

El cáncer en las poblaciones que viven cerca de instalaciones nucleares

Informe sobre un estudio realizado por investigadores del Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos

por
Seymour Jablon,
Zdenek Hrubec,
y John D. Boice,
hijo

Si bien en los Estados Unidos no se han producido grandes liberaciones accidentales de radiactividad procedentes de instalaciones nucleares como la que ocurrió en Chernobyl¹, persisten las dudas acerca de los efectos novicos que pudieran tener sobre la salud sucesos como las liberaciones de Three Mile Island² y Handford³, e incluso la explotación cotidiana de centrales nucleares.

Se ha informado acerca de una incidencia más elevada de la leucemia entre los niños residentes en las cercanías de las plantas reelaboradoras de combustible de Sellafield en Inglaterra^{4,5}, y Dounreay en Escocia^{6,7}, así como entre los niños que viven a pocos kilómetros de las instalaciones militares de armamentos de Aldermaston o Burghfield en Inglaterra⁸. En un estudio general, Forman et al.⁹ y Cook-Mozaffari et al.^{10 y 11} informaron de una mortalidad excesiva por leucemia y la enfermedad de Hodgkin entre los jóvenes residentes en las cercanías de 14 instalaciones nucleares, ocho de las cuales eran plantas de generación de electricidad. Sin embargo, Crump et al.¹² no observaron variaciones en las tasas de incidencia del cáncer en los alrededores de la planta de armamentos Rocky Flats, y en estudios realizados en Francia por Doussset¹³, Viel, y Richardson¹⁴, así como por Hil y Laplanche¹⁵ no se comprobó que hubiera exceso de mortalidad por leucemia ni otros tipos de cáncer entre las personas que vivían en las inmediaciones de alguna de las seis instalaciones nucleares (incluidas dos plantas de reelaboración).

Los resultados de los estudios de poblaciones que viven en las proximidades de centrales eléctricas han sido indefinidos. En el Reino Unido, Ewings et al.¹⁶ comprobaron un aumento en la incidencia de leucemia y linfomas entre los jóvenes de los alrededores de la central eléctrica de Hinckley Point. Clapp et

al.¹⁷ informaron que existía una gran incidencia de leucemia entre los hombres de cinco poblados cercanos a la central nuclear Pilgrim de Massachusetts, pero Enstrom¹⁸ no observó una mortalidad elevada en los alrededores de la central San Onofre de California, mientras que Clarke et al.¹⁹ informaron que no hubo aumento de los casos de leucemia entre los niños canadienses menores de cinco años que vivían en las cercanías de diferentes instalaciones, entre las que se incluían varias refinerías de plutonio.

Algunos investigadores británicos han declarado que el aumento de la ocurrencia de cánceres entre las personas que viven en las proximidades de instalaciones nucleares no puede ser el resultado de emisiones de radiactividad de esas instalaciones, ya que esas emisiones son muy inferiores a la dosis que se recibe de la radiación natural de fondo^{11,20}. Además, ha existido poca coincidencia entre los distintos informes en cuanto a la distancia de la instalación, el tiempo transcurrido después de su puesta en marcha, e incluso los grupos de edad y enfermedades.

Para examinar estas cuestiones de forma sistemática, en los Estados Unidos se evaluaron los datos sobre las defunciones por cáncer por distrito, así como los que figuraban en los registros de casos de cáncer, en los cuales se podía obtener una información de buena calidad²¹.

Métodos

Tipos de cáncer. Además de los neoplasmas benignos y no especificados, se estudiaron los 15 tipos de cáncer siguientes: leucemia y aleucemia; todos los neoplasmas malignos, salvo leucemia; la enfermedad de Hodgkin; otros linfomas; mielomas múltiples; cánceres del estómago; cánceres del colon y el recto; cáncer primario del hígado; cáncer de los órganos digestivos; cáncer de la tráquea, los bronquios y los pulmones; cáncer de mama femenina; cánceres de la glándula tiroide; cáncer del tejido óseo y de las articulaciones; cáncer de la vejiga; y cáncer del cerebro y otras partes del sistema nervioso central. La leucemia es el cáncer radiogénico que aparece con mayor rapidez tras haberse recibido

Los doctores Jablon, Hrubec, y Boice trabajan en la Dependencia de Epidemiología de las Radiaciones del Centro Nacional del Cáncer, de Bethesda, Maryland, perteneciente al Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. Este informe se basa en el artículo que publicaron en el *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, de 20 de marzo de 1991, Vol. 265, N° 11, derechos de autor 1991, American Medical Association, 535 Dearbon St., Chicago, Illinois, 60610 Estados Unidos de América.

grandes dosis de radiación a altas tasas, pero aún no hay certeza entre los científicos respecto de los riesgos que entrañan las bajas dosis recibidas a bajas tasas²².

Datos sobre mortalidad e incidencia. Los distritos son las zonas más pequeñas para las que existen estimaciones demográficas y recuentos anuales del número de defunciones por causas concretas a nivel nacional. Se obtuvieron recuentos anuales de las defunciones por causa, sexo, raza, y dentro del grupo de cinco años de edad de cada distrito desde 1950 hasta 1984. Sin embargo, sólo se dispuso de datos registrados (incidencia) con la calidad requerida en relación con cuatro instalaciones de Connecticut e Iowa. De ahí que los análisis se basaran fundamentalmente en los datos sobre mortalidad. Las estimaciones demográficas anuales de los distritos por sexo, raza y grupo de edad se obtuvieron por interpolación en el caso de los recuentos realizados en los censos de 1950 a 1969²³, mientras que las de los años posteriores fueron preparadas por la Oficina del Censo utilizando los censos por decenios y otras fuentes de datos.

Distritos de estudio. Como la leucemia radiogénica tiene un período de latencia mínimo de por lo menos 2 años²², en estos datos no se identifican las muertes por leucemia que pudieran resultar de exposiciones a la radiactividad en 1982 o después. En consecuencia, el conjunto de instalaciones objeto de estudio se limita a las 62 que estaban en funcionamiento antes de 1982, incluidas 52 centrales nucleoelectricas industriales, nueve instalaciones subordinadas al Departamento de Energía, y una antigua planta de reelaboración de combustible con fines industriales. Las 62 instalaciones se encuentran ubicadas en 64 distritos (el Idaho National Engineering Laboratory y el Oak Ridge Laboratory tienen plantas individuales en dos distritos). Si bien antes de 1982 había más de 80 reactores de potencia industriales en funcionamiento, son menos los emplazamientos de estudio que los reactores porque algunas centrales tienen más de un reactor. A veces las instalaciones se encuentran en la frontera entre distritos o cerca de ella; en estos casos los distritos adyacentes se incluyeron si constituían al menos el 20% del área comprendida dentro de un radio de 16 kilómetros de la instalación. Sin embargo, en algunos casos se descartaron distritos adyacentes que satisfacían los criterios de selección debido a la existencia de una gran ciudad, distante de la central, que habría predominado en las estadísticas de mortalidad por cáncer. Se incluyeron en el estudio 107 distritos diferentes. Las centrales nucleares Point Beach y Kewaunee (Wisconsin), ubicadas en distritos colindantes, se consideraron como una sola instalación. En consecuencia, se presentan datos de 61 zonas de estudios.

Distritos de control. Se seleccionaron tres distritos con qué comparar cada distrito de estudio. No siempre fue posible seleccionar un conjunto diferente de distritos de control

por cada distrito estudiado, y se escogieron 292 distritos de control diferentes. Los distritos de control se compararon con los de estudio atendiendo a las características siguientes:

Instalaciones nucleares incluidas en el estudio

Instalación	Distrito	Estado	Año de puesta en marcha*
Instalaciones del Departamento de Energía			
Fernald	Hamilton	Ohio	1951
Hanford	Benton	Washington	1943
Idaho National Engineering Laboratory			
Mound	Bingham, Butte	Idaho	1949
Nuclear Fuel Services	Montgomery	Ohio	1947
Oak Ridge	Cattaraugus	Nueva York	1966
Paducah Gaseous Diffusion	Anderson, Roane	Tennessee	1943
Portsmouth Gaseous Diffusion	Ballard	Kentucky	1950
Rocky Flats	Pike	Ohio	1952
Savannah River	Jefferson	Colorado	1953
	Barnwell	Carolina del Sur	1950
Empresas eléctricas			
Arkansas	Pope	Arkansas	1974
Big Rock Point	Charlevoix	Michigan	1962
Browns Ferry	Limestone	Alabama	1973
Brunswick	Brunswick	Carolina del Norte	1975
Calvert Cliffs	Calvert	Maryland	1974
Cook	Berrien	Michigan	1975
Cooper Station	Nemaha	Nebraska	1974
Crystal River	Citrus	Florida	1977
Davis Besse	Ottawa	Ohio	1977
Dresden	Grundy	Illinois	1960
Duane Arnold	Linn	Iowa	1974
Farley	Houston	Alabama	1977
Fermi	Monroe	Michigan	1963
Fort Calhoun	Washington	Nebraska	1973
Fort St Vrain	Weld	Colorado	1976
Ginna	Wayne	Nueva York	1969
Haddam Neck	Middlesex	Connecticut	1967
Hallam	Lancaster	Nebraska	1962
Hatch	Appling	Georgia	1974
Humboldt Bay	Humboldt	California	1963
India Point	Westchester	Nueva York	1962
Kewaunee	Kewaunee	Wisconsin	1973
La Crosse (Genoa)	Vernon	Wisconsin	1967
McGuire	Mecklenburg	Carolina del Norte	1981
Maine Yankee	Lincoln	Maine	1972
Millstone	New London	Connecticut	1970
Monticello	Wright	Minnesota	1971
Mine Mile Point	Oswego	Nueva York	1969
North Anna	Louisa	Virginia	1978
Oconee	Oconee	Carolina del Sur	1973
Oyster Creek	Ocean	Nueva Jersey	1969
Palisades	Van Buren	Michigan	1971
Pathfinder	Minnehaha	Dakota del Sur	1964
Peach Bottom	York	Pennsylvania	1974
Pilgrim	Plymouth	Massachusetts	1972
Point Beach	Manitowoc	Wisconsin	1970
Prairie Island	Goodhue	Minnesota	1973
Quad Cities	Rock Island	Illinois	1972
Rancho Seco	Sacramento	California	1974
Robinson	Darlington	Carolina del Sur	1970
St Lucie	St Lucie	Florida	1976
Salem	Salem	Nueva Jersey	1976
San Onofre	San Diego	California	1967
Sequoyah	Hamilton	Tennessee	1980
Shippingport/Beaver Valley	Beaver	Pennsylvania	1957
Surry	Surry	Virginia	1972
Three Mile Island	Dauphin	Pennsylvania	1974
Trojan	Columbia	Oregón	1975
Turkey Point	Dade	Florida	1972
Vermont Yankee	Windham	Vermont	1972
Yankee Rowe	Franklin	Massachusetts	1960
Zion	Lake	Illinois	1972

* En el estudio se examinaron 62 instalaciones nucleares, incluidas las siguientes: 10 instalaciones del Departamento de Energía entre las que figura una antigua planta de reelaboración de combustible con fines industriales (Nuclear Fuel Services) y 52 empresas eléctricas puestas en marcha entre 1957 y 1969 (15), 1970 y 1974 (25), y 1975 y 1981 (12).

Datos sobre las instalaciones nucleares y distritos incluidos en el estudio

	Distritos de estudio	Distritos de control
Número de distritos	107	292
Población (1980)		
Total	18 720 000	32 980 000
Media	62 900	41 600
Area en km ²		
Mayor	10 951	52 156
Media	1 503	1 498
Menor	218	234
Número de defunciones (1950 a 1984)		
Leucemia	37 200	78 500
Otros cánceres	838 000	1 794 000

porcentaje de blancos, negros, indoamericanos, latinos, residentes urbanos, residentes rurales, empleados fabriles y graduados de enseñanza secundaria con más de 25 años de edad; ingreso familiar medio; tasa neta de migración; tasa de mortalidad infantil; y volumen de población. Todos los datos eran del año 1979, salvo los de población, que correspondían a 1980.

Sin embargo, las estadísticas demográficas de que generalmente se dispuso no explican completamente las grandes diferencias existentes entre las tasas de mortalidad por cáncer de las diferentes zonas geográficas. Por ejemplo, no se obtuvieron datos sobre alimentación ni sobre antecedentes étnicos concretos. Como la distribución de estos factores tiende a variar cuando se trata de vastas zonas geográficas (por ejemplo, las características étnicas en el sudoeste), se seleccionaron distritos de control de la misma región de los distritos de estudio.

Forma de análisis

Instalaciones. Se calculó el número de defunciones "probables" anuales por distrito y tipo de cáncer durante el período de estudio de 35 años (1950 a 1984), sobre la base de la experiencia actual de los Estados Unidos. Las tasas de mortalidad anuales de los Estados Unidos se multiplicaron por las poblaciones estimadas, desglosadas en grupo de 5 años de edad, sexo, y raza (blancos y otros). Seguidamente se sumaron los valores de las dos razas y los dos sexos de todos los distritos de la zona de estudio (si eran más de uno) y de todos los distritos de control correspondientes. Luego se sumaron los datos de todos los años desde 1950 hasta que la instalación entró en funcionamiento, y de todos los años posteriores a su puesta en marcha hasta 1984, lo que arrojó el número de defunciones probables antes y después de la puesta en marcha de la instalación.

La relación entre el número real de defunciones y el número probable según las tasas de los Estados Unidos es la razón de mortalidad

normalizada (RMN). De igual modo, la relación entre el número de casos de cáncer registrados y el número probable según las tasas generales de los estados constituye la razón de registro normalizada (RRN). Los valores de las RMN o de las RRN de los distritos de estudio y de control se denominaron "riesgos relativos" (RR), aunque ese no es el uso habitual de este término. Cuando el número de defunciones de las zonas de estudio o de control fue inferior a tres, o su suma fue menos de 10 no se hizo el cálculo de las razones. La diferencia entre cada RR y 1,00 se evaluó teniendo en cuenta la probabilidad de que la variación o el valor más alto de la magnitud observada podían haber surgido por casualidad.

Grupos de instalaciones. También se examinaron los datos de mortalidad de grupos de instalaciones utilizando una adaptación del procedimiento de Mantel-Haenszel para datos estratificados²⁴. Cada zona de estudio y su zona de control asociada hizo las veces de un estrato. Los datos de los reactores de energía eléctrica y de las instalaciones del Departamento de Energía se examinaron por separado y en conjunto.

Resultados

Mortalidad. Los datos muestran que, en lo relativo a la mortalidad por leucemia infantil, para cada grupo de instalaciones, ya fueran empresas eléctricas o instalaciones del Departamento de Energía, al compararse los distritos de estudio con los de control el RR fue menor después de la puesta en marcha que antes de ésta. (Cabe señalar que algunas instalaciones del Departamento de Energía comenzaron a funcionar en el decenio de 1940, y dado que los períodos que pudieron incluirse en este estudio comenzaron en 1950, los datos de la mayoría de las instalaciones de dicho Departamento se limitan a su experiencia luego de la puesta en marcha.) No se observó aumento significativo del RR de mortalidad por leucemia infantil respecto de ninguna instalación. En lo tocante a la mortalidad infantil por otros cánceres distintos de la leucemia, al compararse las zonas de estudio con las de control no se observó un aumento significativo del RR respecto de ninguna instalación o grupo de instalaciones luego de la puesta en marcha.

Los datos sobre mortalidad por leucemia de todos los grupos de edades combinados también muestran RR menores tras la puesta en marcha que antes de ésta. Luego de la puesta en marcha, todos los RR fueron inferiores a 1,00; los déficits son significativos (P menor que 0,05) si se considera el conjunto de centrales del Departamento de Energía y todas las instalaciones juntas.

Los datos sobre todos los tipos de cánceres, salvo la leucemia, muestran que, luego de la puesta en marcha, para todos los grupos de edades el RR fue muy cercano a 1,00 y sólo osciló entre 0,98 y 1,04. Los RR de las

Resultados del estudio

Mortalidad por leucemia de niños menores de 10 años, por tipo de instalación

Tipo de instalación	Antes de la puesta en marcha					Después de la puesta en marcha				
	Estudio		Control		RR	Estudio		Control		RR
	Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN		Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN	
Departamento de Energía	39	1,18	48	0,84	1,45	601	1,01	1009	0,96	1,06
Empresas eléctricas										
1957-1969	593	1,09	1035	1,05	1,03	534	1,03	993	1,00	1,00
1970-1974	996	1,06	2383	0,98	1,09*	227	1,00	482	0,94	1,06
1975-1981	392	1,07	785	0,95	1,11	28	0,70	88	0,93	0,82
Total	1981	1,07	4203	0,99	1,08*	789	1,01	1563	0,98	1,01
Todas las instalaciones	2020	1,07	4251	0,99	1,08*	1390	1,01	2572	0,97	1,03

Mortalidad por leucemia, todas las edades, por tipo de instalación

Tipo de instalación	Antes de la puesta en marcha					Después de la puesta en marcha				
	Estudio		Control		RR	Estudio		Control		RR
	Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN		Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN	
Departamento de Energía	258	1,01	401	0,92	1,07	6 077	1,00	11 657	1,03	0,96*
Empresas eléctricas										
1957-1969	4 088	1,02	7 235	0,99	1,05*	8 478	1,00	15 474	1,01	0,99
1970-1974	8 354	0,97	21 172	0,97	1,00	5 615	0,97	12 823	1,00	0,98
1975-1981	3 307	0,99	7 163	0,94	1,04	1 006	0,92	2 620	0,95	0,98
Total	15 749	0,99	35 570	0,97	1,02	15 099	0,98	30 917	1,00	0,99
Todas las instalaciones	16 007	0,99	35 971	0,97	1,02	21 176	0,98	42 574	1,01	0,98*

Mortalidad por todo tipo de cánceres salvo leucemia, todas las edades, por tipo de instalación

Tipo de instalación	Antes de la puesta en marcha					Después de la puesta en marcha				
	Estudio		Control		RR	Estudio		Control		RR
	Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN		Muertes observadas	RMN	Muertes observadas	RMN	
Departamento de Energía	5 780	1,04	8 991	0,96	1,06*	141 635	1,06	247 308	0,99	1,04*
Empresas eléctricas										
1957-1969	79 902	1,00	157 745	1,06	1,00	197 158	1,02	364 675	1,05	1,01
1970-1974	179 208	0,99	471 890	1,02	0,98*	139 175	0,99	317 206	1,02	0,98*
1975-1981	69 310	0,96	157 884	0,96	1,02*	26 325	0,98	68 785	1,01	0,99*
Total	328 420	0,98	787 519	1,01	0,99	362 658	1,01	750 666	1,04	0,99
Todas las instalaciones	334 200	0,99	796 510	1,01	1,00	504 293	1,02	997 974	1,02	1,01

Incidencia de la leucemia en los distritos de estudio de Connecticut e Iowa en relación con el momento de la puesta en marcha de las centrales

	Antes de la puesta en marcha		Después de la puesta en marcha	
	Muertes observadas	RRN	Muertes observadas	RRN
Menores de 10 años en el momento del diagnóstico				
Haddam Neck, Connecticut (1967), distrito de Middlesex	15	0,96	16	0,97
Millstone, Connecticut (1970), distrito de New London	49	1,19	44	1,55**
Fort Calhoun, Nebraska (1973), distrito de Harrison, Iowa	1	1,91	4	3,13
Duane Arnold, Iowa (1974), distritos de Linn y Benton	9	1,04	17	1,26
Total	74	1,13	81	1,36**
Todas las edades, conjunto de instalaciones	577	0,92*	850	1,01

Notas: RRN indica la razón de registro normalizada y es la relación que existe entre el número de casos de cáncer registrados y el número probable según las tasas de registro concurrentes de todo el estado.

RMN indica la razón de mortalidad normalizada y es la relación que existe entre el número de defunciones observadas y el número probable según las tasas de mortalidad concurrentes de los Estados Unidos a nivel nacional.

RR indica el riesgo relativo y establece una comparación entre los riesgos de las zonas de estudio y los de las zonas de control. Los RR para instalaciones combinadas se obtienen mediante un procedimiento similar al Mantel-Haenszel y en ocasiones difieren del valor simple de las RMN.

*P ≤ 0,05.

**P ≤ 0,01.

centrales del Departamento de Energía son significativamente altos (1,04), pero menores que los RR correspondientes anteriores a la puesta en marcha de esas instalaciones. En la tabulación se incluyen más de 2 millones de defunciones, de ahí que incluso variaciones muy pequeñas de los RR con relación a 1,00 sean en ocasiones estadísticamente significativas.

Incidencia. Sólo se dispuso de los datos sobre incidencia en el caso de los distritos de Connecticut e Iowa. Como no se dispuso de esos datos para todos los distritos de control, la evaluación se basó en las RRN anteriores y posteriores a la puesta en marcha de la instalación. En el cuanto a la leucemia en niños, para las cuatro instalaciones juntas la RRN fue 1,13 (no significativa) antes de la puesta en marcha, pero después se elevó a 1,36 (P menor que 0,01). Sólo en el caso de la central Millstone del distrito de New London, Connecticut, hubo un aumento significativo de la RRN a 1,55 (P menor que 0,01) tras la puesta en marcha. Sobre la base de un total de 44 casos las RRN fueron: 1,46 desde 1971 hasta 1975; 1,34 desde 1976 hasta 1980; y 2,02 desde 1981 hasta 1984. Con todo, en el decenio que antecedió a la puesta en marcha de las instalaciones (1961 a 1970) hubo 30 casos de niños con leucemia (RRN 1,34). Con respecto a todas las edades combinadas, no hubo aumento significativo de la RRN de la leucemia, luego de la puesta en funcionamiento, para ninguna instalación en particular ni para la totalidad de ellas.

La RRN de cánceres en los niños distintos a la leucemia no mostró una variación significativa con respecto a 1,00. Tampoco se apartó significativamente de 1,00 en los casos de cáncer de mama o de tiroides (todas las edades) luego de la puesta en marcha de las instalaciones.

Comentario

Este estudio se inspiró en otro dado a conocer por la British Office of Population Censuses and Surveys^{9,10}. El estudio estadounidense abarcó un período mucho mayor (35 años), lo que permitió realizar un análisis más pormenorizado en el que se incluyeron comparaciones entre centrales antes y después de su puesta en marcha, así como comparaciones con zonas de control y con los Estados Unidos en su conjunto. Además, en los Estados Unidos existen muchas más instalaciones nucleares que en el Reino Unido. En el estudio de la Office of Population Censuses and Surveys se dispuso de datos sobre registro (incidencia), pero por preocupaciones en cuanto a si era comparable la forma en que se determinaron los casos en las diferentes zonas, los autores decidieron basar sus conclusiones sólo en los datos sobre mortalidad. Al evaluar la incidencia en el estudio de los Estados Unidos, nos hemos centrado solamente en el conjunto limitado de instalaciones y distritos que poseían datos registrados de buena calidad.

No se observó un aumento general de la mortalidad por cáncer en los distritos de los Estados Unidos donde existen centrales nucleares o que están cercanos a éstas. A diferencia de algunos estudios realizados en el Reino Unido^{4,8}, no se comprobó una incidencia excesiva de leucemia entre los niños que vivían cerca de plantas de reelaboración y de armamentos.

Los datos sobre cáncer que aquí se incluyen son el resultado de una *investigación*, no de un estudio experimental. No se dispuso de información sobre la exposición de las personas a la radiación. Aunque los distritos se compararon utilizando los datos disponibles sobre composición racial, mezcla urbano-rural, ingresos y otros factores, no es posible seleccionar distritos de control que sean exactamente comparables con los de estudio. Los distritos varían en lo tocante a industrias, ocupaciones, niveles de educación y estilo de vida. Además, la comparación se basó en datos de los años 1979 y 1980. Dado que las características de los distritos en los decenios de 1950 y 1960 eran sin duda diferentes a las de 1979, puede que la comparación de los distritos de estudio y control en los primeros años haya sido inadecuada en algunos casos. También se compararon las muertes por cáncer de cada distrito con las probables según las tasas de mortalidad concurrentes de los Estados Unidos, y cuando fue posible, se comparó el número de casos reales con el de casos probables sobre la base de las tasas generales de los estados. No obstante, las tasas de morbilidad nacionales o de los estados no necesariamente constituyen bases apropiadas para la comparación de distritos específicos que tienen características individuales propias con relación al hábito de fumar y a otros factores de riesgo del cáncer.

En el análisis se considera que cada conjunto formado por un distrito (o distritos) de estudio y los correspondientes distritos de control es un estrato en el que todas las variaciones de las tasas generales de los Estados Unidos son idénticas. Como no ocurre exactamente así, los datos muestran variaciones provocadas por factores accidentales. El término técnico *estadísticamente significativo* sólo se refiere a la probabilidad de que surja una diferencia por pura casualidad y no tiene nada que ver con la significación biológica en contraposición con la matemática. Aunque muchos RR difieren significativamente de 1,00, valores como 0,98 ó 1,03 tienen poca significación o trascendencia biológica. Al evaluar el sentido de los RR que alcanzan significación estadística debe tomarse en cuenta que miles de ellos se computaron y evaluaron a ese efecto.

El estudio tiene, además, limitaciones como las siguientes:

- Sólo se dispuso de los datos de los distritos. Algunos distritos donde existen instalaciones nucleares contienen también grandes ciudades distantes de las centrales. Sería imposible detectar los efectos locales relacionados con dichas instalaciones utilizando las tasas de

mortalidad del distrito porque esos efectos se diluirían al incluirse las poblaciones de las ciudades. Sin embargo, problemas similares afectan a los distritos de salud del Reino Unido utilizados por Roman et al.²⁵ en sus estudios de Harwell, Aldermaston, y Burghfield, y a los utilizados por Cook-Mozaffari et al.^{11,26} en sus estudios posteriores sobre mortalidad por cáncer en los alrededores de todas las instalaciones nucleares (y posibles instalaciones) de Inglaterra y Gales.

- Este estudio se basó fundamentalmente en datos sobre mortalidad. Sólo se dispuso de los datos sobre incidencia en el caso de los distritos relacionados con cuatro instalaciones. Con todo, los datos sobre mortalidad no son los más idóneos para vigilar cánceres como el del tiroides, el de mama femenina o la leucemia en los niños, cuyas tasas de mortalidad han disminuido mucho en los últimos años gracias al perfeccionamiento de las terapias, sin que se haya afectado su incidencia. Por otra parte, el estudio británico que motivó la presente investigación no comprobó que existiera un exceso significativo de mortalidad por leucemia infantil.

- La información sobre el tipo de cáncer que provocó la muerte se obtuvo de las declaraciones de los médicos en los certificados de defunción. Ahora bien, en caso de no haberse realizado la autopsia puede ser difícil decidir si un cáncer pulmonar o del hígado es primario o metastásico. Ciertamente la calidad de la asistencia médica disponible varía de un distrito a otro, y puede afectar la exactitud de la causa de defunción que se certifica y la posibilidad de comparar los datos de los distritos.

- Aunque hace más de 30 años que las instalaciones del Departamento de Energía están en funcionamiento, la mayoría de las centrales eléctricas industriales comenzaron a funcionar en 1970 o en años posteriores. Dado el largo período de latencia de la mayoría de los cánceres radiogénicos, sólo durante los primeros años de explotación habría sido posible que las emisiones de las centrales provocaran cánceres (salvo leucemia) que fueran detectables antes de 1985.

- Este fue un estudio "ecológico" en el que no se conocieron los niveles de exposición de las personas. Puede que personas que vivían en determinado distrito al ocurrir su defunción no fueran antiguos residentes del lugar. Puede, además, que algunos residentes cambiaran de vivienda y fallecieran en otra parte del distrito. Puede que algunos residentes de distritos donde existen instalaciones nucleares vivieran distantes de la central, no estuvieran expuestos a riesgo alguno, y su experiencia diluyera la de los residentes más cercanos a la central.

Conclusión

Pese a las limitaciones inherentes a un estudio ecológico sobre mortalidad por cáncer en distritos con instalaciones nucleares y sin ellas, los métodos utilizados se han aplicado

con eficacia en el pasado para determinar la presencia de agentes carcinógenos ambientales. Por ejemplo, sobre la base de resultados derivados de los "mapas de incidencia del cáncer" elaborados por el Instituto Nacional del Cáncer a partir de las estadísticas de mortalidad por distrito, se observó que los distritos que poseían astilleros tenían altas tasas de mortalidad por cáncer pulmonar, sobre todo entre los hombres. En estudios de control de casos realizados más tarde en zonas de alto riesgo se vinculó el elevado número de muertes por cáncer pulmonar a la exposición al asbesto²⁷.

Si se aceptan los estimaciones convencionales de los riesgos de cáncer imputables a las radiaciones, la exposición a las emisiones observadas de instalaciones nucleares de los Estados Unidos, que suele ser de menos de 3 milirem al año para las personas más expuestas²⁸, fueron demasiado pequeñas para provocar lesiones apreciables. De hecho, esos niveles son muy inferiores a los que recibe la población de la radiación natural de fondo, que asciende a unos 100 milirem al año, sin incluir las dosis de radón que reciben los pulmones. Una situación similar existía en el Reino Unido. No obstante, se observó un exceso de casos de leucemia entre los niños que vivían en las cercanías de las plantas de reelaboración Sellafield y Dounreay y las instalaciones de armamentos Aldermaston y Burghfield^{20,25}. Con todo, no se ha demostrado que la causa fuera las emisiones de radiactividad de las plantas. Un reciente estudio de control de casos de leucemia que se habían producido en las inmediaciones de la planta Sellafield arrojó que una causa podría ser la exposición de los padres a la radiación por motivos profesionales antes de la concepción²⁹. También se ha planteado la hipótesis de que los brotes de casos encontrados en el Reino Unido podrían tener un origen infeccioso, posiblemente viral³⁰.

El hecho de que en nuestro estudio se hayan encontrado diferencias significativas en el período anterior a la puesta en marcha de las instalaciones, indica que es necesario proceder con cautela antes de interpretar que todas las diferencias posteriores a la puesta son pruebas de la existencia de efectos nocivos sobre la salud imputables a la explotación de las instalaciones. También contribuye a la interpretación de estos hechos el conocimiento que se ha acumulado en los últimos 50 años, sobre todo en los últimos 15 años, sobre la carcinogénesis por radiación²². Si bien la leucemia inducida por radiación puede manifestarse apenas transcurridos dos años de la exposición, otros cánceres como los de mama y pulmones evolucionan con mayor lentitud y es poco probable que se puedan identificar en los datos sobre mortalidad de los 10 años o más siguientes a la exposición a las radiaciones. Sólo con el paso de algunos años después de la puesta en marcha inicial de una instalación puede esperarse que los residentes de las zonas aledañas acumulen una exposición a la radia-

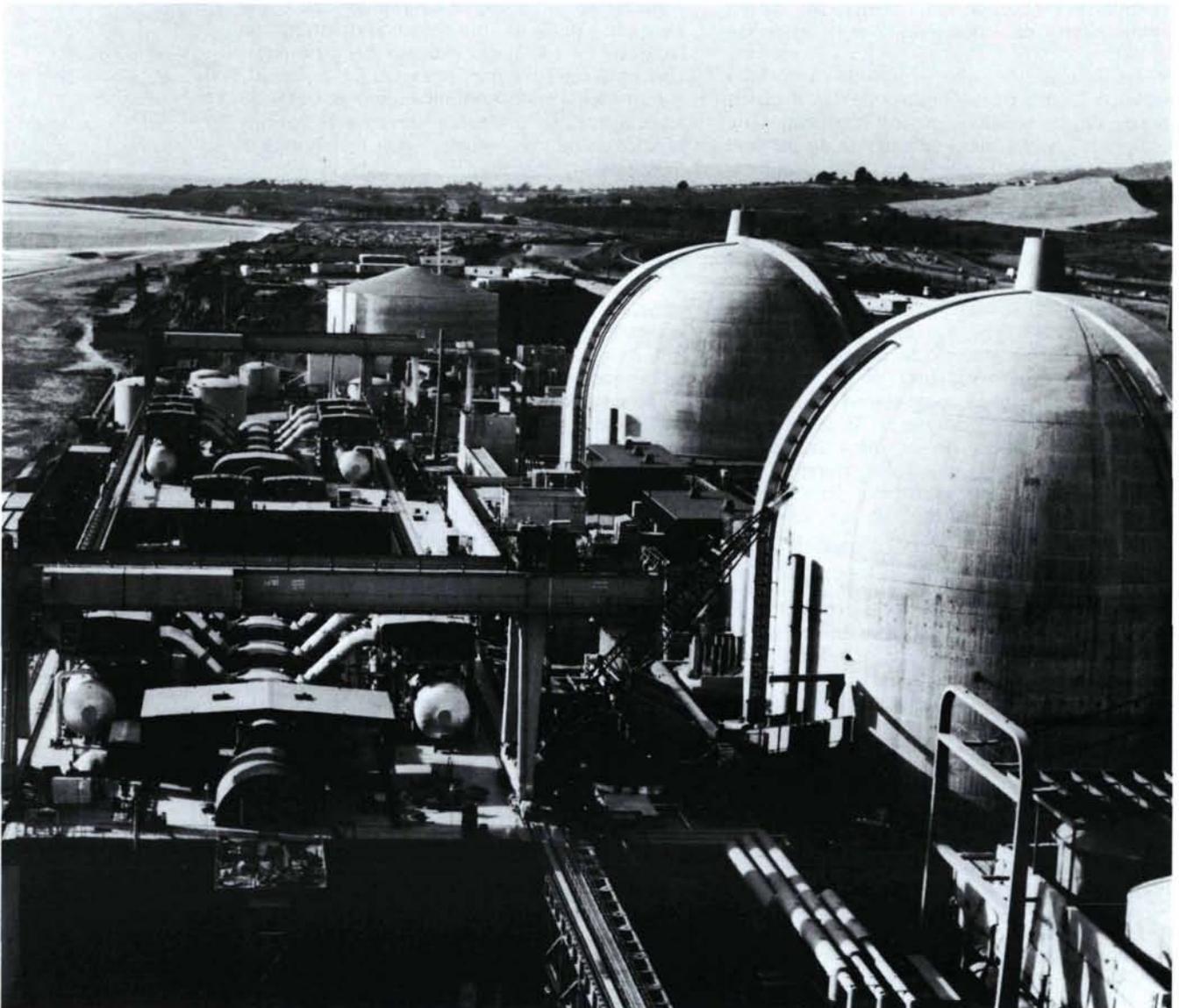
ción ionizante o a cualesquiera otras descargas potencialmente nocivas que sea capaz de inducir un aumento apreciable de la mortalidad por neoplasmas malignos.

No se observaron aumentos estadísticamente significativos de la mortalidad por leucemia infantil. Sólo en los datos sobre incidencia de la central nuclear Millstone de Connecticut la tasa de leucemia en los niños pareció elevarse significativamente. Sin embargo, ese aumento databa de fecha anterior a la puesta en marcha de Millstone. En 1972, los Centers for Disease Control investigaron un brote de casos de leucemia y linfomas que se habían presentado entre los niños del poblado de Waterford, donde se encuentra ubicada Millstone. No obstante, en seis de los 11 casos la enfermedad se había manifestado antes de 1970, cuando entró en funcionamiento por primera vez el reactor Millstone-1. En este estudio se observó que la RRN de leucemia infantil era elevada antes y después de la puesta en marcha de

Millstone, desde 1961 hasta 1984. Por consiguiente, parece remota la posibilidad de que exista conexión alguna entre las leucemias y la explotación de la central Millstone.

Este estudio no ha demostrado que la explotación de ninguna de las 62 instalaciones nucleares haya provocado exceso de leucemia entre la población infantil que vive en sus cercanías. Cook-Mozaffari et al.²⁶ observaron que en Inglaterra y Gales había un exceso de leucemia y enfermedad de Hodgkin entre los niños de zonas en que se había propuesto construir instalaciones nucleares pero no se habían construido o se construyeron posteriormente, lo que significa que en ocasiones esas zonas están marcadas por factores de riesgo no identificados que no se relacionan directamente con las instalaciones nucleares propiamente dichas. Aunque el público ha expresado preocupación por las instalaciones Fernald, Rocky Flats, Hanford, Three Mile Island y otras, en este estudio no se ha comprobado

La planta nuclear San Onofre de Carolina del Sur, Estados Unidos, fue una de las 62 instalaciones nucleares incluidas en el estudio realizado en ese país. (Cortesía de Southern California Edison Co.)



la existencia de exceso de mortalidad por leucemia u otros cánceres que puedan haber sido provocados por emisiones de radiactividad de alguna de las instalaciones del Departamento de Energía o de una central nuclear industrial.

En los datos combinados de todas las instalaciones, el RR de mortalidad por leucemia infantil luego de la puesta en marcha de las plantas fue 1,03, mientras que antes de la puesta en marcha fue superior, es decir, 1,08. Con respecto a la mortalidad por leucemia de todas las edades, el RR fue 0,98 luego de la puesta en marcha y 1,02 antes de ésta. En consecuencia, este estudio no halló ninguna vinculación general entre la residencia en un distrito dotado de una instalación nuclear y la muerte por leucemia, o, de hecho, por ningún otro tipo de cáncer. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la presencia en algunos distritos de grandes poblaciones a distancias considerables de las instalaciones nucleares podría diluir cualquier efecto que estuviera presente en zonas pequeñas aledañas a esas instalaciones.

No podemos llegar a la conclusión de que las instalaciones nucleares no hayan provocado ninguna muerte por cáncer entre las personas que viven en sus inmediaciones, pero sí se puede afirmar que si las instalaciones nucleares presentaban algún riesgo para las poblaciones vecinas, ese riesgo era demasiado pequeño para detectarlo mediante un estudio de esta índole.

Referencias

1. "The global impact of the Chernobyl reactor accident", L.R. Anspaugh, R.J. Catlin, y M. Goldman, *Science* 242:1513 a 1519 (1988).
2. *Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island*, J.G. Kemeny, Presidente, Washington DC (1979).
3. *Phase I of the Hanford Environmental Dose Reconstruction Project*, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, Documento PNL-7410HEDR (1990).
4. *Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria: Report of the Independent Advisory Group*, Londres (1984).
5. *First Report: The implications of the New Data on the Releases from Sellafield in the 1950s for the Conclusions of the Report on the Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1986).
6. "Childhood leukaemia in northern Scotland", M.A. Heasman, I.W. Kemp, J.D. Urquhart, y R. Black, *Lancet*, 1:266 (1986).
7. *Second Report: Investigation of the Possible Increased Incidence of Leukaemia in Young People Near the Dounreay Nuclear Establishment, Caithness, Scotland*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1988).
8. *Third Report: Report on the Incidence of Childhood Cancer in the West Berkshire and North Hampshire Area, in Which are Situated the Atomic Weapons Research Establishment, Aldermaston and the Royal Ordnance Factory, Burghfield*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), Londres (1989).
9. "Cancer near nuclear installations", D. Forman, P. Cook-Mozaffari y S. Darby et al., *Nature* 329:499 a 505 (1987).
10. *Cancer Incidence and Mortality in the Vicinity of Nuclear Installations in England and Wales, 1959-1980*, P.J. Cook-Mozaffari, F.L. Ashwood, T. Vicent, D. Forman y M. Alderson, Office of Population Censuses and Surveys, Londres (1987).
11. "Geographical variation in mortality from leukaemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969-78", P.J. Cook-Mozaffari, S.C. Darby, R. Doll et al., *Br J Cancer* 59:476 a 485 (1989).
12. "Cancer incidence patterns in the Denver metropolitan area in relation to the Rocky Flats plant", K.S. Crump, T-H Hg, y R.G. Cuddihy, *Am J Epidemiol* 126:127 a 135 (1987).
13. "Cancer mortality around La Hague nuclear facilities", M. Dousset, *Health Physics* 56:875 a 884 (1989).
14. "Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant", J.F. Viel y S.T. Richardson, *BMJ* 300: 580 y 581 (1990).
15. "Overall mortality and cancer mortality around French nuclear sites", C. Hill y A. Laplanche, *Nature* 347:755 a 757 a (1990).
16. "Incidence of leukaemia in young people in the vicinity of Hinkley Point nuclear power station, 1959-86", P.D. Ewings, C. Bowie, M.J. Phillipps, y S.A.N. Johnson, *BMJ* 299:289 a 293 (1989).
17. "Leukaemia near Massachusetts nuclear power plant", R.W. Clapp, S. Cobb, C.K. Chan, y B. Walker hijo, *Lancet* 2:1324 y 1325 (1987).
18. "Cancer mortality patterns around the San Onofre nuclear power plant, 1960-1978", J.E. Enstrom, *Am J Public Health* 73:83 a 92 (1983).
19. *Childhood Leukaemia around Canadian Nuclear Facilities: Phase 1, Final Report*, E.A. Clarke, J. McLaughlin y T.W. Anderson, Atomic Energy Control Board, Ottawa, Ontario (1989).
20. "Fallout, radiation doses near Dounreay, and childhood leukaemia", S.C. Darby y R. Doll, *BMJ* 294:603 a 607 (1987).
21. *Cancer in Populations Living near Nuclear Facilities*, S. Jablon, Z. Hrubec, J.D. Boice hijo, y B.J. Stone, Public Health Service, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, NIH Publication 90-874 Bethesda, Maryland (1990).
22. *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V), National Research Council, National Academy of Sciences, Washington DC, National Academy Press (1990).
23. *US Cancer Mortality Rates and Trends, 1950-1979*, W.B. Riggan, J. van Brujen, J.F. Acquavella, J. Beaubier y T.J. Mason, NCI/EPA Interagency Agreement on Environmental Carcinogens, Washington DC (1983).
24. *Statistical Methods in Cancer Research*, N.E. Breslow y N.E. Day, International Agency for Research on Cancer, Lyons, France, IARC Scientific Publication 82 (1987).
25. "Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity", E. Roman, V. Beral, L. Carpenter y otros, *BMJ* 294:597 a 602 (1987).
26. "Cancer near potential sites of nuclear installations", P. Cook-Mozaffari, S. Darby y R. Doll, *Lancet* 2:1145 a 1147 (1989).
27. "Lung cancer after employment in shipyards during World War II", W.J. Blot, J.M. Harrington, A. Toledo, R. Hoover, C.W. Heath hijo, y J.F. Fraumeni, *N Engl J Med* 299:620 a 624 (1978).
28. *Public Radiation Exposure From Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report 92, Bethesda, Maryland (1987).
29. "Results of case control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria", M.J. Gardner, M.P. Snee, A.J. Hall, C.A. Powell, S. Downes, y J.D. Terrell, *BMJ* 300:423 a 429 (1990).
30. "Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: Comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain", L. Kinlen, *Lancet* 2:1323 a 1327 (1988).