

DISTRIBUCIONES ESPACIO-TEMPORALES DE LOS RADIONUCLEIDOS ANTROPOGENOS DE LA CUENCA OCCIDENTAL MEDITERRANEA 1980-1987

CALMET, A.; GRAUBY, A.
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE
SERVICE D'ETUDES DE RECHERCHES SUR L'ENVIRONNEMENT
STATION MARINE DE TOULON

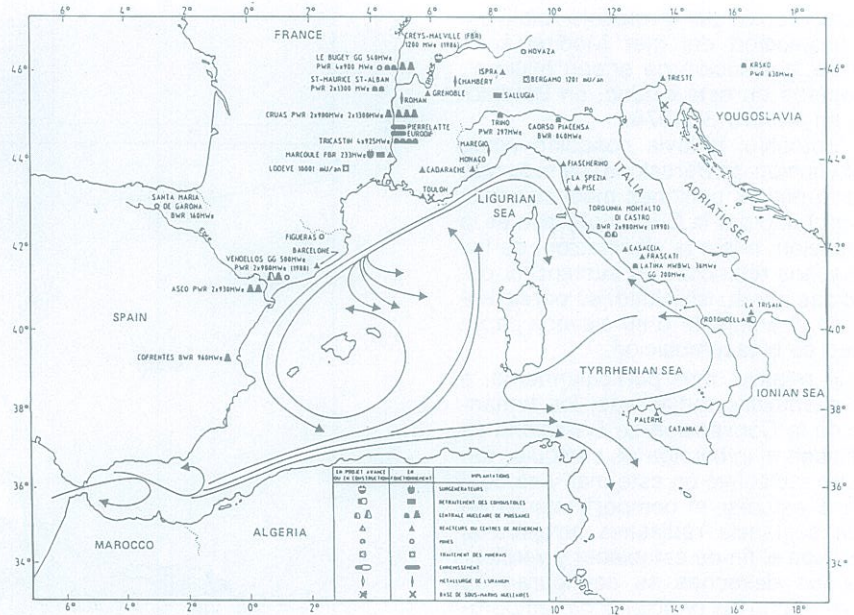
INTRODUCCION

Tanto desde el punto de vista histórico como del geográfico, oceanográfico y sedimentario, el mar Mediterráneo se presenta como modelo. Desde el oceanográfico, es un mar interior caracterizado por una pluviometría débil y unas aportaciones continentales restringidas, que no compensan la fuerte evaporación: está, por consiguiente, considerado como una cuenca de concentración, lo que ocasiona una alta salinidad en comparación con el océano Atlántico.



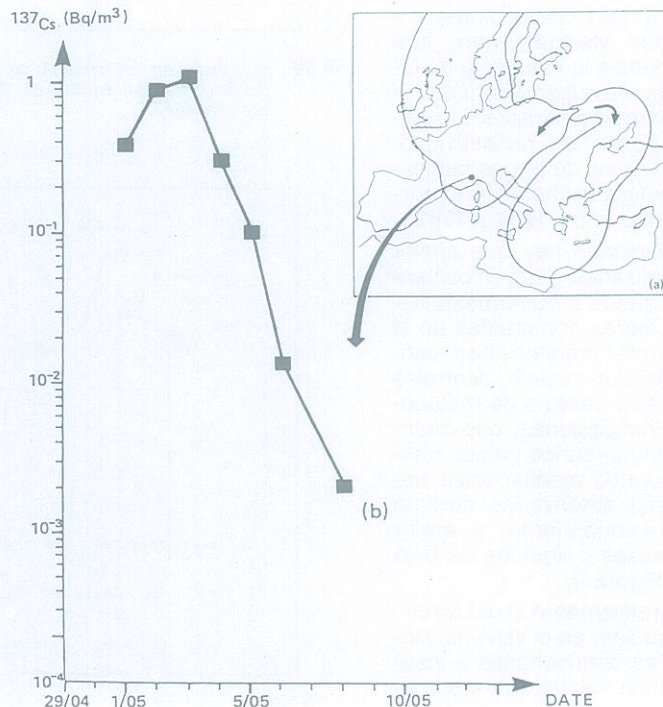
André Grauby

Desde el punto de vista geográfico, el desarrollo de las actividades industriales y de urbanización, así como el crecimiento demográfico en su contorno, han conducido al aumento de las fuentes de polución con origen telúrico. Precisamente, desde el hecho de su poca capacidad de intercambios con el océano mundial, el medio marino mediterráneo es una cuenca de concentración potencial de polución. Planes de Acción para este mar en el marco, por ejemplo, del Plan de Acción para el Mediterráneo del Programa de



F I Localización de la implantación de diferentes instalaciones nucleares capaces de desechar efluentes líquidos débilmente radiactivos, directa o indirectamente en el mar, a lo largo del litoral de la cuenca mediterránea noroccidental

F II Embolsamiento de las trayectorias seguidas por las emisiones atmosféricas sucesivas de radionucleidos procedentes del reactor núm. 4 de Chernobil (a). Evolución del contenido en ^{137}Cs (Bq/m^3) de los aerosoles atmosféricos detraídos en el sudeste de Francia (Cadarache) del 31-04 al 08-05-1986 (b)



las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUE) y los trabajos expuestos con ocasión de las reuniones de la Comisión Internacional para la Exploración Científica del mar Mediterráneo (CIESM), han conducido a las diferentes naciones ribereñas a definir reglas para proteger la parte central del medio ambiente marino mediterráneo. Estos esfuerzos se han concentrado en la elaboración del "protocolo relativo a la protección del mar Mediterráneo contra la polución de origen telúrico", adoptado en esta ciudad, en Barcelona, en febrero de 1976.

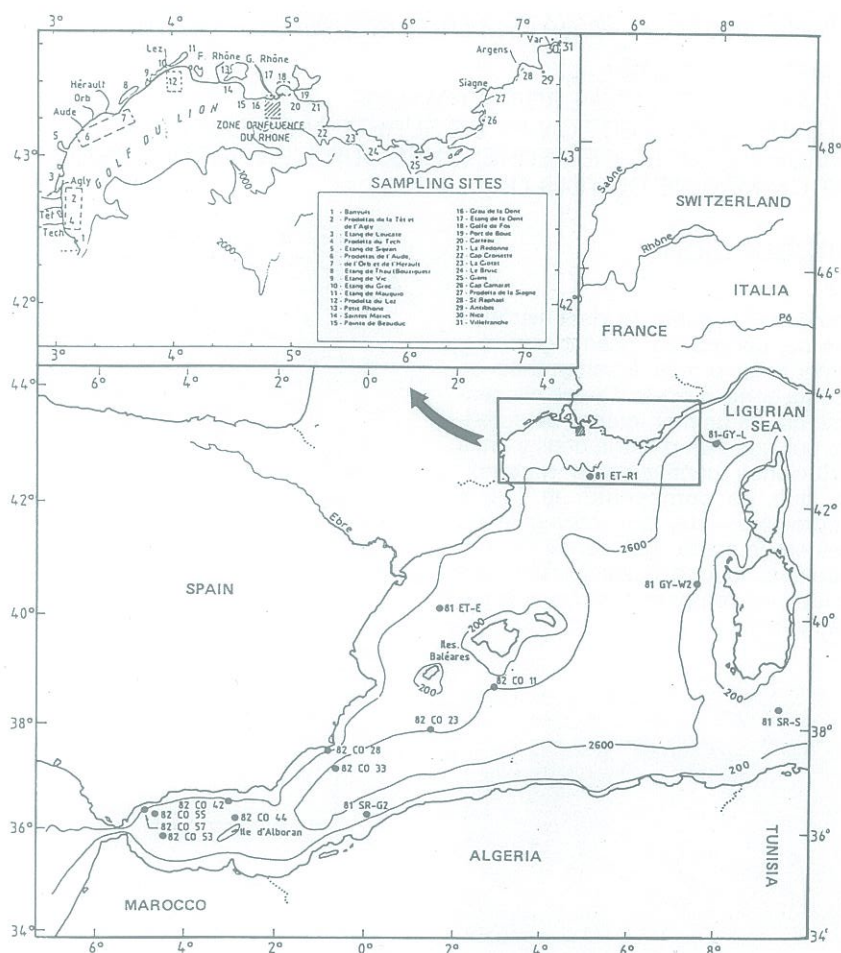
El protocolo, todavía conocido como Convención de Barcelona, ha sido ratificado por 17 naciones mediterráneas y aprobado por la CE. Su objetivo es la reducción, hasta la eliminación, de los desechos telúricos, de sustancias conocidas por su toxicidad, su persistencia en el ambiente o su elevada capacidad de bioacumulación.

En lo relativo, más particularmente, a las sustancias radiactivas, los firmantes de la Convención de Barcelona se prohíben la inmersión de cualquier desecho radiactivo en este mar y se obligan a estudiar el comportamiento de toda sustancia radiactiva arrojada al mar, con el fin de establecer y verificar que los desechos se configuran de acuerdo con los principios de radioprotección, teniendo siempre en cuenta la protección del medio marino, conforme a las recomendaciones dictadas por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

En efecto, inmediatamente después del comienzo de "la era nuclear industrial", la investigación de los radionucleidos artificiales en el seno de distintos enclaves del mar Mediterráneo, han puesto en evidencia la influencia de diferentes fuentes de radiactividad antrópica. En los primeros tiempos fue detectado el depósito de radiactividad, debida a los ensayos de armas nucleares en la atmósfera del hemisferio norte, principalmente entre 1954 y 1962.

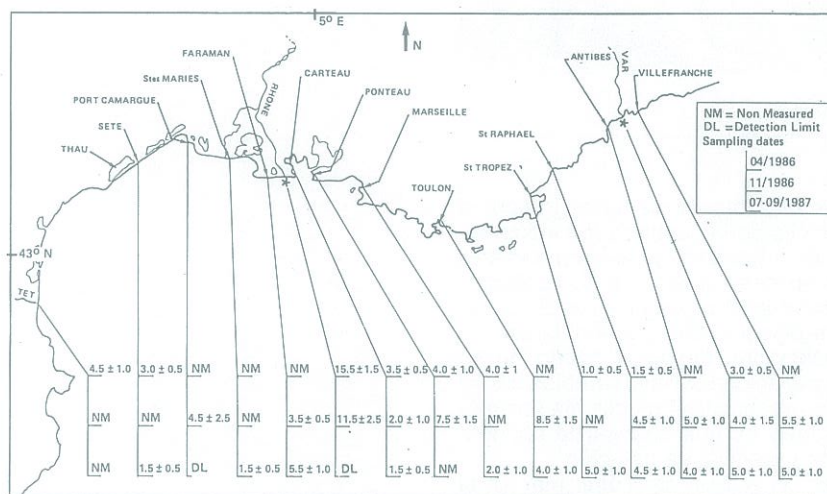
A estas aportaciones hay que añadir otras más localizadas geográficamente, correspondientes a numerosas instalaciones nucleares construidas en el contorno del litoral mediterráneo: centros de investigación nuclear, centrales nucleares y centros de reelaboración. Estas instalaciones, que esencialmente se sitúan en los países ribereños de la cuenca mediterránea noroccidental, están autorizadas, durante su normal funcionamiento, a emitir efluentes gaseosos o líquidos de baja radiactividad (Figura I).

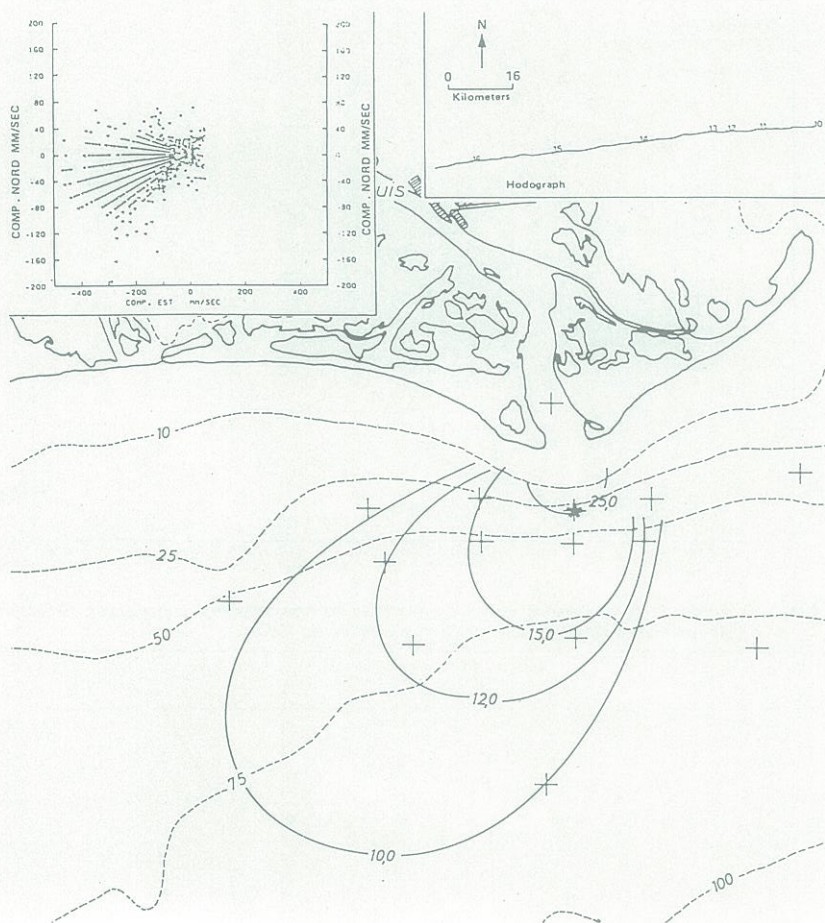
En Francia, paralelamente al desarrollo del complejo nuclear en el valle del Ródano, las costas continentales e insulares de la cuenca mediterránea noroccidental han sido objeto de numerosos



F III Localización de las detecciones de la cuenca mediterránea occidental

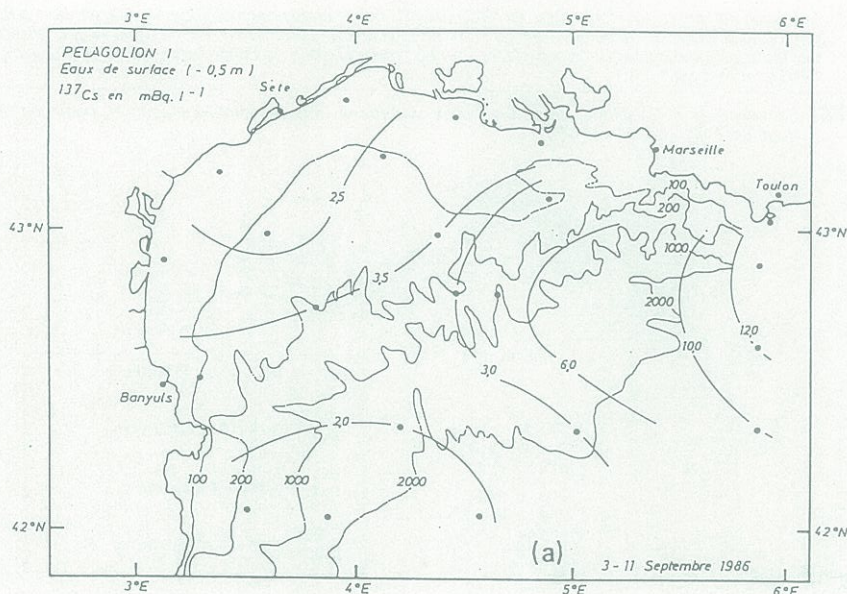
F IV Contenidos en ^{137}Cs (mBq/l) de aguas del mar superficiales, filtradas a $0,45 \mu\text{m}$, detraídas a lo largo del litoral francés, en abril de 1986, antes del accidente de Chernobyl y en septiembre/86, julio/87 y septiembre/87





F V Isoconcentración en ^{137}Cs (mBq/l) de las aguas superficiales filtradas a $0,45 \mu\text{m}$, detraídas en la desembocadura del Ródano, del 10 al 16 de septiembre de 1986

F VI(a) Evolución de los contenidos en ^{137}Cs (mBq/l) de las aguas del mar superficiales, filtradas a $0,45 \mu\text{m}$, detraídas en el Golfo de León. Septiembre de 1986



estudios sobre el trasvase de radionucleidos en el seno de los distintos enclaves de los ecosistemas marinos, siempre en el marco del programa general RADMED (Radiactividad del Mar Mediterráneo), desarrollado en el Puerto de Control Marino de Tolón. Estos estudios tienen por objetivo la comparación de resultados de los trasvases realizados en laboratorios con los niveles observados "in situ", originados por efluentes líquidos débilmente radiactivos, procedentes de las instalaciones nucleares situadas a lo largo del curso del Ródano. También se ha construido una base de datos relativa a la radiactividad del medio ambiente marino mediterráneo, con el fin de vigilar la evolución de los radionucleidos artificiales con todas las escalas de tiempo y espacio.

El accidente nuclear del reactor 4 de Chernobil (26-4-86) ha provocado depósitos atmosféricos que, siendo limitados en el tiempo y en el espacio, han afectado en gran medida a la región mediterránea en su conjunto. Estos radionucleidos, recientemente encajados, han sido considerados como trazadores, cuyo seguimiento debía permitir analizar la respuesta del medio marino a una inyección puntual de radionucleidos. También ha sido estudiada, tras la identificación a partir del 30 de abril de 1986 de los depósitos atmosféricos radiactivos en el litoral mediterráneo francés, la dispersión de los radionucleidos originados en el accidente de Chernobil (Figura II).

El presente trabajo tiene por objetivo situar el impacto de los depósitos producidos por Chernobil en los distintos ámbitos: agua del mar, sedimentos y organismos marinos de la cuenca mediterránea noroccidental.

MATERIAL Y METODO

Entre 1976 y 1988 se han tomado muestras, regularmente, en gran número de puestos de control repartidos sobre el conjunto de la cuenca mediterránea occidental. El aire litoral, bajo influencia de las aguas del Ródano, ha sido objeto de una toma más detallada. Sobre cada lugar de estudio, han sido detraídas muestras de agua de mar pertenecientes a diferentes masas de agua, identificadas por sus medidas hidrográficas de salinidad y temperatura, y realizadas en tiempo real con la ayuda de una batisonda (Figura III). Con el fin de liberarse de las variaciones posibles en los contenidos de materiales en suspensión, sobre los que los radionucleidos son susceptibles de fijarse por adsorción, las muestras de agua sufren, antes del tratamiento químico, un filtrado de $0,45 \mu\text{m}$.

La toma de muestras de sedimentos se realizó a profundidades comprendidas entre -10 y -2.000 m, con ayuda de sondas tipo box-corer. Las muestras obtenidas han sufrido un corte horizontal centimétrico, que permite caracterizar la distribución vertical de los radionucleidos en el seno de la columna sedimentaria. Distintos bioindicadores, esencialmente algas, fanerógamas marinas y moluscos, han sido cosechados en las zonas subsiguientes hasta -20 m, mediante buceo y dragado. La investigación y cuantificación de los principales radionucleidos artificiales emisores gamma ha sido realizada por espectrometría gamma directamente sobre los contenedores, con ayuda de un detector hiperpuro.

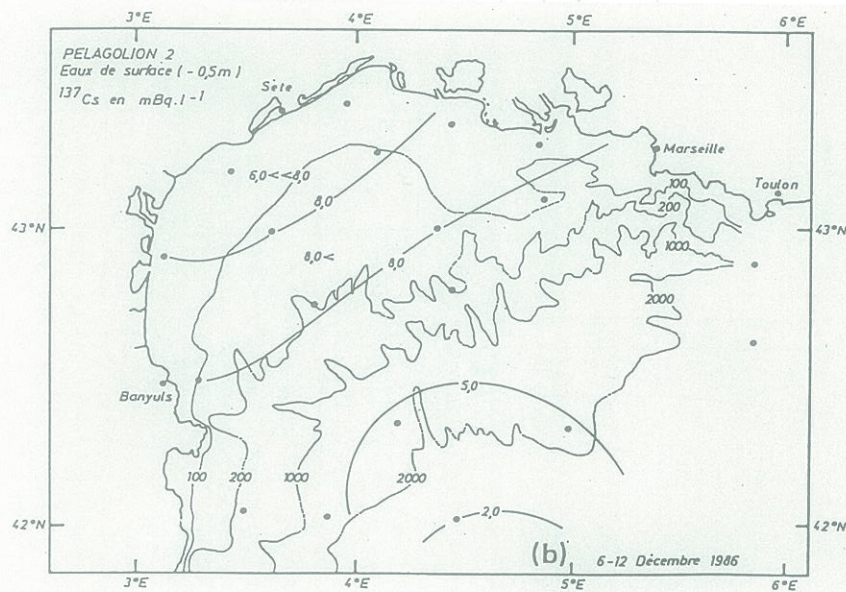
RESULTADOS-DISCUSION

Los resultados presentados pertenecen, particularmente, a medidas realizadas durante los meses precedentes y siguientes a la fecha del accidente de Chernobil, con el fin de situar esta incidencia en el seno del medio marino. Criterios hidrológicos y dinámicos nos conducen a presentar los resultados obtenidos a lo largo del litoral mediterráneo noroccidental, siguiendo dos grandes zonas:

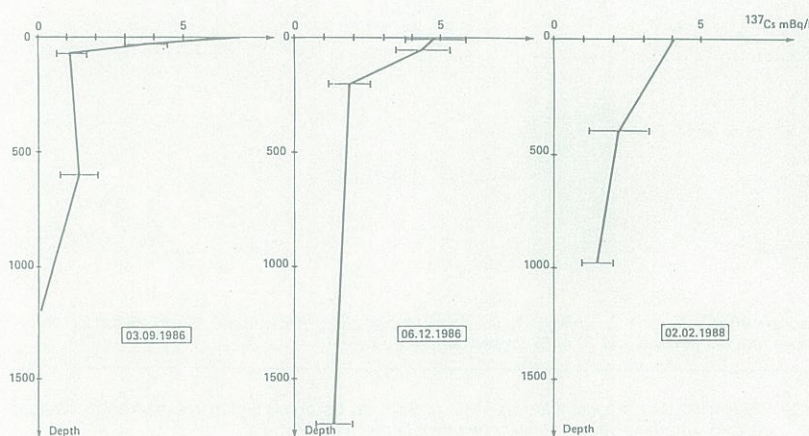
- Zona este, comprendida entre la frontera franco-italiana y Tolón, caracterizada por una meseta continental reducida y barrida, de este a oeste, por la corriente geográfica ligu-ro-provenzal.
- Zona oeste, comprendida entre Tolón y la frontera franco-española, abarcando el conjunto del Golfo de León, caracterizado por una meseta continental desarrollada que, ocasionalmente, está sometida a incursiones limitadas de la corriente ligu-ro provenzal.

ANALISIS DE AGUA DEL MAR

En 1985 y primer trimestre de 1986, antes del accidente de Chernobil, el análisis de las aguas superficiales del mar, detraídas a lo largo del litoral mediterráneo, incluida Córcega, reveló la presencia de ^{137}Cs en escasa cantidad, del orden de 1,0 a 4,0 mBq/l (Figura IV). Durante el mes de septiembre de 1986, los contenidos de las aguas en ^{137}Cs varían a lo largo del litoral de la Costa Azul. El ^{137}Cs , entre 3,0 y 8,5, y el ^{134}Cs , entre 1,0 y 3,0 mBq/l. En el litoral corso el ^{137}Cs alcanza los 15,5 mBq/l, mientras que el ^{134}Cs llega a 3,5 mBq/l. En julio de 1987, las aguas superficiales del litoral corso y de la zona comprendida entre Villafranca y Tolón revelan la presencia de ^{137}Cs en contenidos

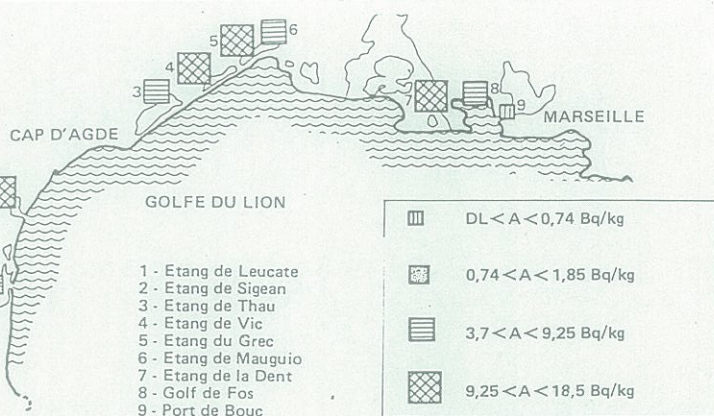


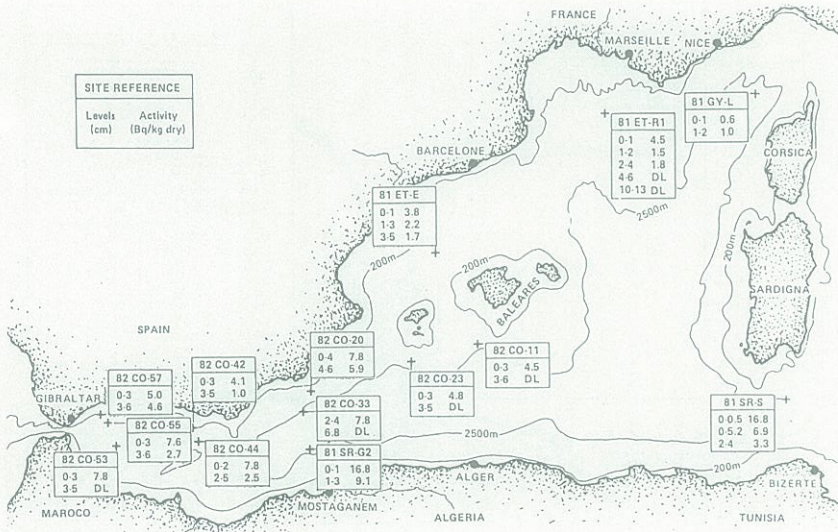
F VI (b) Evolución de los contenidos en ^{137}Cs (mBq/l) de las aguas del mar superficiales, filtradas a 0,45 μm , detraídas en el Golfo de León. diciembre de 1986



F VII Evolución vertical de los contenidos en ^{137}Cs (mBq/l) de las aguas del mar superficiales, filtradas a 0,45 μm , detraídas por 42° 18,62 N y 004° 59,50 E, en el seno de diferentes masas de agua individualizadas por medidas hidrológicas de la superficie, a -1.800 m en el Golfo de León. Septiembre 1986, diciembre 1986 y febrero 1988

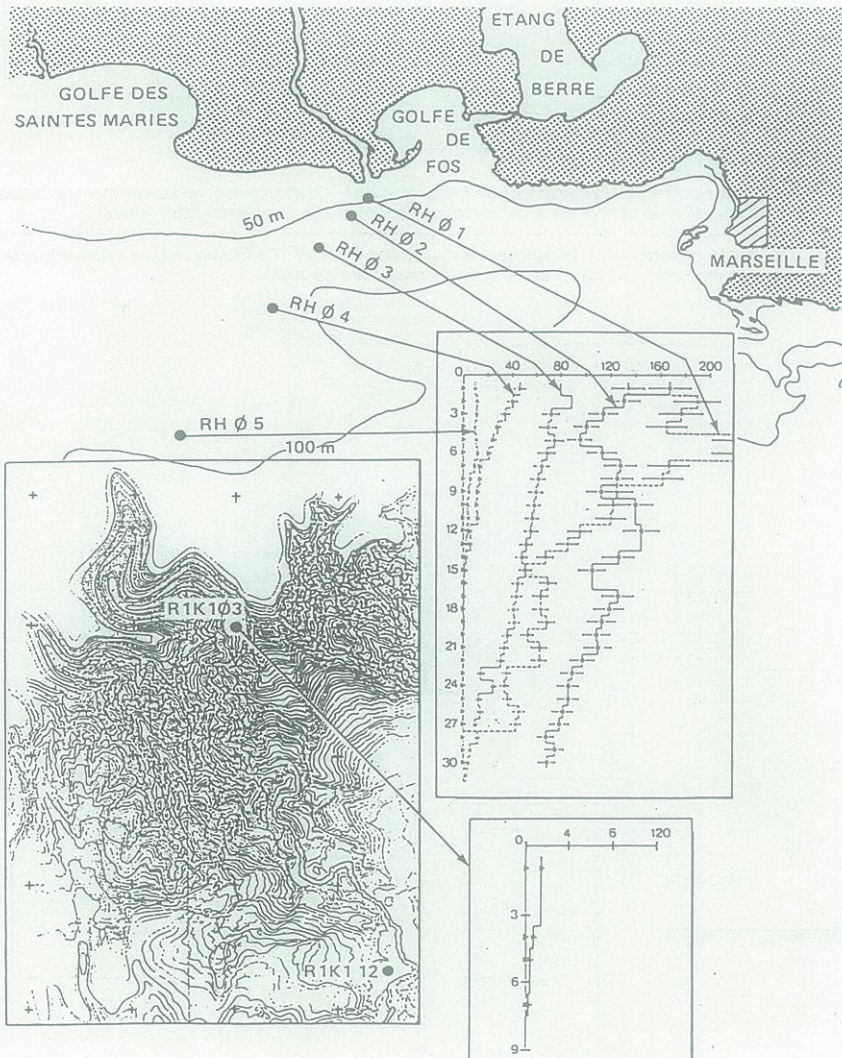
F VIII Contenido de ^{137}Cs (Bq/kg seg) en el lecho superficial de sedimentos detraídos en pantanos del litoral del Golfo de León en 1981





F IX Distribuciones verticales de los contenidos de ^{137}Cs (Bq/kg seg) en los sedimentos detraídos en el conjunto de la cuenca mediterráneo-occidental en 1981 y 1982

F X Distribuciones verticales centimétricas de los contenidos de ^{137}Cs (Bq/kg seg) en los sedimentos detraídos en febrero de 1986 en los seis puestos de control situados en la radial norte-sur, bajo la influencia de los aportes del Ródano



comprendidos entre 3.0 y 6.0 mBq/l, mientras que el ^{134}Cs no se vuelve a detectar.

En septiembre de 1986, los contenidos en ^{137}Cs de las aguas superficiales del área de dilución del Ródano varían localmente de 4,0 a 25,0 mBq/l, y alcanzan 5,0 mBq/l en el ^{134}Cs . Cuando se detectan simultáneamente los dos isótopos, la relación $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ varía de 13 a 3,5, traduciendo la alternancia de los aportes industriales y del agua de riego que hubiese colado los sedimentos continentales asociados a los depósitos de Chernobyl.

Radionucleidos como el ^{60}Co , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{110}Ag y ^{125}Sb fueron detectados en puestos de control situados en la zona de mezcla de las aguas del Ródano y las del mar (Figura V).

Las aguas del Golfo de León, fuera del litoral, presentaban en septiembre de 1986, de este a oeste, gradientes horizontales decrecientes en ^{137}Cs y ^{134}Cs , que pasan, respectivamente, de 13,0 a 2,0 mBq/l, y de 4,5 mBq/l al límite de la detección. La relación ^{137}Cs y ^{134}Cs está comprendida entre 2,5 y 3,5. Este gradiente se difumina en diciembre de 1986. Entonces, las medidas de ^{137}Cs se encuentran entre 5,0 y 8,0 mBq/l.

Esta heterogeneidad horizontal se repite verticalmente. Así, los contenidos en ^{137}Cs siguen un gradiente vertical decreciente desde la superficie al fondo, que se mantiene en el curso del tiempo (Figuras VI y VII).

LOS SEDIMENTOS

En 1978, el ^{137}Cs es el único radionucleido detectado en los sedimentos superficiales de los pantanos de Sigeau, Thau, Vic, Grec y Mauguio, situándose entre 3,7 y 18,5 Bq/kg. El pantano de Thau, seguido muy especialmente tras el accidente de Chernobyl, no muestra aumentos importantes en ^{137}Cs , que se queda en el orden de 7 Bq/kg en superficie, entre noviembre de 1986 y septiembre de 1987 (Figura VIII).

En 1981 y 1982, sólo ha sido detectado el ^{137}Cs en los niveles superficiales de los primeros 5 cm de las muestras detraídas en profundidades superiores a -200 m, en el conjunto de la cuenca noroccidental. En líneas generales, la actividad de los tres primeros centímetros es inferior a 8,0 Bq/kg (Figura IX).

En febrero de 1986, la exploración de un radial NE-SO, conectando la embocadura del Ródano, en fondos de -25 m, con el cañón del pequeño Ródano, hasta profundidades de -1.700 m, permite seguir la distribución en el seno del lecho de superficie de los radionucleidos originados en instalaciones industriales. Así son detectados el ^{60}Co ,

^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce en los puestos de control RH01 y RH02.

Los dos isótopos del cesio sólo son evidenciados en los puestos de control RH03 y RH04. Después, el ^{137}Cs únicamente se detecta en los puestos de control más alejados y profundos. En 1986, las medidas de ^{137}Cs realizadas al pie de la meseta continental del Golfo de León, en el eje del cañón del pequeño Ródano (puesto de control R103 a -1.135 m), explican la posibilidad de un aporte directo de material sedimentario de la meseta continental hacia los grandes fondos.

Desde septiembre de 1985 hasta abril de 1986, el ^{137}Cs sólo se revela en niveles superficiales del conjunto de puestos de control del litoral, sometidos a débiles aportes telúricos. Los contenidos varían de 3,0 a 10,0 Bq/kg. Los perfiles verticales del cesio muestran una penetración de hasta 15 cm, con máximas entre 2 y 5 cm bajo el lecho superficial (Figura X).

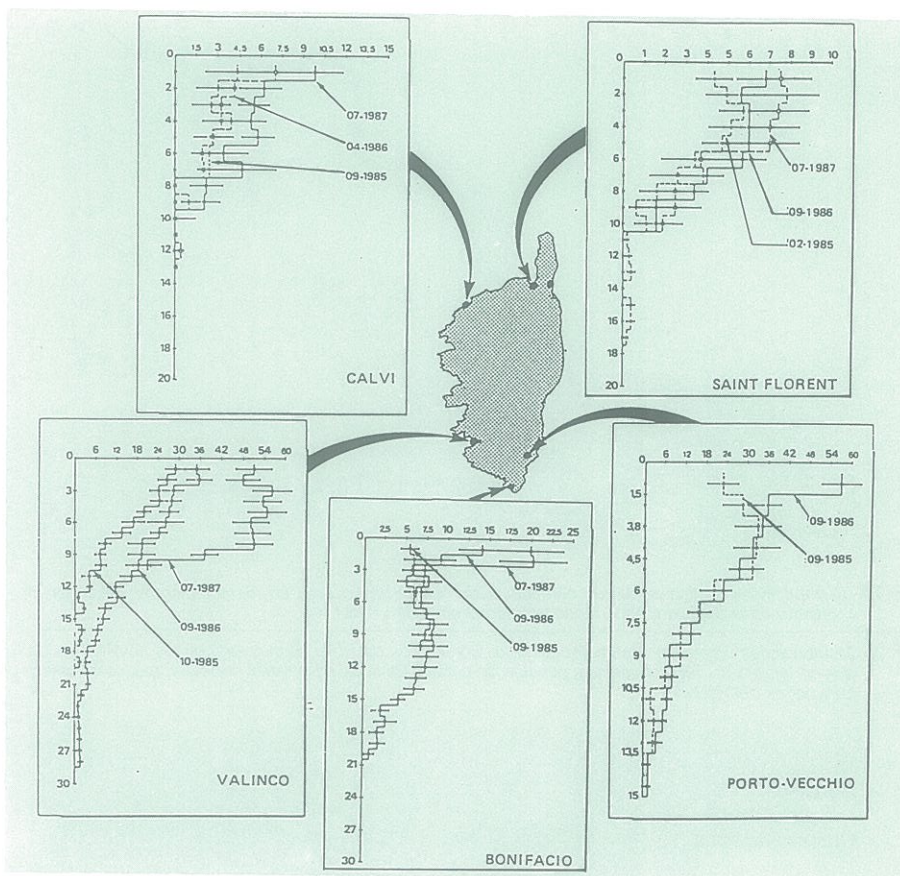
Desde septiembre de 1986, los parajes corsos y los del litoral continental presentan un aumento de los contenidos en ^{137}Cs , desde los niveles más superficiales y la aparición del ^{134}Cs , así como, en menor medida, el ^{106}Ru , ^{110m}Ag , ^{125}Sb y ^{144}Ce , entre los dos y los tres primeros centímetros. La relación $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$, llevada a la fecha del accidente de Chernobyl, evoluciona entre 2,0 y 3,0 (Figura XI).

En abril de 1986, los niveles de superficie de los puestos de control litorales del Golfo de León, situados al oeste de Sete, se caracterizan por contenidos de ^{137}Cs comprendidos entre 3 y 10 Bq/kg de sedimentos secos. Los puestos de control situados en la zona de extensión de las aguas del Ródano en el mar, como Port Camarque y Saintes Maries, se caracterizan por contenidos de ^{137}Cs superiores a 10,0 Bq/kg y por la presencia del ^{134}Cs . En noviembre de 1986, los contenidos de ^{137}Cs aumentan sobre el conjunto de los niveles de superficie muestreados.

El estudio de la distribución de los radionucleidos en el seno de la columna sedimentaria de los puestos de control bajo influencia directa de las aguas del Ródano, a menos de cinco millas de la zona de mezcla entre las aguas del Ródano y las del mar, revela aportes importantes y una penetración rápida del cesio. Sobre los primeros 20 cm, la relación $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ que fluctúa entre 9 y 10, valores característicos de los desechos industriales en abril de 1986, cae en noviembre del mismo año a 2,4, valor próximo de la característica de Chernobyl (Figura XII).

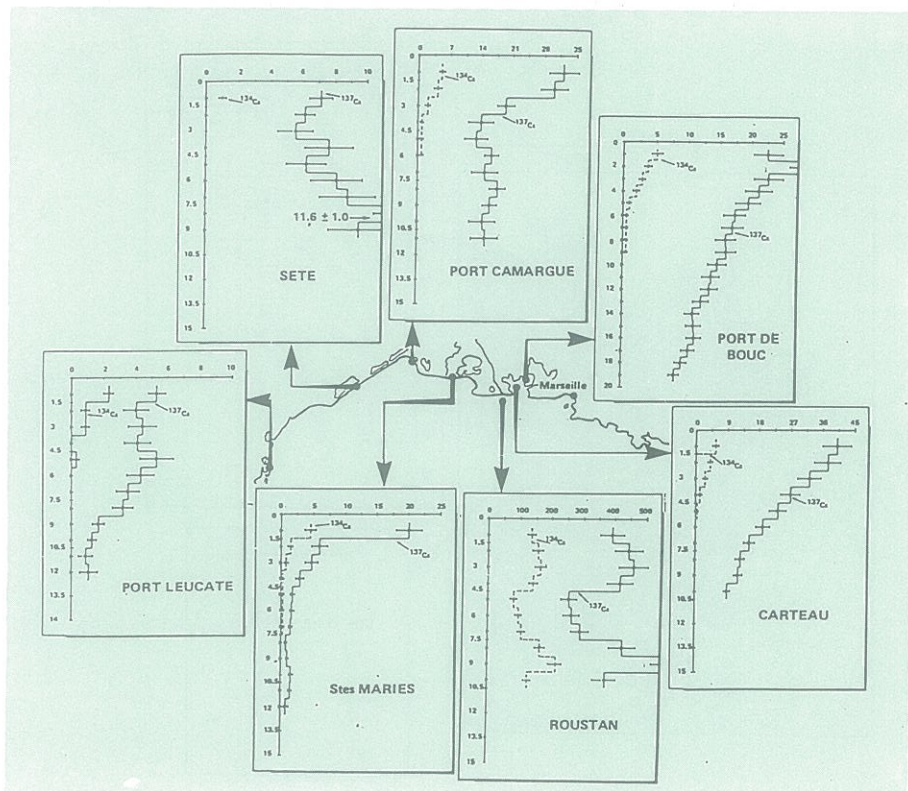
LOS ORGANISMOS MARINOS

En el marco de los estudios de transferencias de radionucleidos en el me-

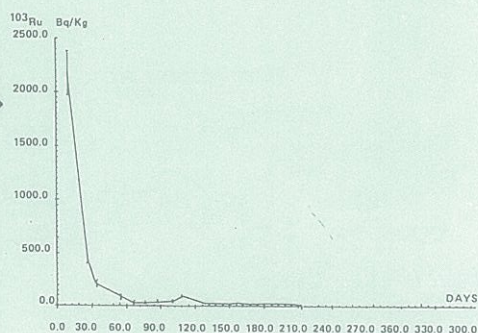
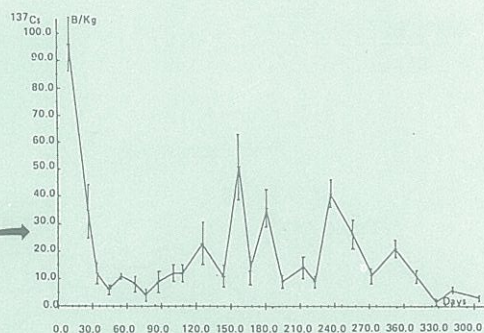


FXI Distribuciones verticales centimétricas de contenidos de ^{137}Cs (Bq/kg seg) en los sedimentos detraídos en cinco puestos de control del litoral corso, en septiembre/85, septiembre/86 y julio/87

FXII Distribuciones verticales centimétricas de contenidos ^{134}Cs y ^{137}Cs (Bq/kg seg) en sedimentos detraídos a lo largo del litoral del Golfo de León en noviembre de 1986

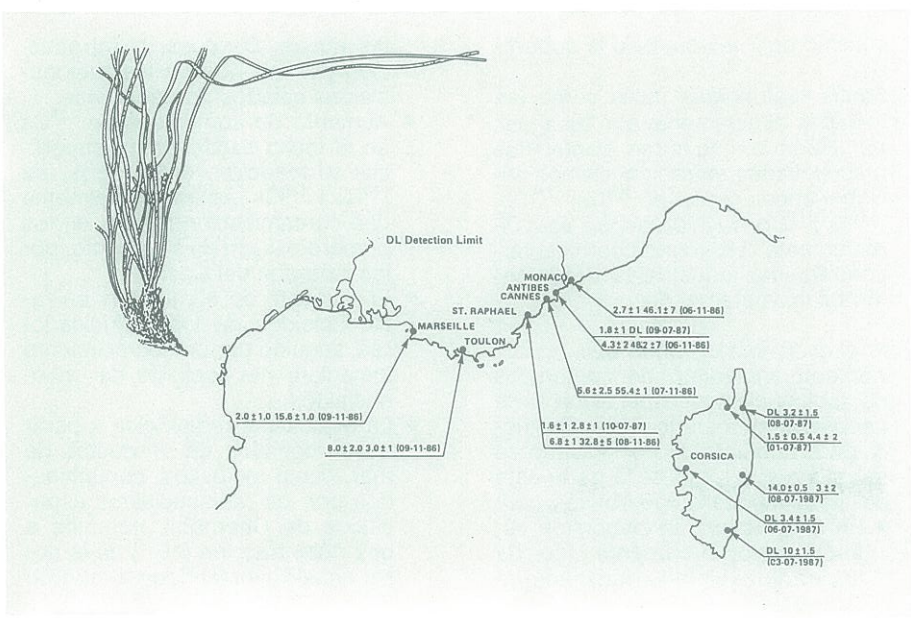


Ulva sp.		TOULON 06.05.1986
Radionuclides	half-life (days)	Bq/kg
^{137}Cs	10950	96
^{125}Sb	985	13
^{134}Cs	752	50
^{106}Ru	368	500
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	252	10
^{95}Zr	65	11
$\rightarrow \text{Nb}$		24
^{103}Ru	39	2170
$^{129\text{m}}\text{Te}$	44	640
^{141}Ce	33	48
^{136}Cs	14	13
^{140}Ba	13	62
$\rightarrow \text{La}$		64
^{131}I	8	670
^{132}Te	3	910
$\rightarrow \text{I}$		1700
Counting time : 1315 mn		



F XIII Radionucleidos detectados en una muestra del alga *Ulva sp.*, detraída el 6 de mayo de 1986 en Tolón y seguimiento cronológico de los contenidos de ^{103}Ru y ^{137}Cs , durante los doce meses siguientes al accidente de Chernobil

F XIV Contenidos en ^{137}Cs y $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (Bq/kg seg) en el interior de hojas adultas de la fanerógama marina *Posidonia oceánica*, detraídas en noviembre/86 y julio/87, en la parte este del litoral francés



dio marino, se analiza un gran número de bioindicadores característicos de los diferentes ecosistemas. No obstante, desde el hecho de la implantación de numerosas instalaciones nucleares a lo largo del Ródano, por una parte, y, por otra, considerando que los ríos se presentan como fuentes de radionucleidos diferenciados en el medio marino tras cualquier depósito atmosférico, los ecosistemas litorales dependientes de aportes de agua dulce, son seguidos muy particularmente.

Las algas clorofíticas como *Ulva sp.* y los moluscos bivalvos, como los mejillones *Mytilus sp.*, que abundan en la proximidad de la desembocadura de los ríos, han sido estudiados de forma especial.

El 6 de mayo de 1986, las medidas sobre muestras *Ulva sp.*, detraídas sobre el paraje de Tolón, indican la presencia de gran número de radionucleidos. Son detectados elementos de corta vida, de días, como el ^{132}Te ($\lambda = 3$ d), ^{131}I ($\lambda = 8$ d), ^{103}Ru ($\lambda = 39$ d) y otros con período más largo, como el ^{106}Ru ($\lambda = 368$ d), ^{134}Cs ($\lambda = 752$ d) y ^{125}Sb ($\lambda = 985$ d). Las curvas de los contenidos en función del tiempo muestran que el ^{137}Cs ($\lambda = 30$ años), detectado inicialmente en cantidades más débiles que los isótopos del rutenio, por ejemplo, es todavía visible a finales de 1987, mientras que el ^{103}Ru no se detecta a los seis meses del accidente (Figura XIII).

Con el fin de liberarse de la sujeción de la toma de muestras, hemos buscado una especie que está presente en todos los puestos de control y ofrece una amplia distribución geográfica sobre el conjunto de la cuenca mediterránea. Como continuación de los estudios llevados a cabo sobre distintos polucionantes, nos hemos quedado con la fanerógama marina monocotiledónea *Posidonia oceánica*, como hicieron otros colegas de cuyos trabajos expondremos aquí los resultados. El seguimiento cronológico de los contenidos en diferentes radionucleidos de las hojas adultas de esta especie, situada en parajes del este del litoral noroccidental, permite seguir la evolución de la contaminación de las aguas de esta zona. Así, en mayo de 1986, los radionucleidos clásicamente detectados sobre muestras de algas, aparecen con niveles más elevados sobre la zona de Villafranca-Niza que sobre los parajes de Tolón o del Cabo Corona, más al oeste. Por contra, en 1987, la mayoría de los radionucleidos no vuelven a ser detectados. Sólo el ^{137}Cs y el $^{110\text{m}}\text{Ag}$ son medidos a nivel homogéneo sobre el conjunto de los puestos de control (Figura XIV).

Desde 1983 se detraen y cosechan mensualmente *Mytilus sp* en diversos laboratorios del litoral mediterráneo, en el marco de un *Mussel Watch* del con-

junto de las costas francesas. Hasta abril de 1986, el ^{137}Cs era el único radionucleido detectado en el conjunto de los puestos de control. Los contenidos observados eran, no obstante, más elevados en la zona de expansión de las aguas del Ródano, donde el ^{106}Ru , ^{125}Sb y ^{60}Co eran igual y accesoriamente detectados. En mayo de 1986, esta situación se modifica momentáneamente: ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{110m}Ag , ^{134}Cs y ^{137}Cs aparecen en el seno del conjunto de los puestos de control del litoral, siguiendo un gradiente decreciente este-oeste. No obstante, los contenidos de estos diversos elementos disminuyen rápidamente en el curso de los meses siguientes al accidente de Chernobil (Figura XV).

Si se analiza la evolución en el curso del tiempo, a partir de mayo de 1986, de los contenidos en ^{137}Cs y ^{106}Ru , descubrimos que, en enero de 1987, la distribución de los radionucleidos es idéntica a la situación anterior a la fecha de los depósitos originados por el accidente de Chernobil: presencia única del ^{137}Cs fuera de la zona de las aguas del Ródano, donde hay que añadir el ^{106}Ru en los puestos de control más influidos por los desechos industriales.

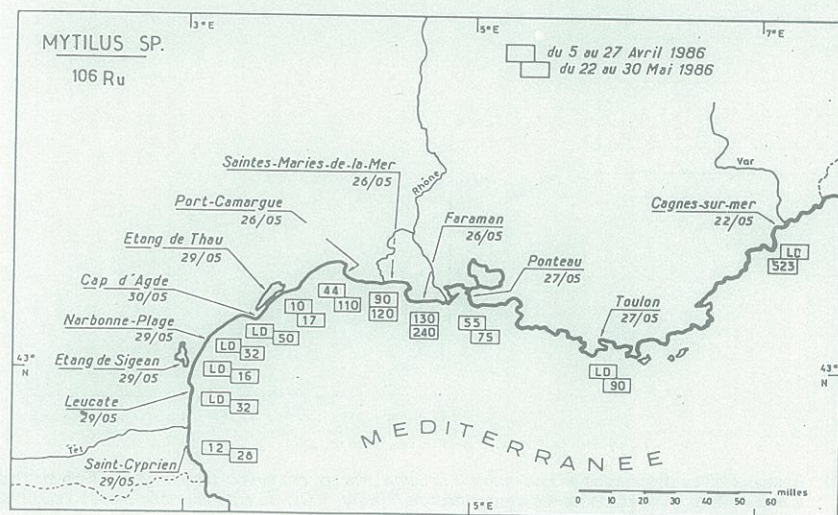
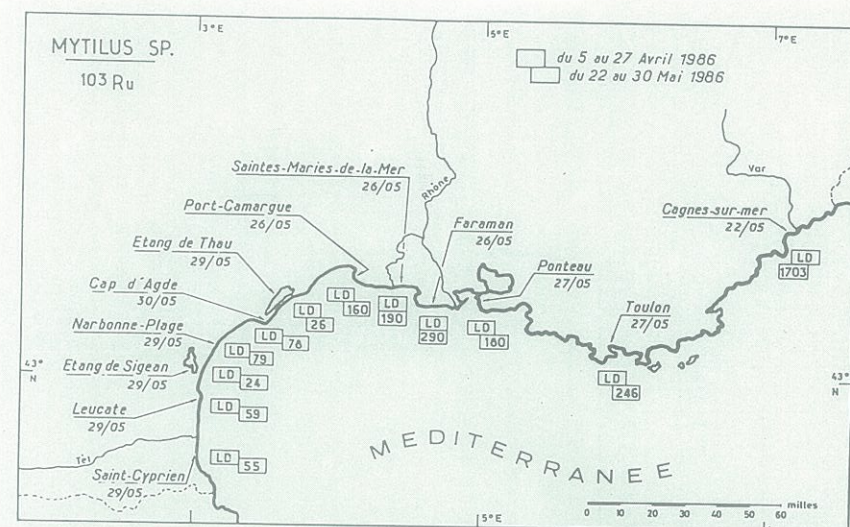
Las consecuencias sanitarias para 1986, como resultado del consumo del mejillón, han sido estimadas para la región de Niza (Cagnes-sur-mer) y Marsella (Faraman). El consumo individual de carne de mejillón por los habitantes de la región mediterránea ha sido estimada por igual en 1,5 kg/año. El cálculo realizado a partir de los contenidos mensuales de contaminación conduce a una exposición interna, expresada en equivalentes de dosis eficaz encuadrada en los $7,3 \times 10^{-8}$ Sv/año, para la ingestión de mejillones procedentes de Faraman, y de $4,5 \times 10^{-8}$ para los de Cagnes-sur-mer, siendo $1,5 \times 10^{-5}$ y $0,9 \times 10^{-5}$, respectivamente, el límite de dosis anual en todo el organismo, según la recomendación para el público (5 mSv/año).

CONCLUSIONES

Las medidas realizadas en el marco del programa RADMED sobre muestras de agua del mar, sedimentos superficiales y sobre bioindicadores señalan:

Antes del accidente de Chernobil

- Contaminación mayor en ^{137}Cs de las aguas y los sedimentos en el conjunto de la cuenca mediterránea occidental, ocasionada por los depósitos atmosféricos consecuencia de las pruebas de armas nucleares en el hemisferio norte. La distribución vertical del ^{137}Cs en el seno de los sedimentos seguía una curva decreciente, con un enterramiento



F XV Contenido de ^{103}Ru (a) y ^{106}Ru (Bq/kg seg) en el seno de las muestras de mejillones *Mytilus* sp., detraídos en abril y mayo de 1986, a lo largo del litoral mediterráneo francés

máximo de 3 a 5 cm bajo la superficie.

- Zonas restringidas, tales como las influidas directamente por las aguas del Ródano, muestran contenidos más elevados en radionucleidos antropógenos, como el ^{134}Cs , ^{125}Sb , ^{106}Ru y ^{60}Co , cuya presencia está directamente relacionada con los vertidos líquidos industriales, débilmente radiactivos en el río.

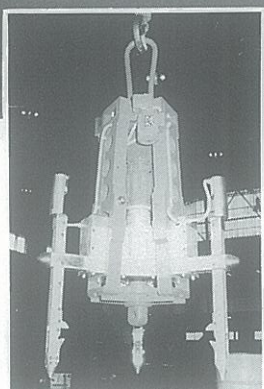
Tras el accidente de Chernobil

- Aumento inmediato de contenidos de radionucleidos específicos y de depósitos atmosféricos de Chernobil en el conjunto de los indicadores detraídos a lo largo de la parte este del litoral mediterráneo francés, con:
 - En un principio, la dispersión este-oeste por la corriente Ligur de los radionucleidos inicialmente depositados en la superficie de

las aguas. Después, la introducción por los ríos de los radionucleidos colados por las lluvias.

- Aumento de contenidos en ^{137}Cs en el lecho sedimentario superficial y aparición, entre otros, de ^{106}Ru y ^{140}Ce . Aparece igualmente una contaminación rápida, de los primeros 10 cm de sedimento, por los isótopos del Cesio.
- El aumento de contenidos en radionucleidos de los bioindicadores, seguido por un decrecimiento inmediato del conjunto de radionucleidos.
- La evaluación radiológica a partir de la ingestión de productos de mar, como moluscos, contaminados por los radionucleidos específicos de Chernobil, conduce a una débil fracción (10^{-5}) de la dosis anual recomendada al público (5mSv/año).

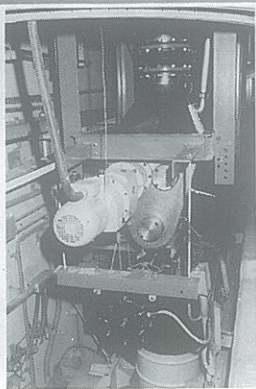
DIVISION RESIDUOS RADIATIVOS



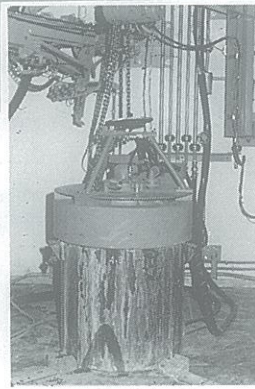
Manipulador de bidones
CN ALMARAZ



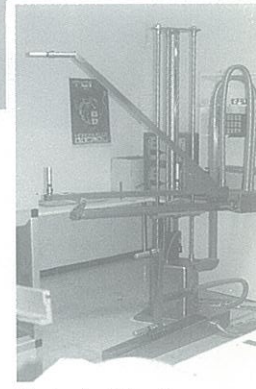
Compactadora
CN VANDELLOS II
CN TRILLO



Dosificador de residuos
CN COFRENTES



Planta de embidonado
CN ALMARAZ



Planta de detección
de bidones
CN VANDELLOS II

EQUIPOS DESARROLLADOS PARA RESOLVER NECESIDADES CONCRETAS

¿QUE NECESITA?



¡CONSULTENOS!

DIVISION PROTECCION RADIOLOGICA

DOSIMETRIA DIGITAL Y TLD (ALNOR)

DETECCION DE CONTAMINACION (HERFURTH)

DETECCION DE RADIACION (ALNOR)

MODULOS ELECTRONICOS (TENNELEC, ENERTEC)

ESPECTROMETRIA α , β , γ (NUCLEUS, ENERTEC)

MONITORES DE EFLUENTES (STUDSVIK)

OPERACIONES ESPECIALES EN ZONAS DE ALTO NIVEL DE RADIACION
Y/O CONTAMINACION (STUDSVIK)

DIVISION INDUSTRIAL

Instrumentos portátiles para medida de contaminación, ruidos, velocidad
y temperatura de aire, presión, etc.

Ens PIME '89

International Workshop on Public Information Problems of Nuclear Energy
22 – 25 January 1989, Montreux, Switzerland
Organized by the European Nuclear Society and cosponsored by Foratom

Call for Contributions

Aims

PIME'89 is a follow-up event of PIME'88, which was ENS' first Public Information Materials Exchange. However, the format of PIME'89 versus the previous event is much broader.

The main aim of PIME'89 is to serve as a forum for information experts to exchange experiences on PR activities and on the production and utilization of information material. PIME'89 will objectively deal with both successes and failures.

PIME'89 is open to all interested nuclear information specialists. Representatives of the mass media are welcome to join in the exchange. Maximum attendance is 150 participants.

Language

English only (print materials and films/videos may be presented in other languages but must be introduced in English).

PIME'89 Main Features

Case-Study Sessions

In presentations of 15–20 minutes, leading specialists will describe practical solutions on the following three topics:

1. Mass media and public information on nuclear energy and radiation: striving for two-way confidence and understanding (Opening Session)
2. Can public confidence and acceptance be won by advertising? Is such an approach defensible?
3. Nuclear facilities and local information

Papers must reach the Secretariat two weeks before the workshop.

Round Tables

They will consist of 5–6 panelists, discussing the following two topics:

1. Are the advocates of nuclear power and the adversaries listening to each other? (Does dialogue have a chance?)
2. Women and nuclear power

Poster Sessions

PR-officers from participating organizations will present a number of prospectuses (in English or native language), brochures, wall charts or slide series (without sound) aimed at explaining nuclear energy and radiation to the general public. The speakers will give details about the impact (or lack of it) on the public. The sessions will run continuously for 2½ to 3 hours.

Video and Film Presentations

New videos and films, designed to explain nuclear energy and radiation to the general public (max. length 30 minutes) will be presented by Information Officers with a max. 5 minute introduction. The PIME participants will select the best video/film by ballot for the PIME'89 Award of Excellence to be presented at the closing of the workshop.

Special Projects

Special information tools – e.g. video walls or mobile information units – can be accommodated in the programme.

Permanent Booths for Material Display

Participating organizations may rent booths (Swiss Francs 600 per booth) or tables (Swiss Francs 200 per table), located in the Poster area, for exhibiting print materials and slide series (without sound).

Announcement of Contributions

Contributions to the above types of sessions, special projects and permanent materials displays must be announced by completing the application form on the opposite page (please photocopy). If there is not enough space available, please attach additional sheets. All contributors must later register for the event and pay the full registration fee (except accredited news journalists). The registration fee will be Swiss Francs 800. A nominal additional equipment cover charge will be required for the video/film presentations and special projects.

Deadline

The deadline for the announcement for all contributions is **August 26, 1988**. The application form for contributions is binding.

Acceptance

The Pime executive group of the ENS Information Committee will make the final choice of speakers for Case-Study and Poster Sessions, as well as Round Tables. Applicants will be informed of acceptance/rejection by mid-September 1988. The Chairman of the ENS Information Committee, Mr Juhani Santaholma (Perusvoima OY Finland), will act as Chairman of PIME'89.

Provisional Programme

The provisional programme of PIME'89 including most speakers names, participating organizations, video/film titles, materials to be presented etc. will be published in the **October issue of Nuclear Europe**. It will also be sent directly to those persons whose contributions have been accepted.

Do not send any money now, wait for the provisional programme with registration form.

Ens PIME '89

This form must be returned to the PIME'89 Meeting Secretariat c/o ENS,
Post Box 2613, CH-3001 Berne, Switzerland not later than August 26, 1988.
Late entries cannot be accepted.

Application Form For Contributions

Company/Organization: _____
Person responsible: _____
Street: _____ P.O. Box: _____
Zip code/City: _____ Country: _____
Telephone: _____ Telex: _____ Telefax: _____

Case Study Sessions

1. Mass media and public information on nuclear energy and radiation: striving for two-way confidence and understanding (Opening Session)
2. Can public confidence and acceptance be won by advertising? Is such an approach defensible?
3. Nuclear facilities and local information

Proposed Speaker

Name: _____
First Name: _____
Title/position: _____
Name: _____
First Name: _____
Title/position: _____
Name: _____
First Name: _____
Title/position: _____

Round Table Sessions

1. Are the advocates of nuclear power and the adversaries listening to each other?
(Does dialogue have a chance?)
2. Women and nuclear power

Proposed Speaker

Name: _____
First Name: _____
Title/position: _____
Name: _____
First Name: _____
Title/position: _____

Poster Sessions for Oral Presentation of Prospectuses, Brochures, Wall Charts, Slide Series etc.

Proposed Speakers	Materials to be presented
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Video and Film Presentations

Title of Video/Film*	Language	Length (minutes)	Presentator
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Special Projects We would like to show the following special information tools:

Presentator: _____

Permanent Booths for Material Display

We intend to rent the following number of booths/tables*
for permanent material display: _____

Person responsible: _____

Date: _____

Company Stamp & Signature _____

* Underline applicable type

JOSE MARIA MARTINEZ-VAL
PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

A menudo olvidamos, incluso los propios profesionales de los sectores nuclear y radiológico, que formamos parte de un mundo, de un universo, esencialmente radiactivo. Posiblemente nuestro olvido proceda de que carecemos de un sentido corporal que nos permita detectar y medir las radiaciones ionizantes. A diferencia de las vibraciones sónicas o de las variaciones termodinámicas, que percibimos con precisión suficiente como para haber sido aprovechadas por el ser humano desde hace milenios, las radiaciones ionizantes no son sentidas sino por sus efectos macroscópicos, y sólo cuando el nivel del perjuicio recibido es grande. Esta es una de las paradojas que hace difícil la aceptación social de la energía nuclear, en tanto que aparece al público lego como un espectro que ataca en total impunidad y produce sus efectos demorada e ineluctablemente, sin posibilidad médica de lucha contra ellos. Para una gran parte del público, ignorante del potasio-40 que contiene su cuerpo o de la radiación cósmica que lo bombardea, la radiactividad no existe en la naturaleza ni ha existido nunca. Es un inconveniente más derivado de la investigación científica y del desarrollo tecnológico, que junto a los beneficios de la industrialización y el transporte genera consecuencias indeseables como la polución química, los accidentes aéreos o los residuos nucleares.

Aunque se ha realizado cierto esfuerzo por divulgar los principios de la radiactividad, y en particular la existencia y características de la radiactividad natural, este esfuerzo ha ido siempre a remolque de los acontecimientos nucleares y no ha alcanzado todavía ni al gran público ni a los medios de comunicación, que difícilmente pueden digerir y asimilar con un mínimo de rigor noticias sobre cuestiones radiológicas. Se aprecia una pobreza científica absoluta en la mayoría de las comunicaciones públicas sobre este tema, con abundantes confusiones en magnitudes y unidades radiológicas, por lo que se crea un clima de inquietud mayor incluso que el buscado por el sensacionalismo periodístico propiamente dicho. Conviene hacer mención que ni siquiera en los planes de estudio de bachillerato aparece mención a la radiactividad natural, con lo cual se induce una carencia importante en el

conocimiento y comprensión de la estructura y naturaleza de nuestro universo físico. Carencia que dificulta la justa valoración de los fenómenos nucleares y radiológicos por parte de la población en general.

Obviamente, para difundir los conocimientos sobre radiactividad natural, es indispensable conocer ésta a fondo y a tal fin resultan imprescindibles congresos como el que hoy inauguramos, que tiene además la peculiaridad de referirse a uno de los más nítidos escenarios terrestres, tanto geográfica como históricamente.

Existe además una finalidad práctica importantísima en esta labor de investigación sobre el fondo radiológico ambiental, puesto que éste ha de servir como nivel de referencia inequívoco para la evaluación de las repercusiones reales de las aplicaciones nucleares industriales e incluso médicas. Por supuesto que existen otros niveles de referencia superiores, determinados por las dosis y tasas de dosis admisibles en función de sus efectos individuales y colectivos, pero los niveles naturales sobre los cuales evaluar estos efectos son, precisamente los definidos por el fondo radiológico ambiental, que es, por otra parte, una magnitud que presenta importantes variaciones en función del lugar geográfico, lo cual hace aún más valioso este tipo de congresos en los que se exponen las investigaciones y medidas relativas a un marco natural concreto.

En nuestro caso, el marco es el mar seguramente mejor conocido y más atravesado de cuantos hay en la tierra. Un marco cargado de historia, que en la época paleolítica ya sirvió de acomodo a la intensa actividad pictórica subsahariana y levantina de la cultura paleolítica y que en las épocas del arranque histórico fue el escenario y el medio para la difusión y el entronque de aquellas grandes civilizaciones originarias.

Hoy día, aquel marco por el que se desplegaron el alfabeto y la moneda sirve en no poca medida de cuenca de recepción de muchos residuos industriales y urbanos. Desde hace tiempo se ha alzado la voz advirtiendo que este mar tiene una capacidad limitada de purificación y reciclado, que puede quedar bloqueada y sobrepasada por la agresión continua que representan esos residuos. Sin duda alguna es pre-

ciso mantener el equilibrio en la ecuación ambiental entre la tasa de vertidos que afluyen a este mar y su capacidad para sedimentarlos, lixiviarlos, diluirlos y, en definitiva, digerirlos hasta un estado que no suponga perturbación inaceptable de las condiciones de este mar.



José María Martínez-Val

En el campo radiológico, la contaminación radiológica que ha sufrido el Mediterráneo es ciertamente muchísimo menos preocupante que la agresión química de diversa índole que ha sufrido y sigue sufriendo. Eso no es óbice, por supuesto, para que los estudios radiológicos del Mediterráneo y de sus países ribereños y próximos se deba efectuar con todo rigor.

No es casualidad que este Congreso se celebre en Barcelona, a iniciativa de la Sección Catalana de la Sociedad Nuclear Española. Cataluña no es sólo una de las comunidades españolas más industrializadas, sino que cuenta además con un parque de centrales nucleares de 3.500 MWe. Es lógico, pues, que sus especialistas nucleares y radiológicos hayan sentido la inquietud de organizar este Congreso, pues la potencia nuclear antedicha está afortunadamente mantenida por un numeroso equipo de profesionales en las compañías eléctricas y de servicios, en las universidades y en la administración. Si el éxito de este Congreso resulta proporcional al entusiasmo, conocimiento y capacidad de estos profesionales que lo han organizado, será sin duda un éxito rotundo, en beneficio del mejor conocimiento de la realidad radiológica que nos rodea.

RAFAEL CARO

CONSEJERO DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

El 2 de diciembre de 1942, Fermi y sus colaboradores, en el marco del Proyecto Manhattan, consiguieron la primera reacción nuclear artificial de fisión en cadena automantenida de la Historia. En el aparato que se construyó a tal efecto, el CP-1, o Chicago Pile número 1, se logró por primera vez mantener controladamente las reacciones de fisión que Otto Hahn y su equipo habían interpretado correctamente sólo tres años antes.

La cinética de estos procesos y la posibilidad de conseguir estados supercríticos con liberación explosiva de energía ya eran bien conocidos por Fermi. Asimismo, era bien sabido que el anormal valor de la razón protón-neutrón en los fragmentos de fisión les hacía muy indeseables, dando lugar a cadenas de desintegración y a un altísimo nivel de radiactividad en el combustible usado. Por otra parte, las radiaciones ionizantes ya se venían utilizando desde años atrás, con más o menos éxito, en el tratamiento de tumores malignos, y se conocían sus efectos dañinos, tanto somáticos, como genéticos; no es, pues, sorprendente que Fermi y sus colaboradores llevaran a cabo un exhaustivo análisis de seguridad que incluía procedimientos técnicos y administrativos. Esta práctica se ha repetido después en todos los casos y se ha ido creando un cuerpo de doctrina, llamado Seguridad Nuclear, que puede definirse como el "conjunto de ciencias y técnicas que se encargan de ubicar, proyectar, construir y explotar y, llegado el caso, dismantlar las instalaciones nucleares y radiactivas, sin que ello suponga un riesgo para la población ni para el personal de la instalación, superior al de otras actividades humanas de magnitud comparable".

La Primera Conferencia de Ginebra de 1955, subtitulada de "Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos" fue el primer foro donde se discutieron y analizaron conceptos de seguridad nuclear a nivel internacional. En una de las ponencias presentadas se plantea por primera vez que una posible liberación de radiactividad en un accidente nuclear provendría de:

- Una excursión de potencia: es decir, un accidente de criticidad, o
- la fusión total o parcial del núcleo a causa de la potencia residual, es decir, la radiactividad de los productos de fisión y de sus descendientes.

Respecto al primer tipo de accidentes, ya se conocía muy bien la cinética neutrónica como parte de la Física de

Reactores, y la efectividad de los medios disponibles para atajar una excursión neutrónica, básicamente, la actuación de barras de control de material muy absorbente. Respecto a la fusión del núcleo debida a la potencia residual, el trabajo citado propone los Sistemas de Refrigeración de Emergencia como mejor procedimiento para evitarla en caso de accidente, y establece la conveniencia de que sean sistemas pasivos al máximo y, en todo caso, con fuente de alimentación eléctrica independiente, filosofía que se viene manteniendo hasta el momento.

En esta misma gran conferencia, por primera vez se analizó públicamente el daño a terceros procedente de un hipotético accidente nuclear (refs. 3 y 4), y se introduce el concepto de "potencia equivalente al escape postulado de productos de fisión", donde de forma cuasi explícita aparece por primera vez el "Término Fuente" *, y criterios de definición de diversos niveles de daño, dosis y contaminación del terreno. En el trabajo presentado por Rolland (5) se mostraban métodos relativamente precisos para la evaluación de la exposición a una nube radiactiva procedente de un accidente de fusión del núcleo, basados en la simplificación de una distribución gaussiana en la nube, hipótesis que aún hoy se sigue utilizando en la mayoría de los modelos teóricos al efecto. Sin embargo, también postulaba una situación de isotropía que limitaba la validez de los resultados.

También se presentaron en aquella ocasión los resultados y la descripción de unos famosos e interesantísimos experimentos de cinética que llegaban a la destrucción física del reactor, realizados en las series Borax (Boiling Water Reactor Experiments) y Sport (Special Power Excursion Reactor Tests) (6).

A la sazón, la US Atomic Energy Commission había encargado al Laboratorio Nacional de Brookhaven el desarrollo de un trabajo de investigación y puesta al día sobre seguridad nuclear, que fue publicado en 1957 con la referencia WASH-740, y que ha venido a constituir un hito en esta tecnología. El WASH-740 contiene notables avances respecto a los trabajos anteriormente mencionados, básicamente en lo que se refiere a los productos de fisión emitidos al ambiente en el caso de un hipotético accidente, y a la probabilidad de que dicho accidente tenga lugar. En este informe se pone de relieve la distinta volatilidad de cada uno de los productos de fisión, característica básica



Rafael Caro

en la evaluación del Término Fuente, y el alto valor de esta magnitud para el yodo, así como su afinidad a la glándula tiroides. En cuanto a la frecuencia de accidentes catastróficos, se concluye que varía entre 10^{-5} y 10^{-9} por reactor y año, lo que no es muy diferente de los niveles evaluados en la actualidad.

Joseph Dinunno en 1962 había desarrollado un método de evaluación de accidentes en reactores de agua ligera (Ref. 7) en el que incorpora un "Término Fuente" que fue utilizado durante años y sustituido después por lo especificado en las Regulatory Guides 1.3 y 1.4. En ellas se postula de una forma extremadamente conservadora a la fusión total del núcleo, con mil días de irradiación al 105 % de la potencia nominal, una emisión del 100 % de los gases nobles y unas fracciones muy mayores de yodos.

En cuanto a las consecuencias, las estimaciones del WASH-740 eran excesivamente pesimistas, especialmente por comparación con el WASH-1400, internacionalmente conocido como informe Rassmussen y su equipo de colaboradores. En este trabajo, referido a un centenar de reactores de agua ligera situados en 68 emplazamientos diferentes de los Estados Unidos, se cuantifica la probabilidad de que tenga

(*) Ya en el año 1968, A. Alonso y F. Díaz de la Cruz, de la JEN (Junta de Energía Nuclear), presentaron un interesantísimo trabajo en el *Congress Internationale sur la Diffusion des Produits de Fission*, en Saclay (CEA, Francia) sobre el Término Fuente o Integral de Escape en su propia tecnología.

lugar un accidente con fusión total o parcial del núcleo y la característica del escape (Término Fuente); el riesgo es el producto escalar de ambos factores. Es pertinente mencionar que el método empleado por Rassmussen de naturaleza probabilista, en contraposición con los métodos deterministas utilizados hasta el momento había sido concebido, básicamente, años atrás por Siddall (10) y por Farmer (11), aunque su aplicación no había sido posible debido fundamentalmente a carencia de datos y de metodología.

En 1976, el Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal de Alemania encomendó un análisis parecido al profesor Adolf Birkhofer que tuviera en cuenta el diseño de sus reactores, relativamente diferente de los LWR americanos, y la densidad de población, unas diez veces más alta en Alemania que en América.

En el mes de marzo de este mismo año tuvo lugar el acontecimiento quizá más importante de la historia de todas las centrales nucleares desde el año 1942 en que el CP-1 se hizo crítico en Chicago; nos referimos al accidente de la unidad 2 de la Central Nuclear de Three Mile Island. En esta circunstancia una concatenación de fallos técnicos, humanos, administrativos y de diseño llevó a una fusión casi total del núcleo y a un desprendimiento notable de radiactividad al ambiente exterior. No se produjo ninguna víctima, y según los organismos internacionales competentes, menos de un cáncer letal tendrá lugar en los próximos cuarenta o cincuenta años como consecuencia del accidente, pero se pusieron de manifiesto muchas lagunas en el conocimiento de la fenomenología de los accidentes severos. La comunidad nuclear emprendió consecuentemente un vasto programa de investigación que cubriera todos los frentes que TMI había puesto en evidencia.

Uno de los temas de I + D dominante en las dos décadas previas había sido el relativo al Término Fuente, definido como el material radiactivo a nivel cualitativo y cuantitativo que podría emitirse en un accidente, es decir, su forma física y química, y la duración, altura y energía de la emisión. Su evaluación había ido haciéndose gradualmente más precisa, aunque necesariamente seguía apoyándose en hipótesis simplificadoras no completamente establecidas.

El accidente de TMI acentuó la importancia de esta magnitud y proporcionó una oportunidad empírica para entender la fenomenología asociada con un cierto detalle. En este accidente no se produjo la fuga de productos de fisión prevista por las hipótesis reguladoras clásicas, y ni siquiera por los términos fuente evaluados de forma mucho más



Vista general del Salón de Conferencias

cuantitativa y realista del WASH-1400. Los productos gaseosos de fisión inertes se comportaron de acuerdo con lo esperado, pero, sin embargo, la emisión de I-131 fue inesperadamente baja. Aproximadamente, seis megacurios de xenón escaparon al ambiente en comparación con 18 curios de yodo, lo que suponía menos de una diezmillonésima del inventario en el núcleo. Según las hipótesis clásicas este elemento, muy volátil a las elevadas temperaturas alcanzadas en el núcleo degradado, debería haber escapado en cantidades comparables a las de los gases nobles (13).

Se sugirió en 1980 que las condiciones reductoras en el interior de la vasija durante el accidente provocaran la formación de yoduro de cesio, y la cantidad en exceso de este último elemento, cuya producción como producto de fisión es unas diez veces superior a la del yodo, aparecería como hidróxido de cesio. Ambos compuestos son muy solubles en agua y además mucho menos volátiles que en forma elemental; por añadidura, pueden formar aerosoles sujetos a procesos de deposición en el circuito primario y en el recinto de contención. Esta misma explicación sería aplicable a otros elementos igualmente radiactivos presentes en el núcleo degradado; tal es el caso del telurio y del rubidio (14).

Todas estas cuestiones y la necesidad de conocer su fenomenología detalladamente llevaron a todos los países con intereses nucleares a realizar gran cantidad de investigaciones al respecto. Es pertinente mencionar los análisis realizados por la American Nuclear Society, la American Physical Society, la NRC y el programa del consorcio de

empresas eléctricas americanas ID-COR (Industry Degraded Core Rulemaking). También hay que citar compañías como Stone and Webster Engineering Corporation, EPRI y la New York Power Authority. Asimismo, el resto del mundo, y especialmente países de la OCDE como Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón y el Reino Unido, han realizado tanto individualmente como dentro del marco de la Agencia para la Energía Nuclear un gran esfuerzo en este terreno.

Como detalle específico puede citarse la actividad de la NRC que en el área general del Accidente Severo publicó NUREG-0900 con los esfuerzos de investigación experimentales y analíticos pertinentes para una evaluación precisa del riesgo en centrales nucleares. Un hito de este programa fue la reevaluación del Término Fuente, incluida en el NUREG-0956. Es preciso mencionar NUREG-1150, que incorpora un gran detalle en evaluación de frecuencias del daño al núcleo, árboles de sucesos en la contención, términos fuente y análisis de incertidumbres (15). Todas estas investigaciones han llevado, en términos generales, a un mejor conocimiento de la fenomenología y de la posibilidad de evaluación en base mecanicista del Término Fuente con una precisión razonable. Específicamente, puede afirmarse que, en general, los valores de esta magnitud estaban sobreestimados, y en ocasiones por factores muy grandes. Asimismo se ha encontrado que algunos edificios de contención son de dos a cuatro veces más resistentes que lo requerido en la presión de diseño y que, caso de que fallaran, ello tendría lugar en la mayoría de las ocasiones con un margen de

tiempo de hasta seis o siete días. Esto es muy importante porque, según análisis relativamente recientes, los productos de fisión-aerosoles no permanecerían necesariamente en forma gaseosa a lo largo del tiempo citado y, por tanto, no escaparían. Asimismo, se conocen razonablemente los datos para caracterizar las reacciones conducentes a la formación de yoduro de cesio y de hidróxido de cesio. Ha habido también notables avances en el conocimiento termohidráulico de la transferencia de masa y calor en el transporte de los productos de fisión desprendidos en un núcleo severamente dañado, tanto en el circuito primario como en el edificio de contención (16). Por supuesto, los análisis y los avances mencionados han servido también para identificar nuevos fenómenos y áreas que necesitan más investigación. En términos generales puede hablarse de incertidumbres provocadas por los diferentes modelos matemáticos desarrollados en el entorno del Accidente Severo y de las aproximaciones numéricas empleadas, así como de la falta de conocimiento detallado del mecanismo de colapsamiento del núcleo, de diferencias en las propiedades físicas de algunos materiales, y de la posible emisión de algunos fenómenos nuevos; y de forma más específica, de los modos de fallo de los recintos de contención, de las interacciones corium-hormigón y de algunos aspectos de la combustión de hidrógeno.

Todo lo dicho anteriormente se proyecta de forma inmediata sobre los planes de investigación futura que, por supuesto, han de ser establecidos teniendo en cuenta que el análisis del término fuente, o de cualquier otra de las magnitudes de su entorno tecnológico, está interrelacionado con todas las demás del capítulo general del Accidente Severo. Un ejemplo evidente lo proporciona la evaluación de las cargas sobre el recinto de contención, que dependerá obviamente de la evolución temporal del colapsamiento del núcleo que está sufriendo el accidente.

Con estas premisas, las investigaciones actuales y futuras a nivel experimental, teórico y computacional se orientan hacia el análisis de la progresión del accidente en el interior de la vasija, la generación de hidrógeno, la posibilidad de interacciones explosivas con el agua y la implementación de acciones de recuperación, todo ello con sus cálculos de incertidumbres. Códigos tales como SCDAP, RELAP, TRAP, MELTPROG, STCP, ICARE, CATHARE, etc., e instalaciones y centros como Sandia National Laboratory, Phebus, Betsy, Cadarache, Brookhaven, Cora, etc., serán los protagonistas principales.

Otro tema de actualidad es el estable-

cimiento y la fenomenología de un régimen de circulación natural durante el accidente, cuya importancia viene avalada por la posibilidad de rotura de la vasija, predicha por los códigos CONMIX y CORMELT en ciertas condiciones de pérdida total de energía eléctrica exterior.

En el tema de la interacción corium-hormigón, la generación de aerosoles y su transporte, comportamiento y fundamentación termoquímica, el daño estructural a la contención y la constitución de una base de datos suficientemente completa, son los capítulos más importantes. Temas relacionados con los anteriores y que también suponen un efecto sobre la contención son las cargas debidas a sobrepresiones y a explosiones. Investigan este tema laboratorios nacionales, de Europa, Estados Unidos y Japón.

Otra vertiente importante es el efecto de estas investigaciones sobre las normas reguladoras. Por ejemplo, la gestión de los posibles accidentes hasta el momento se viene realizando en base a términos fuente muy conservadores, por ejemplo, Regulatory Guide 1.97 de NRC, basados, en general, en estimaciones del nivel del WASH-1400 o documentos similares. Naturalmente, estimaciones más realistas de esta magnitud habrán de influir sobre dichas normas reguladoras. Lo mismo puede decirse de la no utilización de aditivos químicos en los sistemas de dispersión en los reactores de agua a presión (Standard Review Plan 6.5.2) y del crédito a las piscinas de relajación de presión como sistemas descontaminantes en los reactores de agua en ebullición (Reg. Guide 3).

A medio plazo, es evidente que temas como las Planificaciones de Emergencia (10 CFR 50 P. E.), el Ritmo de Fugas de la Contención (10 CFR 50 P. J.), la Calificación Ambiental de los Equipos (10 CFR 50 P49) y la Habilitabilidad de la Sala de Control (Standard Review Plan 6.4) tendrán que ser retocados de acuerdo con los nuevos hallazgos. Y finalmente, las regulaciones relativas a la Evaluación de Emplazamientos y de Impacto Ambiental (10 CFR 100) quedarán fuertemente condicionados por los nuevos valores del Término Fuente. Obviamente, el Análisis de Consecuencia es otro de los capítulos de la Tecnología de la Seguridad Nuclear fuertemente influidos por el conocimiento detallado del Término Fuente, puesto que tanto la cantidad del material radiactivo escapado como su composición son responsables de las consecuencias sobre personas y cosas.

También en este área se ha trabajado mucho a nivel internacional. Puede citarse a título de ejemplo que la Comunidad Europea en 1983 inició el proyecto MARIA, acrónimo de Methods for

Assessing the Radiological Impact of Accidents, con participación KfK de Karlsruhe y del National Radiological Protection Board británico. Asimismo, los Estados Unidos, con su modelo en uso en la NRC incorporado en el paquete MACCS y Alemania con su UFO-MOD, disponen de esquemas en evolución constante, aunque lo suficientemente desarrollados en la actualidad para, a partir del Término Fuente como condición inicial, analizar la dispersión atmosférica de la nube, su deposición, hacer los cálculos dosimétricos, identificar las acciones pertinentes de protección y evaluar los efectos sobre la salud (17). Temas de investigación de relevancia en este área son el fall-out de "partículas calientes", el transporte de la nube a largas distancias, la contaminación de áreas urbanas, los caminos de exposición y realimentación de modelos analíticos a medidas radiométricas en tiempo real (18).

Habría que mencionar como colofón, y aunque sólo sea de forma muy superficial, por una parte, que la Tecnología de la Seguridad Nuclear es incomprendible sin la investigación sobre el Accidente Severo, en general, y sobre el Término Fuente en particular; y por otra parte, que este país, cuya producción electronuclear se acercará al 40 % de la total en breve, deberá dedicar más atención a este tema.

P. S.

Esta presentación pudo hacerse en gran medida gracias a la colaboración del profesor Agustín Alonso; incluso algún párrafo está tomado al pie de la letra de sus trabajos.

REFERENCIAS

- (1) Alonso. Criterios Generales sobre Seguridad Nuclear. Curso Regional sobre Planificación, Desarrollo y Ejecución de Proyectos de Nueoelectrónicos. OIEA, Junta de Energía Nuclear. Madrid, 1978.
- (2) Mc Cullogh, *et al.* La seguridad en los reactores nucleares. Primera Conferencia de Ginebra, vol. XIII, 1955.
- (3) Parker y Healy. Efectos en el medio circundante por accidente en un reactor, *op. cit.*
- (4) Marley y Fry. Contingencias radiológicas de una fuga de productos de fisión y condiciones que imponen en el emplazamiento los reactores productores de energía, *op. cit.*
- (5) Holland. Radiación de nubes de residuos de reactores, *op. cit.*
- (6) Russell. Reactor Safeguards. Ap. 6. Safety Features of water reactor. Pergamon Press, 1962.

- (7) Dinunno, *et al.* Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor sites. TID-14844, 1962.
- (8) Rassmussen. An assessment of Accident Risk in U. S. Commercial Nuclear Power Plants. WASH-1400, 1975.
- (9) Siddall. Statistical Analysis of Reactor Safety Standards. *Nucleonics*, 17 (2), 1959.
- (10) Farmer and Beattie. Siting Criteria. A new Approach. SM 89/34. IAEA 1967.
- (11) Birkhoffer, *et al.* German Risk Studie-Main Report. A Study of the Risk Due to Accidents in Nuclear Power Plants. EPRI-NP-1804-SR. EPRI, 1981.
- (12) USAEC. Division of Civilian Applications. Theoretical Possibilities and consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants. WASH-740, 1957.
- (13) Torgerson. Source Terms: Evaluating New Informations. NEA News Letter. Fall, 1985.
- (14) OECD-NEA. Nuclear Reactor Accident. Source Terms. Group of Experts, 1986.
- (15) NUREG-1150. Reactor Risk Reference Document (Draft). USNRC, 1987.
- (16) IAEA. Source Term Evaluation for Accident Conditions. Proceeding of a Symposium. Vienna, 1986.
- (17) Bayer, *et al.* The German Risk Study: Accident Consequence Model and Results of the Study. *Nuclear Technology*, vol. 59, oct., 1982.
- (18) Commission of the European Communities. The CEC Program on Accident Consequence Assessment. SEM 2/Rome 3/88.

EDUARDO GONZALEZ GOMEZ

VICEPRESIDENTE DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Es para mí muy agradable estar en Barcelona hoy, con motivo de la Clausura de esta Conferencia, que ha resultado sumamente interesante, tanto por el contenido de los trabajos presentados como por la participación de países del Area Mediterránea, hasta un número de trece.

Del resumen inicialmente presentado se ha podido llegar a la conclusión de que los trabajos que se llevan a cabo en esta región para controlar el impacto ambiental de actividades radiactivas, no resultan suficientes, sobre todo y especialmente desde el último accidente de Chernobil. En este sentido, es necesario que seamos conscientes de que hay que seguir profundizando en esta línea, teniendo en cuenta que, en muchas ocasiones, el interés científico es superior al radiológico o de impacto de dichas radiaciones sobre el medio vivo y sobre las personas en general. Considero que estas Jornadas son absolutamente pertinentes por dos razones: la primera, porque el conjunto de las actividades que producen radiaciones ionizantes es cada vez mayor en el mundo industrializado en toda Europa y, aunque la parte sur del Mediterráneo no haya alcanzado aún estas cotas de actividad, sí es cierto que van creciendo, con planes de, en algún mo-



Eduardo González

mento, instalar centrales nucleares, por lo que es necesario tener un mayor control del medio ambiente. Por otro lado, el accidente de Chernobil marca una nueva era en cuanto a la información, cuya demanda, por parte

de la opinión pública, es cada vez mayor. A esto debemos atender, por un lado, los científicos y técnicos, y por otro, las administraciones y responsables políticos, de manera que esta información permita tener un conocimiento lo más objetivo posible de la realidad del medio ambiente y de los efectos de las radiaciones ionizantes. El Mediterráneo es un mar cantado largamente por los poetas, ha sido fuente de vida y de riqueza para todas sus costas y su historia está marcada por sus ciudades, entre ellas Barcelona, que siempre ha estado preocupada por el Mare Nostrum.

En el terreno medioambiental es importante señalar el Protocolo firmado en 1976, llamado Convenio de Barcelona, que planteaba la problemática del Mediterráneo como mar contaminado, como mar interior cerrado que es necesario proteger.

El Protocolo de Atenas -otra ciudad del Mediterráneo- de 1980 plantea no solamente el aspecto de la polución en general; en él se señala también que no deberá contaminarse el mar con sustancias radiactivas, incluidos sus desechos, si las descargas de las mismas no se realizan de conformidad con los principios de protección contra radiaciones, definidos por las Organizaciones Internacionales competentes y teniendo en cuenta la protección del medio marino.

En este sentido, hay que considerar dos aspectos de la contaminación por sustancias radiactivas. En primer lugar, el alcance internacional de una posible contaminación, y en segundo, que los estudios sobre contaminación han de realizarse siempre de forma global, en lo relativo al conjunto de actividades potencialmente contaminantes. Los estudios de ordenación del territorio son imprescindibles para que este efecto global sea estudiado.

Para el Consejo de Seguridad Nuclear español, dos son los campos fundamentales de actuación para hacer frente a las actividades radiactivas; los niveles internacional y nacional. En el primero, la colaboración entre países en el marco de organizaciones internacionales, como el Organismo Internacional de Energía Atómica, con su laboratorio de Mónaco, la OCDE y la Comunidad Europea, en cuyo marco el EURATOM prevé la creación de diversos comités para actividades de protección radiológica. Entre ellos, el Comité del Artículo 37 se ocupa del control directo de los efluentes. Su labor ha sido tremendamente positiva, y España, al haberse unido a la CEE en el año ochenta, participa en todas estas actividades.

Hay que resaltar también el Convenio de Londres sobre vertidos en el mar, que específicamente ha tomado la de-

cisión de no verter desechos en el Mediterráneo.

La responsabilidad del control adecuado sigue estando, sin embargo, en las autoridades nacionales, por lo que hay que hacer todos los esfuerzos necesarios para, por un lado, evitar las contaminaciones accidentales, y, por otro, controlar y mantener bajo mínimos los efluentes rutinarios.

Hay que tener en cuenta que los esfuerzos que se realizan en seguridad nuclear tienen como principal objetivo evitar las contaminaciones accidentales. En este sentido, la mayor incidencia del accidente de Chernobil ha sido la medioambiental, aparte de la puramente económica sobre la instalación, lo cual nos hace trabajar cada día más, como se ha señalado a lo largo de estas Jornadas, especialmente en el análisis de los accidentes severos. Desgraciadamente, la posibilidad, aunque remota, de un accidente grave en las centrales nucleares existe y es preciso profundizar en su conocimiento para conseguir evitarlo.

El impacto radiológico en los océanos, en su conjunto, es mucho mayor debido al efecto de las pruebas nucleares que a estas actividades civiles, como también hemos visto en estas conferencias. En el estudio de la UNESCO

de 1976 "La Salud de los Océanos" se señalaba que, en los de nuestro planeta, se preveía, para el año 2000, del orden de 10^9 curios de radiactividad artificial, fundamentalmente tritio, a causa de la contaminación producida por pruebas nucleares. Sin embargo, el nivel natural de potasio 40 es del orden de 10^{11} en los océanos.

Hay que entender que la operación normal de las instalaciones nucleares, controlada dentro de las normas establecidas por las Comisiones Internacionales de Protección Radiológica, tiene un efecto limitado, mientras que el impacto de los accidentes es el que debemos afrontar de manera permanente.

En España, en este campo, el CSN controla la operación de las centrales nucleares con normas muy estrictas. Por otro lado, los programas de vigilancia radiológica ambiental permiten conocer el impacto real de las instalaciones, coordinando el Consejo de Seguridad Nuclear las actividades de las Comunidades Autónomas, del CIE-MAT, dependiente del Ministerio de Industria, del CEDEX, organismo del Ministerio de Obras Públicas, así como de distintas Universidades. Asimismo, se controlan las zonas de impacto alrededor de las instalaciones nucleares

y los cauces hidráulicos en su totalidad.

Chernobil ha puesto de manifiesto que debemos mejorar las medidas ambientales generales del país, y, para ello, el Consejo de Seguridad Nuclear ha diseñado un programa, llamado REVIRA (Red de Vigilancia Radiológica Ambiental), existiendo igualmente el proyecto de elaborar un mapa radiológico de la Península Ibérica.

Estas actividades nos permiten confiar razonablemente en que el comportamiento de las instalaciones españolas está dentro de los márgenes establecidos por la Comunidad Internacional.

No quiero alargarme más. Deseo agradecer a la Generalitat de Catalunya, al Ayuntamiento de Barcelona, a la Sociedad Nuclear Europea y a la Sociedad Nuclear Española la organización de esta Conferencia que esperamos se repita, de manera que se consolide una mayor coordinación en el área del Mediterráneo en los estudios sobre radiactividad ambiental.

Creo que es necesario alentar a los investigadores, a veces muy desvalidos, para que continúen con su labor y sigan logrando un mejor conocimiento del Mediterráneo que nos permita proteger mejor al público y la vida que le rodea.

La Técnica de la Microfilmación

- Microfilm convencional: técnico y administrativo
- 16 mm, 35 mm, 105 mm
- Sistema CAR
- Copias: 16 mm, 35 mm, 105 mm
- Reproducciones
- Tratamiento de la documentación
- Consulting y asesoramiento de equipos
- Distribuidores de Kodak



REFERENCIAS

Central Nuclear Almaraz • Central Nuclear Ascó • Central Nuclear Trillo • Central Nuclear Valdecaballeros • Construcciones y Contratas • Dragados y Construcciones • Empresa Nacional de Electricidad • Empresa Nacional del Uranio • Empresarios Agrupados SAE • Hidroeléctrica Española • Initec • Intecsa • Técnicas Reunidas • Unión Eléctrica Fenosa • etc.

INFRA S.A.
Servicio de Microfilmación-Consumibles.