

Las Protección Radiológica en 2010

14 de abril de 2011

Lucila M^a Ramos
Consejo de Seguridad Nuclear



ÍNDICE DE CONTENIDOS

01. Origen y antecedentes

02. Características principales

03. Estimación de las dosis

04. Estudio de mortalidad

05. Conclusiones y valoración

01 | Introducción



Antecedentes y referencias:

- Estudios anteriores en España. Limitaciones / Demanda social
- Estudios en otros países y organismos internacionales

Mandato del Parlamento al Gobierno (14.10.04):

- Realizar nuevo **estudio epidemiológico** en las zonas donde existen instalaciones nucleares y sus áreas de influencia
- Introducir valoración de exposición radiológica de población
- Que se garantice la **independencia y máxima transparencia**

Acuerdo colaboración Instituto Salud Carlos III y CSN:

- Objetivo: realizar estudio epidemiológico, introduciendo indicador representativo de exposición radiológica de la población
- Se inicio en abril 2006 y concluye a finales 2009
- Resultados se presentan a Parlamento y p ublico en 2010

Comité consultivo independiente

(A autoridades, organizaciones municipales, sindicales, compañías propietarias de instalaciones, organizaciones ecologistas y 6 expertos independientes)

02 | Características generales



Alcance geográfico:

- Todas centrales nucleares e instalaciones del ciclo combustible nuclear. Poblaciones entorno de 30 Km
- Municipios de referencia (equiparación socioeconómica) situados en áreas de 50 – 100 Km entorno a instalaciones
- Dos zonas no afectadas por instalaciones y con diferente exposición a radiación natural
- Total más de **1100** municipios

Período de estudio: inicio de operación hasta 2003

Efecto estudiado:

- Mortalidad por cáncer (17 tipos diferentes) en función de historia de exposición de poblaciones
- Amplio espectro y diferente radioinducibilidad: reto para el estudio

02 | Características generales



Instalación	Comienzo	Localización
Centrales nucleares		
José Cabrera	1968	Guadalajara
Santa M ^a de Garoña	1971	Burgos
Vandellós I	1972	Tarragona
Almaraz, Unidad I	1981	Cáceres
Almaraz, Unidad II	1982	Cáceres
Ascó, Unidad I	1983	Tarragona
Cofrentes	1984	Valencia
Ascó, Unidad II	1985	Tarragona
Vandellós II	1987	Tarragona
Trillo, Unidad I	1988	Guadalajara
Instalaciones del ciclo del combustible		
Fábrica de concentrados de uranio de Andújar	1959	Andújar (Jaén)
Instalación de almacenamiento de residuos de media/baja actividad de Sierra Albarrana (El Cabril)	1993	Hornachuelos (Córdoba)
Planta Lobo-G de tratamiento de minerales de uranio de La Haba	1977	La Haba (Badajoz)
Planta Elefante de fabricación de concentrados de uranio	1978	Saelices el Chico (Salamanca)
Planta Quercus de fabricación de concentrados de uranio	1993	Saelices el Chico (Salamanca)
Fábrica de combustibles de óxido de uranio de Juzbado	1985	Juzbado (Salamanca)

02 | Características generales



Mapa de radiación gamma natural
 Delimitación de los entornos de radio 30, 50 y 100 km alrededor de las instalaciones.
 Áreas alejadas de las instalaciones, en las que se ha estudiado el efecto de la radiación natural.



Reconstrucción histórica de las dosis (CSN)

03.1 Estimación de dosis. Indicador de exposición

Objetivo

Estimar el **impacto radiológico** para la población asociado a **las emisiones** de las instalaciones, integrándolo con el impacto debido a la **radiación natural**

Selección de indicador de exposición

- Dosis efectiva

- Aspectos conceptuales. Parámetro promediador del impacto

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

- Doctrina Comisión Internacional de Protección Radiológica. Caso específico
- Ventajas e inconvenientes. Utilidad estudios de gran alcance
- Decisión: Reconstruir historial exposición mediante **Dosis efectiva estimada para individuo medio – representativo de cada municipio**

03.2 | Estimación de dosis. Alcance

Alcance de estimaciones

- **Áreas de estudio:** Todos los municipios situados en
 - **Área expuesta** (30 km alrededor de cada instalación)
Estimación de dosis debidas a los vertidos y a la radiación natural
 - **Área de control** (entre 50 y 100 km entorno instalaciones)
Estimación de las dosis debidas a la radiación natural
 - Dos zonas de 30 km de radio, una con elevada y otra con baja radiación natural
Estimación de las dosis debidas a la radiación natural
- **Período de estimaciones:** Desde el comienzo de la operación de cada instalación hasta el año 2003

03.3 | Estimación dosis radiación artificial. Metodología

- Estimación de dosis a población **no es viable un control dosimétrico directo**, como el realizado a los trabajadores expuestos a radiaciones
- No se utilizan resultados de los programas de vigilancia radiológica ambiental. Generalmente menores que límites de detección
- Es necesario **realizar estimaciones**
 - Se aplican modelos físico-matemáticos
Describen comportamiento contaminantes vertidos en ecosistemas
 - **Modelos ajustados a prácticas internacionales**
 - "Safety Report Series N° 19" (IAEA, 2001)
 - "Regulatory Guide 1.109". USA NRC
 - Criterios basados en la sistemática de estimación realista de la dosis, "Radiation Protection 129" (EU,2002)

Utilizando **datos propios** de cada emplazamiento (**realistas**)

03.3 | Estimación dosis radiación artificial. Metodología

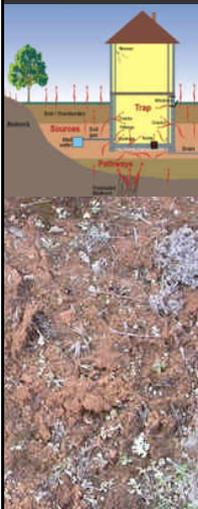


La dosis efectiva total: suma de las dosis debidas a cada radionucleido y vía de exposición

Las dosis efectivas estimadas

- Año a año para la población de cada municipio
- Representan la dosis media anual para una persona tipo
- No constituyen la dosis real que reciben los individuos, sino un valor representativo de la misma

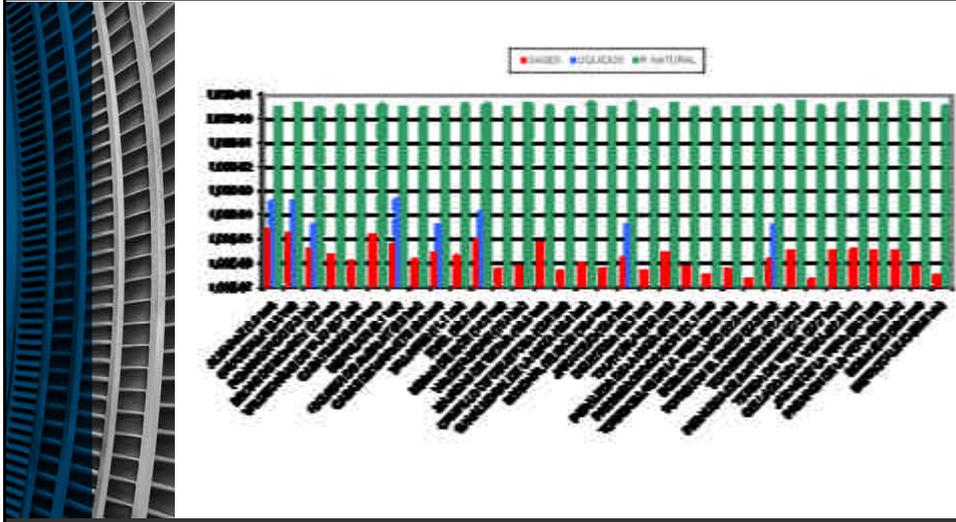
03.4 | Estimación dosis radiación natural



- Indicador de exposición: Dosis efectiva
- Vías de exposición
 - Radiación externa
Radiación cósmica y radiación gamma terrestre
 - Contaminación interna
Inhalación (radón y torón)
Exposición interna por consumo de agua y alimentos
- Modelos ajustados a la práctica internacional
UNSCEAR 2000 "Sources and effects of ionizing radiations"
- Datos
 - Proceden de diversos proyectos del CSN (MARNA, Radón) y de otros estudios publicados por distintos grupos de investigación o datos promedios nacionales o mundiales (UNSCEAR)
- Resultados:
 - Valor medio de dosis efectiva para habitantes de cada municipio
 - Un único valor para cada municipio, ya que se considera que la radiación natural no varía con el tiempo

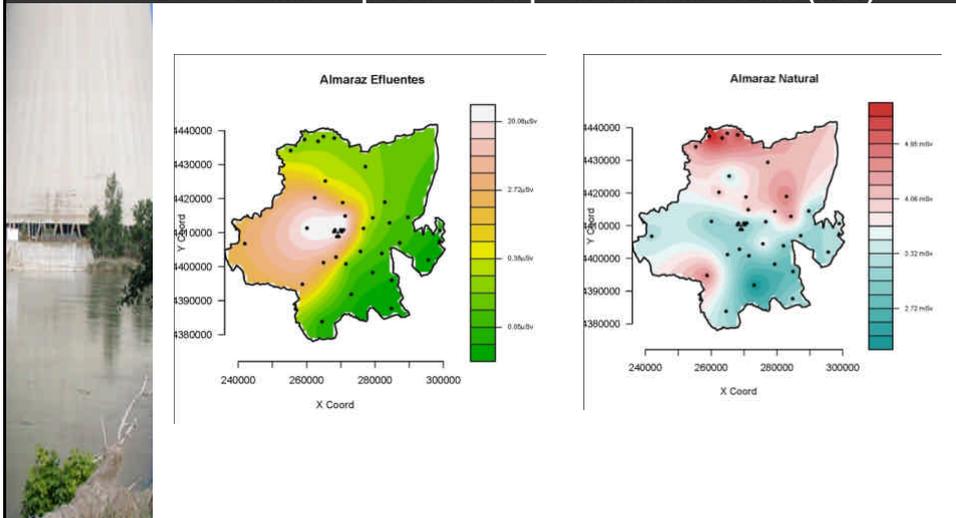
03.5

Central nuclear de Almaraz
Dosis para todas las poblaciones en 2003 (mSv/a)



03.5

Central nuclear de Almaraz
Dosis acumulada para todas las poblaciones hasta 2003 (mSv)



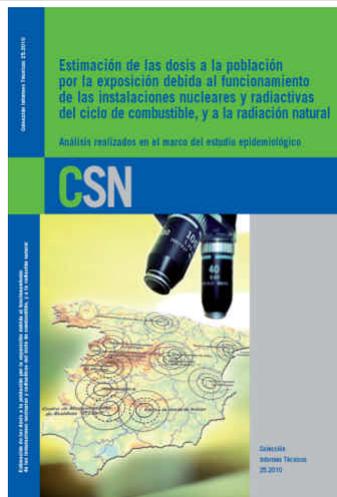
03.6 Dosis instalaciones. Rangos artificial/natural



	0-30 km Nº munic	Radiación artificial acumulada Rango dosis micro Sv	Radiación natural anual Rango dosis microSv
Centrales nucleares			
José Cabrera	60	0.102 - 267.506	2031-2837
Santa Mª de Garoña	68	6.518 - 303.607	1770-2280
Vandellós (I y II)	46	0.071 - 203.057	1928-2627
Almaraz	33	0.019 - 27.582	2340-5840
Ascó (I y II)	65	0.030 - 5.700	1819-2786
Cofrentes	19	0.028 - 2.625	1695-3730
Trillo	62	0.046 - 10.632	1752-2040
TOTAL	328*	0.019 - 303.607	1695-5840
Instalaciones del ciclo del combustible			
Andújar	22	2.910 - 348.473	1917-2470
El Cabril	9	0.0004 - 0.003	2705-4198
La Haba	26	8.139 - 138.139	2577-20103
Saelices El Chico	44	19.883 - 289.123	3431 -15413
Juzbado	76	0.000015 - 0.0580	2416-5112
TOTAL	177	0.000015 - 348.473	1917-20103

La dosis efectiva acumulada máxima de radiación artificial estimada para la población del entorno de las instalaciones es de 350 micro Sv. Fracción muy pequeña respecto radiación natural

3.7 Publicación resultados





Estudio de mortalidad (ISCIII)

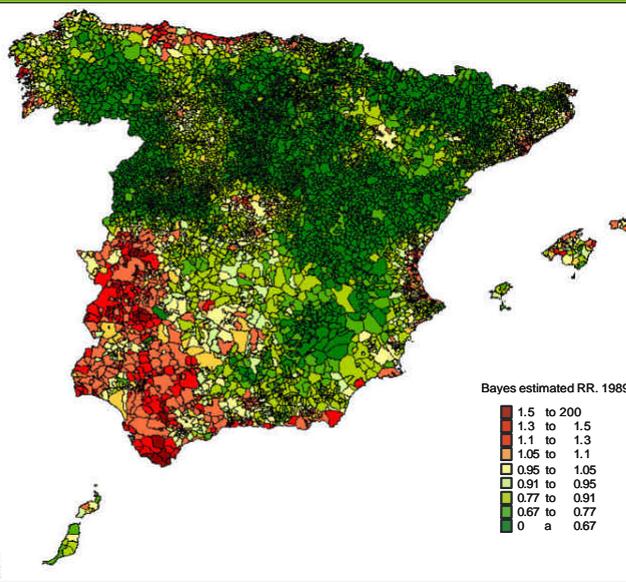
04.1 | Estudio de mortalidad. Metodología

- 
- **Mortalidad por cáncer** en municipios situados en la proximidad de las 7 centrales nucleares (10 reactores) y de 5 instalaciones del ciclo de combustible, en funcionamiento entre 1975 y 2003
 - **Estudio ecológico de cohortes retrospectivas** en las poblaciones de los municipios próximos a las instalaciones consideradas.
 - Variable central de análisis (dosis efectiva) se asigna a los individuos de los grupo de población estudiados (residentes de cada municipio):
Variable ecológica vinculada a cada municipio
 - Se reconstruye la historia de exposición de las poblaciones según su año de nacimiento y el seguimiento de la mortalidad hasta el 2003
(Cohortes retrospectivas)
 - Según el censo de 1991 el área “expuesta” del conjunto de instalaciones del ciclo tenía una población de **644.064** personas
Más de 8.000.000 personas -año en IICC

04.1 | Estudio de mortalidad. Metodología



- **Área de referencia:** municipios en sector circular 50-100 Km
- Se utilizan **municipios control "locales"** para obviar problema de heterogeneidad geográfica de mortalidad por muchos tumores
- **Equiparación** municipios en cada área de estudio:
 - pretende conseguir comparabilidad de los dos grupos eliminando posibles factores de confusión asociados a ciertas características del área geográfica y del ambiente
 - Se realiza teniendo en cuenta: nivel de renta, número de habitantes, proporción de población activa en agricultura, proporción de analfabetos, proporción de sujetos en paro y provincia



04.1 | Estudio de mortalidad. Metodología



- Análisis basado en distribución Poisson
 - Variable central del estudio es la dosis
 - La medida de efecto es **la razón de tasas de mortalidad (RR)** entre áreas expuestas y de control (no expuestas)
 - Casos observados son la variable dependiente, el offset son personas-año y como variables independientes se incluyen: la exposición, la edad y el período, además de los indicadores socio-demográficos
- **Períodos de inducción** de 1 año para leucemias y 10 años para el resto de tumores estudiados

04.1 | Estudio de mortalidad. Metodología



- Estimadores de efecto de la dosis:
 - Dosis acumulada teniendo en cuenta cohortes de nacimiento con entradas y salidas
 - Dosis como continua
 - Dosis categorizada
 - Test de dosis-respuesta (valor-p)
 - Estimadores puntuales e intervalos de confianza calculados por métodos robustos

04.2 | Estudio de mortalidad. Resultados



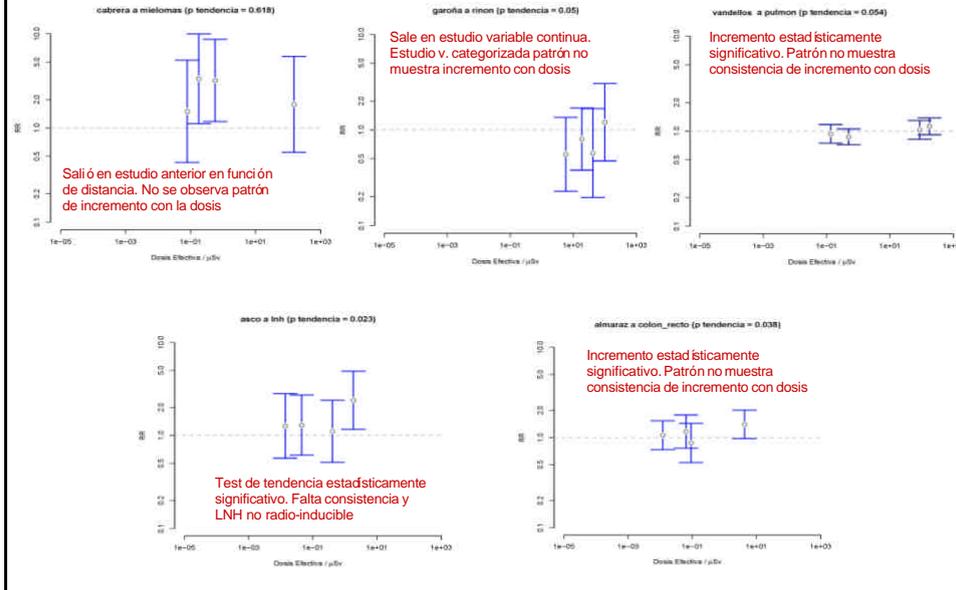
- Categorización dosis radiación artificial y natural
- Centrales nucleares. Análisis conjunto y análisis individual
- Instalaciones del ciclo. Análisis conjunto y análisis individual
- Efecto radiación natural entorno instalaciones
- Efecto radiación natural zonas alta y baja exposición fuera de entorno instalaciones

Análisis conjunto de todas las CCNN

Resultados del análisis: a) número de defunciones por categorías de exposición (dosis de radiación artificial acumuladas); b) riesgos relativos (RR) por categorías de dosis y prueba de tendencia; c) RR para la dosis acumulada (en unidades de 10 microSv) tomada como variable continua e intervalo de confianza al 95%. Riesgos relativos por dosis siendo la referencia la población de los municipios del área de 50 a 100km. Estimaciones obtenidas de un modelo de regresión mixto que incluye las centrales como término de efectos aleatorios. Estimaciones ajustadas por radiación natural, edad, variables sociodemográficas y restringido al periodo de funcionamiento.

	Defunciones					RR d1	RR d2	RR d3	RR d4	Tendencia valor-p	RR dosis	IC	95%	Homogeneidad valor-p
	d0 ref	d1	d2	d3	d4									
Categoría dosis microSv						0.00076-0.18	0.18444-2.5357	2.72775-44.038	44.80-303.5545					
Cáncer de pulmón	2022	569	448	300	631	0.900	0.910	0.800	0.970	0.525	1.001	0.994	1.009	0.009565
Cáncer de huesos	56	19	11	10	20	1.250	0.700	0.540	0.960	0.694	0.995	0.954	1.038	0.126
Cáncer de SWC	311	69	85	63	89	0.770	1.100	0.830	0.840	0.268	0.991	0.973	1.008	0.3165
Cáncer de tiroides	36	5	7	1	11	0.440	0.830	0.140	1.250	0.232	1.003	0.947	1.063	0.07199
LNH	217	61	63	22	77	1.010	1.170	0.520	1.070	0.306	1.012	0.994	1.031	0.04603
Hodgkin	27	5	11	5	11	0.560	1.460	0.800	1.110	0.776	0.988	0.936	1.044	0.369
Mieloma	150	44	42	22	50	1.020	0.950	0.940	0.980	0.993	1.007	0.985	1.029	0.8593
Cáncer de vejiga	485	138	133	81	188	1.060	1.060	0.710	1.030	0.394	0.999	0.986	1.013	0.07386
Conjuntivo	39	14	17	4	17	1.350	1.890	0.460	0.870	0.618	0.973	0.922	1.027	0.763
Cáncer de riñón	204	59	49	36	83	0.890	1.040	0.880	1.390	0.009	1.019	1.000	1.038	0.1561
Cáncer de estómago	1092	264	218	176	348	0.856	0.878	0.970	1.010	0.555	1.000	0.990	1.010	0.00213
Cáncer colorrectal	1369	434	388	231	414	1.070	1.100	0.880	0.950	0.380	0.995	0.986	1.003	0.416
Categoría dosis microSv						0.00041-0.11156	0.11239-1.5829	1.61190-42.953	43.970-303.605					
Leucemias*	502	121	159	78	132	0.960	0.970	0.910	0.930	0.620	0.999	0.985	1.013	0.2756

RR e IC al 95% de las dosis efectivas de radiación artificial en algunos tumores por instalaciones (centrales nucleares)? Algunos casos puntuales

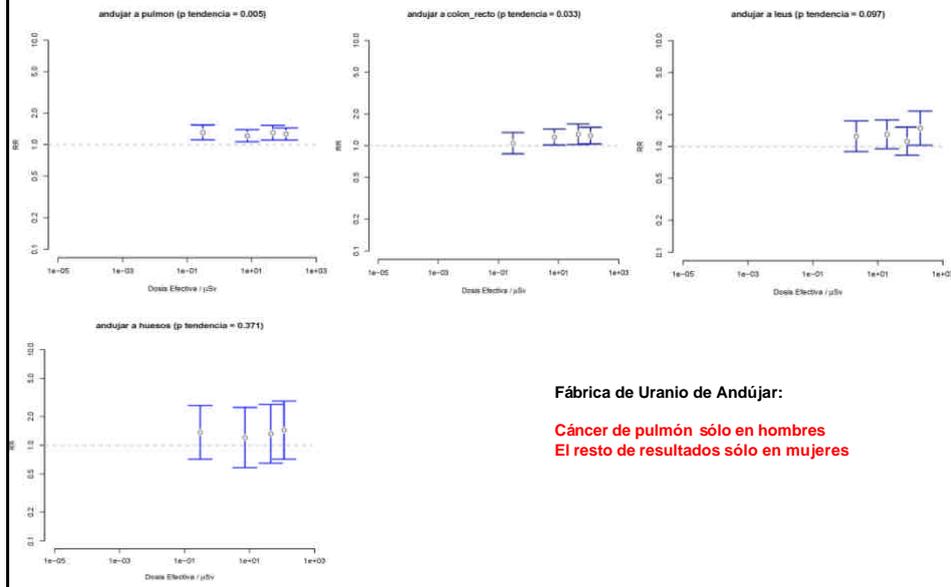


Análisis conjunto de las Instalaciones del Ciclo del Combustible

Resultados del análisis: a) número de defunciones por categorías de exposición; b) riesgos relativos (RR) por categorías de dosis y prueba de tendencia; c) RR para la dosis acumulada (en unidades de 10 microSv) tomada como variable continua e intervalo de confianza al 95%. Riesgos relativos por dosis siendo la referencia la población de los municipios del área de 50 a 100km. Estimaciones obtenidas de un modelo de regresión mixto que incluye las instalaciones como término de efectos aleatorios. Estimaciones ajustadas por radiación natural, edad, variables sociodemográficas y restringido al periodo de funcionamiento.

Categoría dosis microSv	Defunciones					RR d1	RR d2	RR d3	RR d4	Tenden valor-p	RR dosis	IC	95%	Homoge valor-p
	d0 Ref	d1	d2	d3	d4	<= 2.1114	2.187 - 17.18551	17.7625 - 50.4898	52.029 - 335.523					
Cáncer de pulmón	2812	477	789	522	725	1,190	1,250	1,310	1,340	0,000	1,008	1,001	1,014	0,0104
Cáncer de huesos	81	25	17	15	27	1,610	1,120	1,290	1,860	0,049	1,041	1,005	1,078	0,3301
Cáncer de SNC	322	46	90	59	68	0,760	1,320	1,140	1,030	0,704	0,993	0,973	1,013	0,0925
Cáncer de tiroides	34	5	13	10	5	0,830	1,290	1,880	0,840	0,993	0,990	0,919	1,066	0,377
LNH	235	39	71	34	45	0,960	1,310	1,050	1,070	0,179	0,998	0,973	1,024	0,9098
Hodgkin	61	8	13	12	11	0,620	1,210	1,180	1,140	0,602	1,044	0,998	1,091	0,407
Mieloma	181	40	43	32	35	1,360	0,790	1,080	0,770	0,206	0,998	0,974	1,022	0,348
Cáncer de vejiga	633	92	160	84	133	0,930	1,100	0,960	1,020	0,926	1,001	0,987	1,014	0,4293
Conjuntivo	67	7	18	7	11	1,050	1,490	0,850	1,030	0,828	0,995	0,943	1,049	0,1102
Cáncer de rinon	264	66	73	46	60	1,500	1,010	1,060	1,110	0,789	0,994	0,971	1,018	0,4594
Cáncer de estómago	1427	293	313	206	248	0,850	0,810	0,850	0,970	0,777	1,003	0,992	1,015	0,0547
Cáncer colorrectal	1568	282	504	259	373	1,030	1,230	1,030	1,110	0,407	1,004	0,996	1,012	0,0197
Categoría dosis microSv						<= 2.24265	2.2852 - 18.248	18.45577 - 57.85	59.512 - 347.213					
Leucemias*	636	105	156	116	155	0,980	1,060	1,220	1,130	0,144	1,012	1,001	1,022	0,2614
Leucemias mujeres	261	43	70	44	74	1,070	1,330	1,260	1,410	0,027	1,016	1,000	1,032	0,3113

RR e IC al 95% de las dosis efectivas de radiación artificial en algunos tumores por instalaciones (instalaciones del ciclo)?



04.2 | Estudio radiación natural entorno instalaciones

Estudio del posible efecto de la radiación natural. Entorno de las **centrales nucleares**. Puntos de corte: cuartiles (mSv)?

0%	25%	50%	75%	100%
1.48	2.06	2.24	2.483	5.84

Estudio del posible efecto de la radiación natural. Entorno de las **instalaciones del ciclo del combustible**. Puntos de corte: cuartiles (mSv)?

0%	25%	50%	75%	100%
1.48	2.20	3.44	4.11	20.10

Resultados no muestran asociación estadística?

04.2 | Estudio radiación natural zonas sin instalaciones



Estudio de la radiación natural en área de Galicia y Valencia (ajustado por edad y variables sociodemográficas)?

Ningún resultado relevante

05 | Conclusiones y valoración



Dosis estimadas acumuladas que habría recibido población de las áreas de estudio como consecuencia del funcionamiento de las instalaciones **son muy reducidas**. Los conocimientos actuales en radio-biología y epidemiología no sugieren que esta exposición pueda relacionarse con una mayor mortalidad por cáncer en las poblaciones de su entorno.

Estudio **no ha detectado** resultados consistentes que muestren **un efecto de incremento de la mortalidad por diferentes tipos de cáncer asociados a exposición** de las personas a radiaciones ionizantes **debidas al funcionamiento de las instalaciones**. Estos resultados son independientes de radiación natural y de otras variables socio-demográficas controladas en el análisis.

Las relaciones dosis-respuesta encontradas, limitadas a algún tipo de cáncer y en alguna instalación individual, no han podido ser atribuidas a la exposición derivada del funcionamiento de las instalaciones. Dichos hallazgos no se reproducen en otras instalaciones del mismo tipo y con características de exposición similares, podrían deberse a otro tipo de exposiciones o al azar (asociaciones positivas y negativas).

Los resultados referentes a la radiación natural valorados en su conjunto no muestran ninguna aportación relevante. No se han detectado excesos de mortalidad estadísticamente significativos.

05 Conclusiones y valoración



- ❑ Estudio aporta valor científico
- ❑ Todos estudios tienen limitaciones. En este caso se han introducido soluciones novedosas (dosis efectiva, avance frente a distancia)
- ❑ Resultados neutrales, claros y concluyentes demuestran **ausencia de evidencias de riesgo para salud** por actividad instalaciones
- ❑ Para CSN:
 - Estudio contribuye de forma **independiente** a reforzar modelo control de instalaciones y credibilidad CSN como organismo regulador
 - Modelo regulador PR robusto, basado en: normativa y referencias internacionales, doctrina ICRP, conocimiento científico y experiencia
 - Estudio: buena herramienta para mejorar percepción social y confianza de los ciudadanos en el CSN, como **agente neutral** de control de los usos de la energía nuclear y las radiaciones ionizantes

www.csn.es

