la concentración máxima permisible en tres órdenes de magnitud aproximadamente. Fuente: Tomado de A.I. Nikitin, *Atomnaya Energiya* 65, 2 (1988).

**Gráficos:** Los gráficos muestran información sobre los isótopos de cesio y datos conexos, así como su profundidad en la desembocadura del estrecho del Bósforo (a) y en el interior de la parte suroccidental del Mar Negro (b) en mayo de 1987 y junio de 1988, respectivamente. Los perfiles revelan una rápida penetración del cesio proveniente del accidente de Chernobil por debajo de la interfaz óxica y anóxica, que no se puede considerar un nuevo efecto de los procesos de mezcla vertical. Los datos parecen indicar que las aguas superficiales efluentes son transportadas en una corriente de retorno por las aguas afluentes del Mediterráneo. Este proceso forma penachos de agua de densidades intermedias que son entonces transportados lateralmente dentro de la cuenca a lo largo de gradientes de densidad. La propagación horizontal proporciona un mecanismo rápido y eficaz para ventilar las profundidades intermedias del Mar Negro. Una de las conclusiones principales que cabe deducir de este proceso es que los datos de la columna de agua biológica y geoquímica se deben interpretar desde el punto de vista de un transporte lateral y no de un transporte vertical unidimensional. Por tanto, las características de los perfiles verticales pueden estar relacionadas con las fuentes y sumideros marginales y con los procesos *in situ*. Fuente: Tomado de K.O. Buesseler et al., *Deep Sea Research*, Vol. 38, Suplemento 2 (1991).



radiactividad del medio marino y de los isótopos estables, así como técnicas de trazadores artificiales. El IAEA-MEL está organizando el curso en cooperación con el Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA.

### Proyectos de cooperación internacional

La crisis del Mar Negro requiere un enfoque internacional concertado. Los gobiernos ribereños han solicitado asistencia para establecer un programa trienal sobre "Ordenación y Protección del Medio Ambiente del Mar Negro". Bajo los auspicios del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, creado en 1992 por el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), dicho proyecto proporcionará el marco del apoyo que con urgencia se necesita para la evaluación del medio ambiente, entre otras actividades, y para el mejoramiento de la capacidad institucional. También suministrará datos básicos de apoyo a las grandes inversiones que se requieren para luchar contra la contaminación y respaldar las iniciativas regionales, proyectadas o en curso, de rehabilitación del Mar Negro.

El Sistema Fluvial y Oceánico de Europa (SFOE), creado por la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) desde 1988, es un proyecto de investigación a largo plazo sobre procesos biogeoquímicos en la zona costera de Europa. Hasta ahora, el SFOE se ha concentrado en el Mar Mediterráneo. En fecha reciente se sometió a la consideración de la CCE, para su financiación, la propuesta de ampliar el SFOE al Mar Negro. Se ha previsto investigar la importancia del Mar Negro como fuente de gases de

efecto de invernadero; las consecuencias del aporte de los cursos de agua; los procesos de eutrofización y los niveles en la fuente y el destino final de los principales contaminantes del Mar Negro.

El proyecto Bathy-Black del Reino Unido se concentra en un estudio regional del Mar Negro para evaluar los recursos y los riesgos ambientales. Los objetivos de ese proyecto bianual incluyen, entre otras cosas, un estudio de la radiactividad gamma de los fondos marinos en zonas expuestas a la contaminación de radionucleidos artificiales. El Instituto de Biología de los Mares del Sur (Sebastopol) servirá de anfitrión y proporcionará los buques para el estudio. El Reino Unido suministrará un sonar de exploración horizontal, un sonar de alta resolución y un espectrómetro de rayos gamma remolcado para el estudio del fondo marino. Participarán científicos de Rusia, Ucrania, Bulgaria, Rumania y Turquía.

El Programa de Cooperación de Ciencias Marinas para el Mar Negro (CoMSBlack) se creó en 1991 como organización no gubernamental para ayudar a coordinar las actividades de ciencias marinas y vigilancia en el Mar Negro. El CoMSBlack servirá de órgano consultivo de los gobiernos y organismos nacionales, multinacionales e internacionales interesados en la situación ambiental del Mar Negro. El programa comprende a todos los países ribereños y funcionará mediante un comité directivo en el que también están representados dos institutos de los Estados Unidos. La función de dicho programa será proporcionar estudios y resultados científicos integrados y coordinados de la más alta calidad, así como programas de vigilancia apropiados para asegurar que las decisiones de gestión y política se basen en lo mejor de la ciencia.

En resumen, para el futuro del Mar Negro es decisivo que se establezca una coordinación para el trabajo conjunto de los diversos programas que abordan los problemas ambientales de esa región. Dentro de este contexto, cabe considerar que el programa coordinado de investigación del OIEA es una contribución oportuna e importante para apoyar los esfuerzos nacionales e internacionales encaminados a mejorar la ordenación del medio ambiente en la región del Mar Negro.

### Posible uso de isótopos estables e isótopos radiactivos para estudiar el medio ambiente del Mar Negro

Proceso	Medio	Isótopos
Circulación, ventilación	Agua	estroncio 90, cesio 137, hidrógeno 3, carbono 14
Afluencia fluvial, efecto del Bósforo	Agua dulce	oxígeno 18, hidrógeno 2
Mezcla vertical de las aguas profundas, interacciones aire-mar	Agua	radón 222
Depuración natural de contaminantes	Sólidos en suspensión	isótopos de torio
Eliminación de partículas, procesos biológicos	Remoción del sedimento	isótopos de plutonio, americio y radio
Sedimentación	Calas del sedimento	isótopos de plomo 210, plutonio y cesio y carbono 14
Contaminación	Agua, sedimento, biota	Todos
Ciclo biogeoquímico	Agua, sedimento, biota	carbono 14, hidrógeno 3, azufre 35, nitrógeno 15, fósforo 32, isótopos estables de carbono, nitrógeno, azufre