

LA LLEGADA DE LA NUBE RADIATIVA PROCEDENTE DE CHERNOBIL SOBRE EL AREA METROPOLITANA DE BARCELONA

M. LLAURADO - M. VIDAL - J. TENT - G. RAURET

A consecuencia del accidente de la central nuclear de Chernobil se emitieron a la atmósfera durante varios días aerosoles radiactivos de distinta composición química y tamaño. La variedad de estos aerosoles fue debida a diversas causas si bien la más importante fue la temperatura que tenía la fuente en el momento de la emisión. Como es bien sabido, las condiciones meteorológicas reinantes a lo largo del período que duró la emisión hicieron seguir diferentes trayectorias a la nube radiativa, provocando una contaminación muy variable en gran parte del hemisferio norte. El tamaño de la partícula jugó un papel primordial en las distancias recorridas y así las de mayor tamaño se quedaron a distancias cortas en tanto que los aerosoles de menor tamaño recorrieron mayores distancias. Si bien las condiciones meteorológicas jugaron a nuestro favor y España se vio muy poco afectada por las emisiones debidas al accidente, en la zona oriental de la península se detectaron actividades medibles los días que siguieron al mismo.

El desconocimiento inicial de la importancia de la deposición debida a los aerosoles radiactivos llevó a que en un primer momento se prestara más atención a la medida de los niveles de actividad en los alimentos, en especial en los vegetales —por tratarse del primer eslabón de la cadena alimentaria—, en las aguas de bebida y en la leche por la importancia que tienen en la dieta y su repercusión en la dosis total recibida por el hombre, que a la medida de la actividad de los aerosoles captados. El Servei de Coordinació de Activitats Radiactives, organismo que en Cataluña tiene encomendado la vigilancia radiológica ambiental, hizo una amplia toma de muestra para conocer el estado de la cuestión y saturó de muestras de muy

diversos materiales a los laboratorios de nuestra universidad y los de la Universitat Politècnica de Catalunya. Los resultados obtenidos fueron publicados por X. Ortega y col. (1) en el Congreso Nacional de Protección Radiológica, por Fortuny y col. (2) en el IV Symposium International de Radioecologie y por Rauret y col. (3). En los trabajos publicados se observaba que la deposición era muy variable según la zona geográfica y que los vegetales de hoja ancha mostraban niveles más altos de actividad. También se estudió el efecto que el lavado de los vegetales tenía sobre su actividad y, por tanto, sobre la dosis, observándose disminuciones importantes de hasta un 80% en el cesio y de un 50% en el iodo.

MEDIDA DE LA CONTAMINACION EN AGUA DE LLUVIA

Al mismo tiempo que las determinaciones en muestras alimentarias se midió la actividad de las principales vías de incorporación de los radionucleidos presentes en la nube radiativa procedente de Chernobil. Así pues, se analizó el agua de lluvia responsable de la deposición húmeda si bien sólo se dispuso de muestras de interés en dos ocasiones, el 2 de mayo y el 29 de mayo de 1986. Las actividades medidas en estas muestras para ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I y ^{103}Ru se dan en la tabla I. En ella se observa que los valores obtenidos a finales de mayo son extremadamente bajos y que los observados el día 2, si bien son muy superiores, pueden considerarse también bajos si se comparan con los medidos en otros puntos de Europa como Mónaco o Saclay (4,5), en donde se midieron para ^{131}I

M. LLAURADO, M. VIDAL, J. TENT y G. RAURET pertenecen al Laboratorio de Radiología Ambiental del Departamento de Química Analítica de la Universidad de Barcelona y trabajan en temas radiológicos con el Institut d'Estudis Catalans.

T I

ACTIVIDADES EN AGUA DE LLUVIA EN BARCELONA

Fecha de recogida	Radionucleido	Actividad, Bq/l
2-5-1986	¹³⁴ Cs	10,7 ± 1,1
	¹³⁷ Cs	25,7 ± 2,2
	¹³¹ I	380,0 ± 16,0
	¹⁰³ Ru	35,4 ± 2,7
29-5-1986	¹³⁴ Cs	0,04 ± 0,01
	¹³⁷ Cs	0,06 ± 0,02
	¹³¹ I	0,53 ± 0,16
	¹⁰³ Ru	0,16 ± 0,06

T II

VALORES MEDIOS DE LA ACTIVIDAD DE ¹³¹I EN LA ATMOSFERA A PRINCIPIOS DE MAYO DE 1986

Lugar	Actividad, Bq/m ³	Referencia
Barcelona	4,5 × 10 ⁻²	—
Palma de Mallorca	1,6 × 10 ⁻²	10
Madrid	5,3 × 10 ⁻³	10
Palma de Mallorca	1,6 × 10 ⁻²	10
Almería (Palomares)	14,1 × 10 ⁻²	10
Francia (Saclay)	18	7
Bélgica (Fleurus)	15	19
Bélgica (Kokajde)	3,6	18
Alemania (Hannover)	1,0	17
Dinamarca (Risø)	1,0	21

actividades de 7.517 Bq/m² y 1.300 Bq/l, respectivamente. Cuando se valora el impacto producido por la lluvia hay que considerar no sólo la actividad de la misma sino también la cantidad de lluvia medida que en Barcelona el 2 de mayo de 1986 no superó un litro por m², lo que hace que la incorporación de radionucleidos por esta vía sea prácticamente inapreciable.

MEDIDA DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Por lo que respecta a la medida de la actividad en la atmósfera hay que tener en cuenta que en ella se encontraban especies radiactivas tanto en forma gaseosa, en especial el ¹³¹I, como en forma particulada, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs y ¹⁰³Ru. Si bien todos ellos son emisores gamma y, por tanto, la técnica de medida óptima para todos ellos es la espectrometría gamma de alta resolución, que permite una cuantificación simultánea, los contaminantes gaseosos requieren una toma de muestra distinta de los que se hallan en forma de partículas. Así para medir la actividad de los radionucleidos en forma gaseosa acostumbra a utilizarse un cap-

tador de bajo volumen y un filtro de carbón activo en tanto que para medir la actividad de las formas particuladas se usa un captador de alto volumen y un filtro de fibra de vidrio o de acetato de celulosa. O sea, que para medir la radioactividad de estos radionucleidos se necesitaba realizar medidas independientes para cada tipo de muestra. La escasa infraestructura de que se disponía en el momento del accidente para realizar este tipo de medidas limitó la posibilidad de llevar a cabo un estudio más amplio de la contaminación atmosférica en especial de ¹³¹I, ya que su corto período de semidesintegración obligaba a realizar medidas en los días que siguieron al accidente en los cuales tal como hemos indicado había otras medidas que se consideraban prioritarias. De todos modos se disponen de algunas medidas realizadas antes y después del accidente a lo largo de los meses de abril y mayo en muestras captadas cerca de la CN de Vandellós y que pertenecen a las medidas que periódicamente nuestro laboratorio realiza por encargo del Servei de Coordinació de Activitats Radiatives de la Generalitat de Catalunya. Los valores de la actividad del ¹³¹I expresados en Bq/m³ y multiplicados por 10⁻² se representan en la figura I y en la tabla II se dan los valores medios de ¹³¹I en la atmósfera a

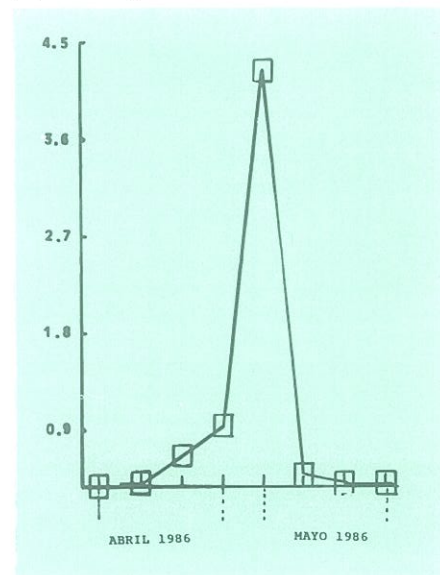
principios de mayo de 1986 en distintas zonas de España y distintos países europeos. En ella se observa que la actividad en la zona oriental de la Península Ibérica es de un orden de magnitud superior a la actividad medida en Madrid, pero que en cualquier caso los valores hallados en España son muy inferiores a los medidos en los otros países europeos.

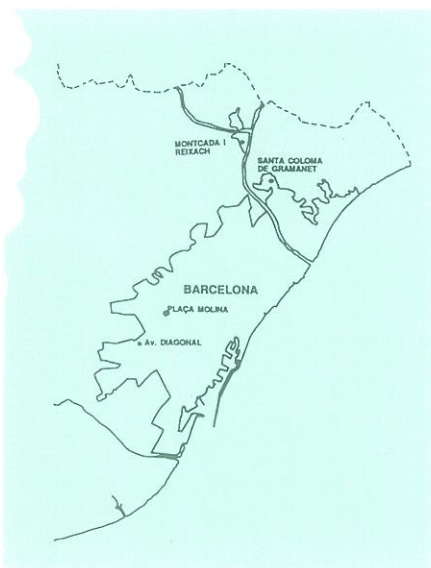
LA FECHA DE LLEGADA DE LA NUBE RADIATIVA

Algunos meses después de ocurrido el accidente de la CN de Chernobyl tuvimos acceso a muestras de aerosoles atmosféricos captados en el área metropolitana de Barcelona. En la figura II se muestran los puntos donde se realizaron la toma de muestra de estos aerosoles, dos de ellos estaban situados en la ciudad (Avenida Diagonal y Plaza Molina) y otros dos en dos localidades cercanas a Barcelona (Santa Coloma de Gramanet y Montcada y Reixach). Las muestras fueron tomadas durante un tiempo de 24 horas y el volumen de aire muestreado en cada caso fue de alrededor 1.000 m³. Estas muestras de materia particulada, excepto las captadas en la Avenida Diagonal, habían sido tomadas con objeto de medir la contaminación por compuestos químicos en el área metropolitana de Barcelona, pero se mostraron de gran utilidad para determinar la fecha exacta de llegada de la nube radiactiva sobre nuestra ciudad.

Dado el tiempo transcurrido desde que se había realizado la toma de muestras no fue posible medir la presencia de ¹³¹I en la mayoría de las mismas.

FI Valores de la actividad de ¹³¹I en aire (Bq/m³ × 10⁻²).





F II Puntos de toma de muestra.

Además hay que tener en cuenta que la toma de muestra se había realizado para captar material particulado utilizando filtros de fibra de vidrio y de membrana de acetato de celulosa que no son los adecuados para la toma de muestra de yodo, ya que la mayor parte del ^{131}I procedente de la CN de Chernobil se encontraba en forma gaseosa. Estudios realizados por otros autores (6, 7, 8) muestran que la actividad de ^{131}I en forma gaseosa era aproximadamente 2 ó 3 veces mayor que la actividad de yodo en forma particulada. Los bajos niveles de actividad a determinar recomendaron en primer lugar optimizar el procedimiento de medida para tener una máxima fiabilidad de los resultados obtenidos (9). En

T III
VALORES DE ACTIVIDAD DE ^{134}Cs , ^{137}Cs Y ^{131}I EN LOS FILTROS DE AEROSOLIOS ATMOSFÉRICOS RECOLECTADOS EN LA AVENIDA DIAGONAL ($\text{mBq}/\text{m}^2 \pm 2\sigma$)

Fecha	^{134}Cs	^{137}Cs	^{131}I
06-05-86	$0,14 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,06$
08-05-86	$0,27 \pm 0,05$	$0,76 \pm 0,11$	$1,59 \pm 0,08$
15-05-86	$0,38 \pm 0,09$	$1,06 \pm 0,16$	$1,60 \pm 0,18$
11-06-86	$0,08 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,07$	$0,09 \pm 0,03$
07-07-86	$0,10$	$0,10 \pm 0,05$	$< 0,16$
08-07-86	$< 0,05$	$< 0,06$	$< 0,06$
14-07-86	$< 0,04$	$< 0,06$	$< 0,81$
19-02-87	$< 0,04$	$< 0,01$	$0,11 \pm 0,03$
27-05-87	$< 0,01$	$< 0,02$	$< 0,02$
28-05-87	$< 0,01$	$< 0,1$	$0,40 \pm 0,10$
02-06-87	$< 0,01$	$< 0,10$	$< 0,10$
11-06-87	$< 0,01$	$< 0,10$	$< 0,10$
12-06-87	$< 0,01$	$< 0,03$	$< 0,04$
16-06-87	$< 0,01$	$< 0,01$	$< 0,07$

la tabla III se dan los resultados de actividad correspondientes a ^{134}Cs , ^{137}Cs y ^{131}I de los aerosoles atmosféricos captados en la avenida Diagonal. En la tabla IV se dan los resultados de actividad correspondientes a ^{134}Cs y ^{137}Cs de los aerosoles atmosféricos colectados en la Plaza Molina, Santa Coloma de Gramanet y Montcada y Reixach.

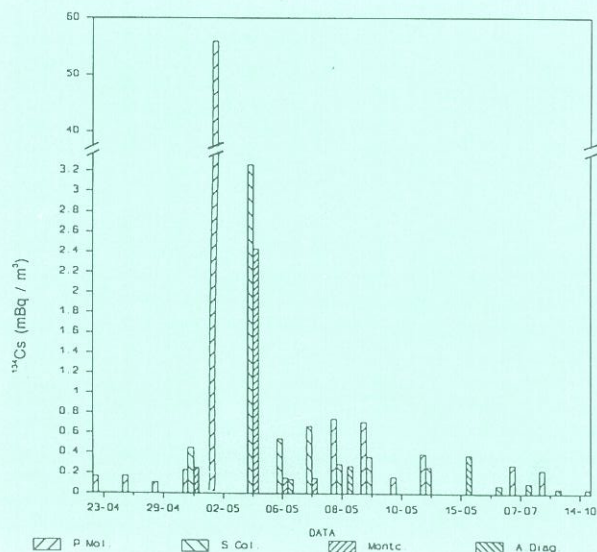
Los resultados obtenidos están de acuerdo con los publicados por el CIE-MAT-PRYMA (10) en esta zona del litoral mediterráneo y con los resultados obtenidos por el Institut de Tècniques Energètiques de la Universitat Politècnica de Catalunya (1).

En las figuras III y IV se representan los valores de actividad del ^{134}Cs y ^{137}Cs en

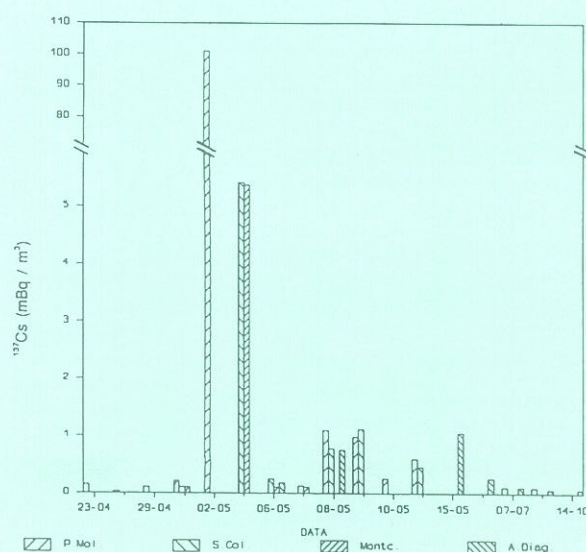
las muestras estudiadas en función del día de toma de muestra. Se observa un claro incremento de la actividad a partir del día 30 de abril de 1986 observándose un pico de actividad durante la primera semana del mes de mayo y otro pico, menos importante, a mediados del mes de mayo. Este incremento es más claro en aquellos puntos en los cuales se tuvo más datos durante este período. Estos resultados están de acuerdo con los estudios realizados por otros autores (11, 12) los cuales aplican modelos Langrangianos para estudiar la trayectoria de la nube radiactiva procedente de Chernobil.

En la tabla V se dan los resultados de las actividades de ^{134}Cs , ^{137}Cs y ^{131}I medidos

F III Valores de actividad de ^{134}Cs en aerosoles atmosféricos en función del día de toma de muestra.



F IV Valores de actividad de ^{137}Cs en aerosoles atmosféricos en función del día de toma de muestra.



en diferentes puntos del hemisferio norte durante el mes de mayo de 1986.

CONCLUSIONES

En base a las medidas realizadas se puede concluir que el impacto radiológico del accidente de la CN de Chernobil en el área metropolitana de Barcelona fue negligible comparado con el resto de Europa.

A pesar que medidas realizadas fueron pocas se observó la aparición de dos picos de actividad de radiocesio durante el mes de mayo al igual que en el resto de países europeos. La llegada de la nube radiactiva se detectó los días 30 de abril y 1 de mayo, obteniéndose los valores máximos de radiactividad en el aire los días 4 y 5 de mayo. Hacia el 20 de mayo se observó la llegada de otra masa de aire contaminado sobre el litoral mediterráneo de menor intensidad que la primera.

El intervalo de la relación $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ en las medidas realizadas es 0,30-1,10, con un valor medio igual a $0,57 \pm 0,23$ ($\pm$ un vez la desviación estándar). Estos intervalos están de acuerdo con los obtenidos por otros autores (2, 13-15).

REFERENCIAS

- ORTEGA, X., y VALLES, I. *Contribución a la determinación del impacto radiológico en Cataluña originado por el accidente de Chernobil*. II Congreso Nacional de Protección Radiológica. Toledo (SPAIN), 1987.
- DE FORTUNY, J., BATALLA, E., MASALLES, I., y ROVIRA, A. *La Surveillance des niveaux de Radioactivité dans l'environnement de la Catalogne apres l'accident de la centrale nucleaire de Tchernobyl*. IV Symposium International de Radioecologie de Cadarache. Tome 1, B51-B63, Cadarache (FRANCE), 1988.
- RAURET, G., LLAURADO, M., y GINJAUME, M. *Estudi de l'impacte ambiental en cas d'accident nuclear: cas de Txernobyl a Catalunya*. Butll. Soc. Cat. Ciènc., X, 333-347, 1990.
- BALLESTRA, S. B., HOLM, E., WALTON, A., y WHITEHEAD, N. E. *Fallout deposition at Monaco following the Chernobyl accident*. Seminar.

5. DCENS/SPR/86-272 JULLIET 1986. *Impact des retombées radioactives en provenance de Tchernobyl sur le site de Saclay*.

6. SCHELL, W. R., ROSEN, J., STROM, D., and YUSKO, J. *Fallout from Chernobyl in Western Pennsylvania*. Annual Health

T IV

VALORES DE ACTIVIDAD DE ^{134}Cs Y ^{137}Cs EN LOS FILTROS DE AEROSOL ATMOSFERICOS RECOLECTADOS EN PLAÇA MOLINA, SANTA COLOMA DE GRAMANET Y MONTCADA I REIXACH ($\text{mBq/m}^3 \pm 2\sigma$)

Fecha	^{134}Cs	^{137}Cs
Plaça Molina		
23-04-86	$< 0,16$	$< 0,15$
24-04-86	$< 0,17$	$< 0,03$
29-04-86	$< 0,11$	$< 0,10$
30-04-86	$0,23 \pm 0,14$	$0,21 \pm 0,10$
02-05-86	$55,9 \pm 0,61$	$101,0 \pm 0,61$
08-05-86	$0,74 \pm 0,13$	$1,10 \pm 0,07$
09-05-86	$0,71 \pm 0,17$	$0,98 \pm 0,12$
10-05-86	$0,16 \pm 0,14$	$0,26 \pm 0,09$
12-05-86	$0,39 \pm 0,15$	$0,60 \pm 0,11$
07-07-86	$< 0,28$	$< 0,11$
08-07-86	$< 0,23$	$< 0,09$
Santa Coloma de Gramanet		
30-04-86	$< 0,45$	$< 0,11$
05-05-86	$3,26 \pm 0,66$	$5,41 \pm 0,35$
06-05-86	$< 0,54$	$< 0,25$
07-05-86	$< 0,67$	$< 0,13$
08-05-86	$< 0,29$	$0,78 \pm 0,14$
09-05-86	$0,36 \pm 0,24$	$1,20 \pm 0,16$
12-05-86	$< 0,26$	$0,46 \pm 0,28$
Montcada i Reixach		
30-04-86	$< 0,25$	$< 0,10$
05-05-86	$2,43 \pm 0,31$	$5,36 \pm 0,21$
06-05-86	$< 0,15$	$< 0,10$
07-05-86	$< 0,15$	$< 0,11$

T V

VALORES DE ACTIVIDAD DE ^{137}Cs , ^{134}Cs Y ^{131}I EN DIFERENTES PUNTOS DEL HEMISFERIO NORTE MEDIDOS EN MAYO DE 1986, mBq/m^3

Lugar	Fecha	^{137}Cs	^{134}Cs	^{131}I	Ref.
Canadá	10-14/5	4-8	—	—	(16)
Pensilvania	09-10/5	63	33	28	(6)
Hannover	—	100-200	—	1.000-1.200	(17)
Mol	2-5/5	3.600	1.900	7.800	(18)
Fleurus	2/5	3.330	2.030	6.840	(19)
Nice	—	734	320	759	(20)
Riso	3-7/5	400	—	600	(21)
Praga	5/5	< 300	—	—	(22)
Barcelona	28/4-5/5	18	8	22	(1)
Barcelona	30/4-5/5	0,18-101	0,08-55,9	0,09-1,59	
U.S.	9-10/5	2-8	—	10-20	(13)
U.K.	—	1.200-6.900	—	—	(14)
Catalunya	—	—	—	250	(2)

Conference Pennsylvania Public Health Association, *Working together for Public Health*. Sheraton Penn State, State College, Pennsylvania. October 9-10, 1986.

7. DEWELL, L., TOVEDAL, H., BERGSTROM, V., APPELGREN, A., CHYSSLER,

J., et ADERSSON L. *Initial Observations of Fallout from the Accident at Chernobyl*. Nature 321, 192-3, 1986.

8. AOYAMA, M., HIROSE, K., SUZUKI, Y., INOVE, H., et SUGIMURA, Y. Nature 321, 819 (1986).

9. RAURET, G., LLAURADO, M., VIDAL, M., y TENT, J. *Determinación de radionucleidos emisores gamma por espectrometría gamma de alta resolución en muestras ambientales y alimentarias*. Química Analítica pendiente de publicación.

10. CIEMAT/PRYMA/01/86. Informe sobre la actuación del CIEMAT-JEN en el seguimiento del impacto radiológico producido en España como consecuencia del accidente de la CN de Tchernobyl. Ministerio de Industria y Energía. Centro de Investigación Energética Medioambiental y Tecnológica. J.E.N., julio 1986.

11. APSIMON, H. M., WILSON, J. J. N., and SIMMS, K. L. *Analysis of the dispersal and deposition of radionuclides from Chernobyl across Europe*. Proc. R. Soc. Lond. A, 425, pp. 365-405, 1989.

12. DELEEuw, F., VAN AALST, R., and VAN DUP, H. *Modeling of Transport and Deposition over Europe of Radionuclides from Chernobyl Accident*. 16th International Technical Meeting of Air Pollution and its Applications. Lindau, FRG, 6-10 April, 1987.

13. RUSSEL JUZDAN, Z., FEELY, H., KLUSEK, C. S., LARSEN, R., and LEIFER,

R. *Fallout in the United States of radioactivity following the Chernobyl accident*. IV Symposium International de Radioecologie de Cadarache. Tome 1, B1-B17, Cadarache, 1988 (FRANCE).

14. GARLAND, J. A., and CAMBRAY, R. S. *Deposition, resuspension and the long-term variation of airborne radioactivity from Chernobyl*. IV Symposium International de Radioecologie de Cadarache. Tome 1, B26-B34. Cadarache, 1988 (FRANCE).

15. JOSHI, S. R. *Chernobyl radioactivity in Canada: Characteristics and transport*. Panel Discussion on the Impact of the Chernobyl Accident on the Environment, Seminar on the Cycling of Long-lived Radionuclides in the Biosphere: Observations and Models. Madrid, September, 1986.

16. ROY, J. C., CÔTE, J. E., MAHFOUD, A., VILLENEUVE, S., and TURCOTTE, J. *On the Transport of Chernobyl Radioactivity to Eastern Canada*. J. Environ. Radioactivity, 6, 121-130, 1988.

17. KÜHN, W., BUNNENBERG, C., HANDL, J., and TÖSCHNER, M. *Radioecological Analyses following the Chernobyl Accident*. Seminar on the cycling

of long-lived radionuclides in the biosphere: observations and models. CEN/JEN. Madrid, 1986.

18. HURTGEN, C., VYNCKIERD, J., and col. *Accident of Chernobyl. Report of measurements from 1 to 31 May 1986*. Working document 86-675, SCK/CEN, Mol 1986.

19. DEBANACHE, A. *Accident Tchernobyl. Résultats des Mesures*. Document de travail-21 May 1986. IRE Institut National des Radioelements. I.R.E. B6220 Fleurus.

20. BARCI-FUNEL, G., DALMASSO, J., and ARDINSSON, G. *Radioactive Pollution in the Nice Region after Tchernobyl Accident*. Pollution Atmosphérique, 94-95, Janvier-Mars 1989.

21. AARKROG, A. *Preliminary conclusions to be drawn from the studies of Chernobyl debris in Denmark*. Riso National Laboratory, DK 4000 Roskilde, Denmark 1986.

22. DRABOVA, D. *Comunicació personal*. 2nd. International Summer School, Low-Level Measurements of Man-Made Radionuclides in the Environment. La Rábida, Huelva, Spain. Junio-Julio, 1990.