

La radioecología del Danubio

por G.J. Köteles

El crecimiento previsto de la energía nucleoelectrica en los Estados Miembros del OIEA ribereños del Danubio plantea varias cuestiones de protección radiológica para cuya solución el medio más apropiado es la cooperación internacional. Conscientes de este hecho, dichos Estados expresaron su deseo de participar en una investigación conjunta cuando el OIEA sugirió que se iniciara un programa de esa índole. Los trabajos ya habían comenzado en noviembre de 1975 cuando un "Grupo asesor para estudiar cuestiones de cooperación mutua entre países de la cuenca del Danubio" recomendó que se reuniera un grupo de expertos en el marco de un programa coordinado de investigaciones y determinó los principales temas que debían investigarse (Ref. [1]). Como de costumbre, el programa se basaba en los principios clásicos que rigen estas actividades coordinadas, a saber, a) la participación de los Estados Miembros es optativa; b) las investigaciones conjuntas se fundan en los programas nacionales pertinentes; c) las recomendaciones técnicas y científicas de un grupo internacional de expertos pueden traducirse en una mejora de la actividad nacional correspondiente o de la reglamentación en la materia.

Como resultado de las recomendaciones del primer Grupo asesor, se inició a mediados de 1976 un programa coordinado de tres años que duró hasta mediados de 1979. En los párrafos siguientes se presentan los principales aspectos del programa y algunos datos representativos.

LA CUENCA DEL DANUBIO

El Danubio, con un curso de 2 857 km, es el undécimo río del mundo por su longitud y el río internacional más largo de Europa. Su cuenca de captación abarca 817 000 kilómetros cuadrados, o sea, aproximadamente un doceavo de la superficie del continente. Desde su nacimiento en la Selva Negra, a una altitud de 1 000 metros sobre el nivel del mar, hasta su desembocadura por un delta de tres brazos en el mar Negro, el Danubio pasa por ocho países y capta aguas de un total de doce países. Esta cuenca de captación puede verse en la Figura 1. Los ocho países que atraviesa el Danubio son todos Estados Miembros del OIEA: Austria, Bulgaria, Checoslovaquia, Hungría, República Federal de Alemania, Rumania, URSS y Yugoslavia. En el Danubio vierten sus aguas 129 afluentes, todos de una longitud de más de 20 kilómetros, y entre los cuales 29 tienen más de 200 kilómetros de largo. Aproximadamente 70 millones de personas viven en la cuenca de captación y utilizan su agua para beber, para el riego, la pesca, la industria, el transporte y los deportes. El Danubio es el mayor receptor de aguas residuales en su cuenca. La gran influencia de este río en el ecosistema de su cuenca será aún mayor cuando se realicen los enlaces proyectados entre el Danubio-Meno-Rin, el Danubio-Oder-Elba, y el Danubio-Morava-Vardar-mar Egeo.

El Dr. Köteles fue funcionario de la División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente del OIEA, donde prestó servicios como encargado del Programa Coordinado de Investigaciones sobre los problemas de radioecología del Danubio. Actualmente desempeña el cargo de Director Adjunto Científico del Instituto Nacional de Investigación sobre Radiobiología y Radiohigiene "Frédéric Joliot-Curie" de Budapest (Hungría).

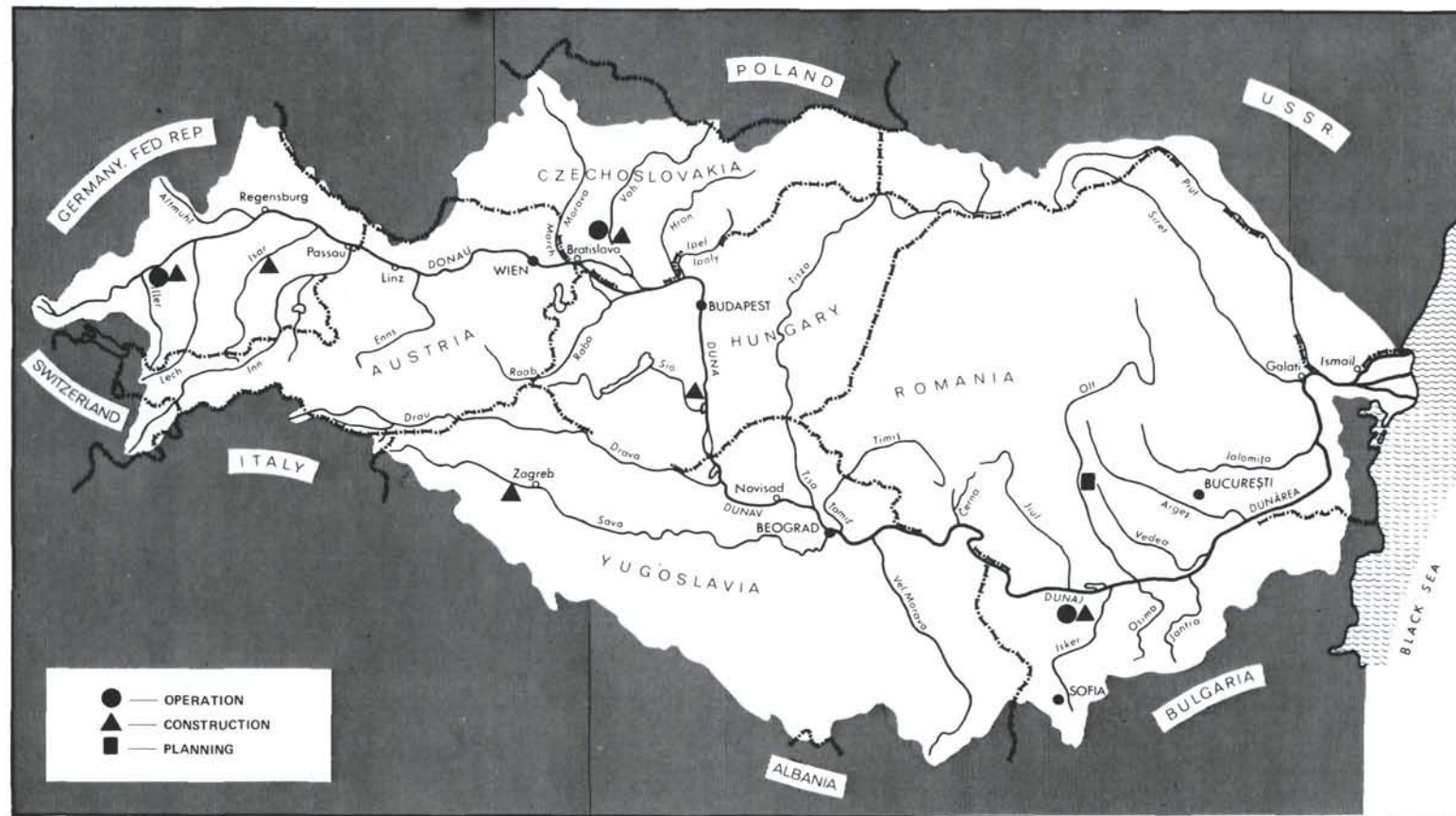


Figura 1. Mapa hidrológico de la cuenca del Danubio con indicación de las centrales nucleares en funcionamiento (●) y de las que están en construcción (▲) o en proyecto (■).

PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

Además de las centrales hidroeléctricas que están en funcionamiento o en proyecto en el valle del Danubio, nuevos factores contribuirán a la complejidad del medio ambiente acuático e influirán en la calidad del agua, como por ejemplo, el desarrollo de la industria nuclear. En el Cuadro 1 figura una lista de las centrales nucleares en funcionamiento o en proyecto (Refs. [2, 3, 4]). Puede observarse que casi todos los Estados ribereños tienen previsto explotar o construir centrales nucleares a orillas del Danubio o de sus afluentes en los próximos seis años; la potencia nuclear total instalada, que es actualmente de unos 2,5 GW(e), se cuadruplicará en 6 años y se sextuplicará aproximadamente a fines de siglo. Esta tasa de crecimiento es casi tres veces mayor que la tasa media europea o mundial. Los datos también indican que el río recibirá vertidos radiactivos de centrales nucleares cuya potencia total será aproximadamente de 13 400 MW(e). Naturalmente, la magnitud de esos vertidos dependerá del diseño de las centrales y de sus sistemas de refrigeración. Pero tales vertidos no estarán distribuidos de modo uniforme, es decir, un 60% de los mismos se producirá en el tercio superior del curso del río y un 75% en la mitad superior de dicho curso, respectivamente. Habida cuenta de la experiencia internacional adquirida con los reactores BWR y PWR, es posible prever que, excluyendo el tritio, el 70% de todos los vertidos radiactivos se producirá en el tercio superior del curso del río.

Cuadro 1. Reactores de Potencia en la Cuenca del Danubio*

No.	Nombre y Lugar	Tipo	Producción térmica/ eléctrica neta		Situación	Fecha de puesta en funciona- miento
República Federal de Alemania						
1.	KRB Gundremmingen-A	BWR	801	237	En funcio- namiento	1967
2.	KKN Niederaichbach	HWGCR	321	100	Cerrado (1974)	1972
3.	KKI Isar-1 Ohu	BWR	2575	870	En funcio- namiento	1979
4.	KRB Gundremmingen-B	BWR	3840	1244	En construcción	1982
5.	KRB Gundremmingen-C	BWR	3840	1244	En construcción	1982
6.	KKI Isar-2 Ohu	—	3765	1230	En proyecto	1986
AUSTRIA						
7.	Tullnerfeld Zwentendorf	BWR	2100	692	**	
CHECOSLOVAQUIA						
8.	A-1 Bohunice Jasl. Bohunice	HWGCR	560	110	En funcio- namiento	1972
9.	Bohunice-1 Trnava	PWR	1375	380	En funcio- namiento	1979
10.	Bohunice-2 Trnava	PWR	1375	380	En construcción	1980
11.	Levice-1 Slovakia	PWR	1375	420	En proyecto	
12.	Levice-2 Slovakia	PWR	1375	420	En proyecto	
13.	Levice-3 Slovakia	PWR	1375	420	En proyecto	
14.	Levice-4 Slovakia	PWR	1375	420	En proyecto	
15.	Brno Brno	PWR	1375	420	En proyecto	

HUNGRIA

16.	Paks-1 Paks	PWR	1375	408	En construcción	1980
17.	Paks-2 Paks	PWR	1375	408	En construcción	1981
18.	Paks-3 Paks	PWR	1375	408	En proyecto	1984
19.	Paks-4 Paks	PWR	1375	408	En proyecto	1985

YUGOSLAVIA

20.	Krsko Krsko	PWR	1876	632	En construcción	1980
-----	-------------	-----	------	-----	-----------------	------

RUMANIA

21.	Olt	PWR		408	En proyecto	1983
22.	Cernavoda	PHWR		600	En proyecto	

BULGARIA

23.	Kozloduy-1 Kozloduy	PWR	1375	408	En funcio- namiento	1974
24.	Kozloduy-2 Kozloduy	PWR	1375	408	En funcio- namiento	1975
25.	Kozloduy-3 Kozloduy	PWR	1375	408	En construcción	1980
26.	Kozloduy-4 Kozloduy	PWR	1375	420	En construcción	1980

* Referencias [2, 3, 4].

** Programado para 1979 pero rechazado por referéndum.

FINALIDADES Y RESULTADOS DEL PROGRAMA COORDINADO DE INVESTIGACIONES

Cuando se inició el programa conjunto, ya se estaban desarrollando en varios laboratorios nacionales actividades análogas sólidamente establecidas. Por lo tanto, las finalidades principales eran comparar datos y armonizar las técnicas de medición, en particular los aspectos más importantes de la toma y preparación de muestras del medio ambiente tales como agua, sedimentos y biota acuática. En la etapa siguiente, la finalidad del programa fue poner de manifiesto las vías críticas por las cuales los contaminantes radiactivos llegan hasta el hombre e identificar los grupos críticos de la población que estarán más expuestos debido al uso del Danubio con cualquier fin. Si se comprueba que la carga radiactiva de estos grupos de población es aceptablemente baja, puede confiarse en que ningún miembro del público estará expuesto a riesgos significativos para su salud. Estos estudios también proporcionan información para el establecimiento de límites derivados aplicables al vertido de materiales radiactivos en el río, tal como han prescrito y recomendado grupos internacionales de expertos (Ref. [5]). Este plan de investigaciones coordinadas pareció ser apropiado e indispensable para garantizar la seguridad radiológica y la protección del medio ambiente en el valle del Danubio.

Los resultados detallados obtenidos en los primeros tres años del programa se han publicado en la Colección de Documentos Técnicos del OIEA (Refs. [4, 6]). Aunque las investigaciones han diferido en los distintos países por los detalles de enfoque y técnica, los resultados obtenidos hasta ahora han revelado muchos factores comunes e importantes y han proporcionado útiles datos numéricos. En varios países estas investigaciones eran necesarias como estudios previos al comienzo de la construcción de centrales nucleares. En otros, forman parte de las actividades corrientes de vigilancia de los contaminantes procedentes de las instalaciones nucleares.

A continuación, se presentan algunos datos representativos que indican los intervalos de concentración de sustancias radiactivas medidos en el agua y los sedimentos del río:

	Isótopo	Concentración
En el agua:	tritio	60 —400 unidades de tritio (UT)
	cobalto-60	0,07— 60 milibecquerelios/litro (mBq/l)
	estroncio-90	1,1 — 20 mBq/l
	cesio-137	0,37— 20 mBq/l
	radio-226	7,4 — 44 mBq/l
En los sedimentos:	cobalto-60	81 —220 Bq/kg
	estroncio-90	0,74— 30 Bq/kg
	cesio-137	2,6 — 33 Bq/kg
	radio-226	55 —140 Bq/kg

Cabe señalar que los valores medidos en los distintos laboratorios concordaron satisfactoriamente. Puesto que este es uno de los aspectos más interesantes de esta colaboración internacional, se prestó especial atención a la comparación de los resultados de las mediciones. Por lo tanto, se utilizaron para el programa patrones adecuados de referencia y los participantes también tomaron parte en el programa de comparaciones y de control de calidad de los análisis, del OIEA.

Las amplias oscilaciones de los valores medidos reflejan también las variaciones estacionales de ciertos nucleidos, por ejemplo, la concentración del cesio-137 registra considerables incrementos cada año en primavera y al comienzo del verano. Se ha sugerido que los valores máximos tienen su origen en el intercambio estratosfera-troposfera, es decir, que se deben a los ensayos de armas nucleares. Los valores también indican que los sedimentos absorben en gran medida los radionucleidos más importantes desde el punto de vista de la protección radiológica. Por lo tanto, el movimiento de tales nucleidos a través de las fronteras nacionales en este río internacional es mucho más lento que el de los disueltos en el agua. También se realizaron investigaciones, sobre el terreno y en laboratorio (Refs. [1, 4, 6]), acerca de la redistribución de los nucleidos cuando pasan de los distintos tipos de sedimentos al agua en diferentes circunstancias (hidrológicas, térmicas, químicas, etc.).

Para evaluar la dosis de radiación al grupo crítico de la población, era necesario obtener más datos sobre el comportamiento de los nucleidos en el medio ambiente y sobre sus vías de transferencia dentro del mismo. Por lo tanto, era también importante iniciar investigaciones relativas al contenido radiactivo de la biota acuática. Para ello había que determinar el contenido radiactivo de muestras de la biota tomadas directamente del río y también realizar experimentos en laboratorio. Como estos últimos requieren bastante tiempo, todavía no se han obtenido los resultados finales. Se ha comprobado que las concentraciones de los radionucleidos observadas en las distintas especies que se están estudiando, comparadas con las concentraciones en el agua, es decir, los factores de concentración, oscilan dentro de intervalos muy amplios. Naturalmente, esto no es sorprendente pues en otras regiones se han

hallado intervalos de valores similares. Por ejemplo, los correspondientes al cobalto-60 oscilan entre 2 000 y 13 000 en el caso de las algas, 240 y 1 600 en el caso de las plantas acuáticas, 20 y 3 000 en el caso de los peces. En el plancton se han medido factores de concentración aún más altos para el cobalto-60. En los peces se ha comprobado que el factor de concentración del estroncio-90 oscila entre 30 y 370; para el cesio-137, dicho factor varía entre 50 y 3 500. Además, se prevén considerables variaciones de los factores de concentración en diferentes sectores del río, a causa de los efectos de las centrales hidroeléctricas sobre la flora y la fauna. Con motivo de la construcción de la presa de Djerdap (presa de la Puerta de Hierro) en Yugoslavia, se han observado claros indicios de tales alteraciones, es decir, una acumulación de radionucleidos en la región del embalse y su cola mayor que antes de iniciarse la construcción.

Debe mencionarse en este punto que la aceptación de las recomendaciones sobre la toma de muestras (por ejemplo, relativas a la selección de puntos de muestreo, de materiales de muestreo, de la frecuencia de muestreo así como a la preparación básica de las muestras) contribuirá sin duda a mejorar las condiciones de comparación y la fiabilidad de los datos sobre la concentración de la radiactividad en los distintos sectores del ecosistema formado por el río.

Dado que el objetivo final de estos estudios ambientales es la protección de la población humana, algunos laboratorios han comenzado actividades para determinar, por ejemplo, las vías críticas seguidas por los radionucleidos a través de la cadena alimentaria hasta el hombre, y los grupos críticos de la población. Esta labor comenzó después de haberse acopiado los datos básicos relativos a la concentración de la radiactividad y al comportamiento de los nucleidos en el medio ambiente considerado. En los casos en que se han concluido estos estudios se ha podido estimar la exposición de los individuos y los grupos críticos de la población a las radiaciones; se ha comprobado que esta exposición es claramente menor que un uno por ciento de la exposición debida a la radiación natural.

Por último, cabe destacar que uno de los más valiosos resultados del proyecto ha sido la estrecha cooperación entre los expertos de los países ribereños, independientemente de sus sistemas sociales o políticos. Todos estos países han participado en el programa ya sea como contratistas de investigaciones o como observadores. Varias organizaciones internacionales como la OMS, la CEPE, el CAEM y la Comisión del Danubio han seguido también los trabajos del programa. La comunicación entre los laboratorios participantes, a través del grupo asesor y de las reuniones para coordinar las investigaciones, ha influido en los programas de vigilancia radiológica que se ejecutan a lo largo del Danubio, pues ha favorecido el desarrollo de sistemas y métodos de vigilancia nacionales.

Se ha comprendido que no es posible alcanzar todos los objetivos del programa en 3 años. Todavía ha de pasar algún tiempo hasta que todos los laboratorios dedicados a estos problemas hayan acopiado los datos necesarios para una exposición completa de los problemas de seguridad radiológica y de protección del medio ambiente existentes en sus respectivos tramos del Danubio. Aún hay que aclarar muchos factores ambientales, por ejemplo los efectos sinérgicos entre los contaminantes térmicos, químicos y radiactivos y la manera cómo estos efectos influyen sobre la distribución y redistribución a largo plazo de los últimos contaminantes mencionados. Asimismo, es necesario realizar investigaciones que permitan llegar a un acuerdo sobre una metodología común para la evaluación de las dosis individual y colectiva resultantes de los distintos usos del Danubio en cada país ribereño. También es preciso un acuerdo sobre los requisitos mínimos para una vigilancia internacional.

Los resultados de índole organizativa y científica logrados hasta ahora en este extenso programa con gastos relativamente bajos (aproximadamente 100 000 dólares) demuestran

que tales programas coordinados de investigación pueden tener una relación costo/beneficio muy favorable. Esta forma de colaboración puede ayudar a resolver no solo ciertos problemas técnicos y científicos de protección del medio ambiente, sino también algunos problemas organizativos y administrativos a nivel nacional e internacional.

Referencias

- [1] IAEA's Advisory Group to Study Questions of Mutual Co-operation Between Countries in the Danube Catchment Area, AG-41, OIEA, Viena (1976).
- [2] Power Reactors in Member States, OIEA, Viena (1979).
- [3] World List of Nuclear Power Plants, Nuclear News (febrero de 1979).
- [4] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, IAEA-TECDOC-219, OIEA, Viena (1979).
- [5] Principles for Establishing Limits for the Release of Radioactive Materials into the Environment, Colección Seguridad No. 45, OIEA, Viena (1978).
- [6] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, Vol. 2, IAEA-TECDOC, OIEA, Viena (en prensa).