

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1984

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad
Departamento Protección Radiológica

IMPACTO RADIOLOGICO DEL PROGRAMA NUCLEAR ARGENTINO
E. Palacios, J.M. Campos, T.L. Escribano, E.A. Grassi

1. INTRODUCCION

Las actividades del ciclo de combustible nuclear argentino fueron iniciadas en la década del 50, con la extracción y tratamiento de mineral de uranio y con las tareas de investigación y desarrollo.

En 1974 fue puesta en funcionamiento la primera central nuclear de potencia y en 1980 se inició la fabricación de elementos combustibles en escala industrial. Actualmente se hallan en estado avanzado de construcción diversas instalaciones del ciclo de combustible, tal como la segunda central nuclear de potencia y una planta de reprocesamiento. El programa nuclear argentino prevé la puesta en funcionamiento de seis centrales nucleoelectricas para 1997, integrando una potencia instalada de 3,5 GW(e).

En este trabajo se realiza una evaluación del impacto radiológico del ciclo de combustible nuclear argentino tomando como base la dosis equivalente efectiva colectiva comprometida (en adelante dosis colectiva comprometida) por unidad de práctica en cada una de las etapas llevadas a cabo hasta el presente y los requerimientos de diseño introducidos por la autoridad regulatoria en los últimos años.

El impacto radiológico fue evaluado considerando la contribución de los trabajadores ocupacionalmente expuestos, de la población local en las inmediaciones de las instalaciones involucradas en el ciclo combustible, de la población regional y de la población mundial.

2. DOSIS OCUPACIONAL

Se evaluaron las dosis individuales y las dosis colectivas debidas a cada actividad y se calculó, para cada operación relacionada con el ciclo de combustible, la dosis colectiva por unidad de energía nucleoelectrica generada.

El uranio extraído de los yacimientos argentinos hasta 1980 proviene de minas subterráneas y a cielo abierto. Tomando como concentración promedio de energía alfa potencial debida al ^{222}Rn y sus hijas de período de semidesintegración corto, los valores de $8 \cdot 10^{-3} \text{ J h/m}^3$ en minas subterráneas y de $4 \cdot 10^{-4} \text{ J h/m}^3$ en minas a cielo abierto, obtenidas de las mediciones respectivas, la dosis equivalente efectiva media anual resultante, debida a contaminación interna, fue de 24 mSv y de 1,2 mSv respectivamente (1) (2).

La tasa de dosis debida a radiación gamma medida en las minas subterráneas varió entre $2 \mu\text{Gy/h}$ en las galerías

y 50 $\mu\text{Gy/h}$ en los frentes de trabajo. La dosis equivalente efectiva media anual, considerando una geometría de irradiación de 3π y 2000 horas de trabajo por año, fue estimada en 6 mSv (12).

En las minas a cielo abierto la tasa de dosis medida osciló en torno de 1 $\mu\text{Gy/h}$. La dosis media anual para los trabajadores de estas minas fue de 2 mSv, considerando una relación entre dosis absorbida en aire y dosis equivalente efectiva igual a 0,7 y 2000 horas de trabajo por año.

Desde 1977 hasta 1979 la dosis colectiva por tonelada de U_3O_8 extraído (teniendo en cuenta incorporación e irradiación) se mantuvo alrededor de $7,5 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre. En 1980 dicho valor fue de $1,5 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre, dado que en abril de ese año la explotación en minas subterráneas fue suspendida y, como consecuencia, la dosis colectiva anual se redujo en un factor 5 con relación a los años anteriores. Si se considera que se necesitan 250 kg de U_3O_8 para producir un MW(e) año en la Central Nuclear Atucha, la contribución de la minería a la dosis colectiva por unidad de práctica para 1980 resultó ser $3,8 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e) año.

La dosis colectiva debida al tratamiento de mineral representó menos del 1% de la dosis correspondiente a la extracción de mineral de uranio. En el futuro se puede esperar que la dosis colectiva por unidad de práctica promedio, durante la extracción del mineral de uranio necesario para el programa nuclear, se mantenga alrededor de $2,5 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e) año.

La dosis media anual en los trabajadores dedicados a la fabricación de elementos combustibles fue de 0,27 mSv y la dosis colectiva anual de $2,6 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre. Considerando que un elemento combustible contiene 153 kg de uranio natural y que 213 kg de uranio natural produjeron, en promedio, 1 MW(e) año, la dosis colectiva por unidad de práctica en esta etapa del ciclo es $1,8 \cdot 10^{-4}$ Sv hombre/MW(e) año (10).

La energía nucleoelectrónica generada hasta el presente se debió exclusivamente al funcionamiento de la Central Nuclear Atucha. La dosis colectiva comprometida por unidad de práctica, calculada en base a la distribución logarítmico normal de dosis anuales fue de $4,2 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e) año (10) (Tabla 1). Este valor incluye una contribución importante de la capacitación y entrenamiento del personal y de las tareas de investigación y desarrollo llevadas a cabo en la propia central. La dosis colectiva comprometida debida al funcionamiento de la central exclusivamente fue estimada en $2,1 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e) año. Con la introducción de los requerimientos de optimización de la protección

radiológica en el diseño (7), es de esperar que la dosis colectiva comprometida promedio resultante de la generación de la energía nucleoelectrica no supere $1,2 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre /MW(e)año (1)(3)(10).

De acuerdo a estimaciones efectuadas por UNSCEAR en su informe de 1977, para el reprocesamiento de elementos combustibles irradiados, se puede esperar en esta etapa una dosis colectiva comprometida de $1,2 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año (3)(12).

Las operaciones de transporte de material radiactivo entre distintas instalaciones no ha sido calculada. De estimaciones realizadas por diferentes autores (12)(13) se deduce que tal contribución es muy pequeña, del orden de 10^{-5} Sv hombre/MW(e)año.

Al analizar las dosis ocupacionales en el ciclo de combustible es necesario considerar las tareas de capacitación y entrenamiento de personal así como también, las de investigación y desarrollo dedicados a servir a la industria nuclear. Para el período 1977-1980, la dosis colectiva comprometida por unidad de práctica fue estimada en $2,4 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año, habiendo sido el 90% de esas dosis, recibidas en la CN Atucha. Este valor irá disminuyendo en la medida que se incrementa la potencia nucleoelectrica instalada debiendo acercarse a un valor promedio de alrededor de $5 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e)año para fines del siglo.

Por lo expuesto, puede asumirse que la contribución de la dosis ocupacional en todo el ciclo de combustible será de aproximadamente $3,2 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año.

3. EXPOSICION DEBIDA A LA LIBERACION DE MATERIAL RADIATIVO AL AMBIENTE

3.1

Contribución local y regional a la dosis colectiva.

La contribución local y regional a la dosis colectiva depende fuertemente de parámetros locales, propios de cada una de las etapas del ciclo de combustible, tales como distribución de población, hábitos alimentarios, condiciones meteorológicas, etc.

La evaluación de la dosis colectiva debida a la extracción y molienda de uranio y fabricación de elementos combustibles presenta problemas especiales como consecuencia de los radionucleidos de muy largo período de semidesintegración involucrados (3). Los períodos de exposición de muchos

millones de años (para el ^{238}U el período de semi-desintegración es de $4,5 \cdot 10^9$ años) hacen que el cálculo de la dosis colectiva resulte incierto. No obstante, estimaciones realizadas por el INFCE (5) (9) relativas a las colas de la extracción de uranio recubiertas convenientemente, se supone que el radón emana de los residuos durante 10^3 años, período durante el cual las colas habrán sido erosionadas por los agentes meteorológicos. A partir de ese momento se supone que los desechos son transferidos al hombre por vía acuática (agua dulce o marina).

Las dosis colectivas comprometidas en este caso, son estimadas en 10^{-2} Sv hombre/MW(e)año para la emanación de radón y $0,37$ Sv hombre/MW(e)año para la vía acuática. Estimaciones realizadas por Ben-ninson (3) indican que el uranio de las industrias de extracción y molienda y la correspondiente emanación de radón causa una dosis colectiva comprometida de 1 Sv hombre/MW(e)año. Sin embargo los períodos de exposición son tan largos que el significado de la dosis colectiva comprometida es incierto. La dosis colectiva integrada para algunos miles de años para esta etapa del ciclo resulta mucho menor.

La dosis colectiva comprometida local y regional debida a la operación de centrales nucleares de potencia se debe principalmente a las descargas de gases nobles de fisión, tritio, gases de activación y a los nucleidos descargados con los efluentes líquidos. Considerando las descargas de material radiactivo de la CNA, la dosis colectiva comprometida, incluyendo la cadena acuática, resulta del orden de $5 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e)año, siendo la contribución de tritio, en este caso, del 80%.

La contribución de las plantas de reprocesamiento a la dosis colectiva comprometida local y regional es pequeña (11)(14). Algunas estimaciones prevén dosis de $2 \cdot 10^{-4}$ Sv hombre/MW(e)año debida principalmente a las cadenas acuáticas (3).

Las exposiciones al público durante el transporte entre instalaciones del ciclo de combustible contribuye en alrededor de 10^{-5} Sv hombre/MW(e)año (13).

3.2 Dosis colectiva debida a radionucleidos de distribución mundial.

Los radionucleidos de distribución mundial mas significativos son el ^{85}Kr , el ^3H y el ^{14}C . Estos radionucleidos de períodos de semidesintegración muy largos se dispersan rápidamente cuando son liberados al ambiente. El ^{129}I es también un radionucleido de distribución mundial pero debido a su largo período ($1,7 \cdot 10^7$ años), la mayor parte de su contribución a la dosis colectiva la realiza después del millón de años. La contribución en algunas decenas de miles de años es despreciable (3).

La dosis colectiva comprometida producida por el ^{85}Kr se debe casi exclusivamente a la emisión de plantas de reprocesamiento. Estimaciones realizadas para descargas ambientales indican una contribución del ^{85}Kr de $1,6 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e)año (3)(4).

El tritio se produce en los reactores nucleares por fisión ternaria y por reacciones de activación sobre el deuterio. La tasa de producción debida a la fisión se ha estimado en alrededor de 20Ci/MW(e)año (11). La contribución adicional debida a las reacciones de activación en los reactores HWR es de 130%. La contribución del tritio a la dosis colectiva comprometida fue evaluada en alrededor de $1 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e)año (3).

El carbono-14 se produce en los HWR por reacciones (n,α) con el ^{17}O presente en el combustible en forma de óxido y en el moderador, por reacciones (n,p) con el ^{14}N presente como impurezas en el combustible y por fisión ternaria. La producción de ^{14}C fue estimada para los reactores HWR en $0,46 \text{ Ci/MW(e)año}$ para los de recipiente a presión y en $0,42 \text{ Ci/MW(e)año}$ en los tipo CANDU (6), siendo el 90 % y el 95 % respectivamente producidos en el moderador. La norma CALIN 3.1.2 (8) dictada por la autoridad regulatoria argentina establece que la dosis colectiva comprometida debida a la generación de energía nucleoelectrica no debe exceder $1,5 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año. Asimismo, la autoridad impuso para la tercera central nuclear en construcción, un factor de reducción de las descargas de carbono-14 de alrededor de 50 con lo cual la dosis colectiva comprometida por unidad de práctica esperada es de $7 \cdot 10^{-3}$ Sv hombre/MW(e)año (6).

4. CONCLUSIONES

La contribución a la dosis colectiva comprometida es aproximadamente $3,2 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año debida a la exposición ocupacional y de alrededor de $2,5 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año (valor integrado sobre mil años) como contribución de la exposición del público (Tabla 2). El valor de $2,5 \cdot 10^{-2}$ Sv hombre/MW(e)año es cuatro veces menor que el estimado para los programas nucleares llevados a cabo por diversos países. Esto se debe a las

limitaciones impuestas por la autoridad regulatoria con relación a las descargas de ^{14}C principalmente.

Teniendo en cuenta las centrales contempladas en el programa nuclear hasta 1997, funcionando durante 30 años cada una de ellas, la energía que producirían sería de alrededor de 85 GW(e)año. La dosis colectiva comprometida resultante es $4,8 \cdot 10^3$ Sv hombre lo que equivale a la dosis recibida por la población mundial durante 5 horas de exposición a la radiación natural.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que es sumamente probable que los avances tecnológicos futuros reducirán las descargas al ambiente y consecuentemente la dosis colectiva comprometida resultante. En este caso, los valores presentados en esta evaluación resultarían sobrestimados.

REFERENCIAS

1. Ashmore, J.P. and Grogan, D. Dose Statistics for Nuclear Fuel Cycle Workers in Canada. International Symposium on Occupational Radiation Exposure in Nuclear Fuel Cycle Facilities. Los Angeles, June 1979.
2. International Commission on Radiological Protection. Occupational Limits for Inhalation of Radon-222, Radon-220 and their Short-lived Daughters. Recommendation of the ICRP. (Final Draft, September 1980)
3. Beninson D.J. Impacto Radiológico de los Programas Nucleoeléctricos. Energía Nuclear (Argentina), n° 3, mayo-junio 1981.
4. Beninson, D. Population Doses Resulting from Radionuclides of Worldwide Distribution. Population Dose Evaluation and Standards for Man and his Environment (Proc)IAEA, Vienna (1974) 227-33.
5. Beninson D. and Migliori de Beninson A. Radiological Impact of Radioactive Waste Management. INFCE/DÉP/WG 7/18. CNEA-NT 8/81.
6. Beninson D.J. and González A.J. Application of the Dose Limitation System to the Control of Releases of Carbon-14 from Heavy Water Moderated Reactors. IAEA SM-258/53 1981.
7. CALIN Norma 3.1.1. Exposición Ocupacional. Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires. 1979
8. CALIN Norma 3.1.2. Limitación de Efluentes Radiactivos. Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires. 1979
9. International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE). Reports of Working Groups 1 to 8. IAEA, Vienna 1980.
10. Palacios E., Campos J.M. y Curti A. Dosis Debidas a la Exposición Ocupacional en la Comisión Nacional de Energía Atómica en el Período 1977-1980. CNEA NT-11/81. Buenos Aires. 1980
11. Scheidhauer, J. Ausset, R., Planet, J. et al. Programme de Surveillance de l'environnement Marin du Centre de La Hague, Population Dose Evaluation and Standards for Man and his Environment (Proc. Seminar Portoroz, 1974), IAEA, Vienna (1974)347-65.
12. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 Report to the General Assembly, with Annexes United Nations Sales Publication N° E.77.IX.I. New York, 1977.

13. United States Atomic Energy Commission, Environmental Survey of Transportation of Radioactive Materials to and from Nuclear Power Plants, USAEC Rep. WASH-1238 (1972).
- 14 Witherspoon, J.P. Population Exposures Estimates as Derived from an Environmental assessment of LWR fuel Cycle Facilities, Part 1: Population Doses from Operating Facilities, Population Exposures (Proc. Eighth Midyear Topical Symp. Knoxville, 1974), Health Phys. Soc. USAEC Rep. CONF-741018(1974) 191-98.

TABLA 1

DOSIS COLECTIVA OCUPACIONAL DABIDA A TAREAS RELACIONADAS CON
EL CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR EN LA CNEA ENTRE LOS AÑOS
1977 A 1980.

Año	Extracción y tratamiento de mineral	Fabricación de elementos combustibles	Generación de energía nucleoeléctrica	Investigación y desarrollo
(Dosis en Sv hombre/ MW (e) a)				
1977	$1.9 \cdot 10^{-2}$		$5.6 \cdot 10^{-2}$	$4.5 \cdot 10^{-3}$
1978	$2.0 \cdot 10^{-2}$		$2.2 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$
1979	$1.8 \cdot 10^{-2}$		$3.2 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$
1980	$0.4 \cdot 10^{-2}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$
Promedio	$1.6 \cdot 10^{-2}$		$4.3 \cdot 10^{-2}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$

TABLA 2

DOSIS COLECTIVA COMPROMETIDA INCOMPLETA DEBIDA A LAS ACTIVIDADES DEL CICLO DE COMBUSTIBLE PARA EL PROGRAMA MOCLEAR

(Dosis Colectiva en Sv hombre/MW(e)año)

	Local y Regional	Mundial	Ocupacional
Extracción y tratamiento del mineral de uranio	10^{-2}	---	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Fabricación de elementos combustibles	$3 \cdot 10^{-5}$	---	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Generación de energía	$5 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Reprocesamiento de elementos combustibles	$2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Investigación y desarrollo	---	---	$5,0 \cdot 10^{-3}$
	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$