

AGENTES FISICOS Y QUIMICOS Y RIESGO CARCINOGENICO¹

E. Somers²

Los que se esfuerzan por identificar y reducir los riesgos ambientales tienen a su disposición un arsenal de instrumentos cada vez más abundante. En este artículo se examinan diversos problemas a los que se han aplicado esos instrumentos en Canadá (como los riesgos carcinogénicos presentados por el cloroformo, la fluoración del agua, la sacarina, el Tris y el radón) y se discuten las principales ventajas y deficiencias de los métodos empleados.

Introducción

Desde hace un decenio se reconoce cada vez más la suma importancia de los factores ambientales en el cáncer humano, gracias en gran parte a estudios geográficos, migratorios y ocupacionales. El término "factores ambientales" incluye aquí todos los riesgos de origen exógeno, no solo los agentes físicos y químicos extrínsecos, sino también factores del comportamiento como los baños de sol, la dieta, el hábito de fumar y la bebida (1, 2). La amplitud de esta definición pone de relieve la importante contribución de los hábitos individuales. No obstante, el ritmo acelerado de nuestra sociedad tecnológica presenta amenazas potenciales y reales para la salud humana que plantean problemas fundamentales a los mecanismos políticos y administrativos del estado moderno.

Estamos en una era química en la cual las aplicaciones de nuevos productos químicos (tejidos, combustibles, fertilizantes, aditivos alimentarios, etc.) se han multiplicado asombrosamente en los últimos treinta años; en el caso de los productos químicos orgánicos sintéticos, por ejemplo, estas aplicaciones se han multiplicado por más de 300 (3). Según cálculos actuales (4), se utilizan en la vida diaria unos 60,000 productos químicos naturales o sintéticos y cada año salen al mercado como mil nuevos productos. Muchos de estos productos químicos, o sus residuos, aparecen en los lugares de trabajo o en el aire, el agua, los alimentos o el suelo en forma de contaminantes emanados de los procesos de producción o consumo. Con todo, de más de 100,000 productos químicos potencialmente tóxicos, solo se ha ensayado en el laboratorio la carcinogenicidad de unos 6,000 (3).

Asimismo, la gama de artefactos profesionales o utilitarios que emiten radiaciones es cada vez más amplia y la búsqueda de sucedáneos de los combustibles fósiles ha llevado a un desarrollo creciente de la energía nuclear. En muchos países el debate público que ha seguido a esta evolución se ha

¹ Tomado de un trabajo presentado en el Seminario sobre Cáncer y Contaminación Ambiental celebrado en Brasilia, Brasil, el 25 de enero de 1979. Se publica en inglés en el *Bulletin of the Pan American Health Organization*, Vol. 14 No 2, 1980 Págs 172-184.

² Director General, Dirección de Salud Ambiental, Sección de Protección de la Salud, Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social, Ottawa, Canadá.

centrado en los efectos biológicos a largo plazo de las radiaciones ionizantes.

Ejemplos de evaluación de riesgos

Con objeto de ilustrar los mecanismos existentes para aminorar estos riesgos reales o presuntos, aduciré algunos ejemplos del criterio aplicado en el Canadá para reglamentar la evaluación y el ulterior control de los riesgos carcinogénicos químicos y físicos, teniendo debidamente en cuenta las limitaciones de que necesariamente adolecen esas evaluaciones. A continuación examinaré en un contexto más amplio las consecuencias del proceso de evaluación de riesgos.

El cáncer figura en nuestras estadísticas nacionales (5) no solo como la segunda causa más importante de defunción para ambos sexos, sino también como la primera en cuanto a la pérdida potencial de años de vida en las mujeres. Según el promedio de defunciones anuales y por localizaciones del cáncer, la máxima mortalidad es causada entre los hombres por los cánceres de pulmón, de colon y recto, y de próstata, y entre las mujeres por los de mama, de colon y recto, y de estómago. No obstante, un análisis de las formas del cáncer en Canadá en 1931-1974, para el que se aplicó un índice de prioridad basado en mediciones de mortalidad, morbilidad y tendencias a lo largo del tiempo, mostró que las localizaciones más importantes del cáncer eran el pulmón y la próstata en los hombres, la mama y el pulmón en las mujeres y el colon y recto en ambos sexos (6).

La mortalidad por cáncer de pulmón en Canadá ha aumentado fuertemente entre los hombres en los últimos 40-50 años y se ha acelerado en las mujeres desde 1960. Todo parece indicar que esto se debe en gran parte al hábito de fumar cigarrillos. Sin embargo, en lo que respecta a los carcinógenos presentes en los alimentos, se ha observado una disminución continua y significativa en la tasa ponderada por edades de la mortalidad por cáncer del estómago en ambos se-

xos; recientemente, un informe sobre Saskatchewan para 1950-1975 (7) ha confirmado esta tendencia.

Se exponen a continuación algunos ejemplos ilustrativos de la evaluación de riesgos carcinogénicos.

Cloroformo y trihalometanos

Recientemente hemos terminado un estudio y reevaluación completos de las normas y objetivos de 1968 para el agua potable en Canadá. Es conocida la presencia de trihalometanos en el agua potable tratada con cloro. El trihalometano hallado con más frecuencia en el agua potable es el cloroformo; una encuesta reciente (8) de unos 70 municipios canadienses ha mostrado que la concentración de cloroformo en el agua potable puede llegar a 0.121 mg por litro. Cabe, pues, preguntarse: ¿Es ésta una concentración aceptable?

Estudios epidemiológicos practicados en las cuencas bajas del Misisipi y del Ohio no han proporcionado pruebas inequívocas de una relación causal directa entre la contaminación del agua potable con cloroformo y diversos cánceres registrados, aunque se han concebido sospechas de su posible asociación con el cáncer de vejiga (9). En cambio, un estudio del Instituto Nacional de Cancerología de EUA halló una incidencia, relacionada con la dosis, de tumores malignos de riñón en ratas machos y de hígado en ratones de ambos sexos (10).

La dosis diaria utilizada para producir esos efectos fue alta: del orden de 100 a 500 mg por kg de peso corporal. Además, estudios con antitusivos y colutorios han demostrado que el cloroformo produce hepatotoxicidad en el ser humano con dosis orales diarias de 1 a 25 mg por kg en personas de 70 kg; se sabe que la exposición ocupacional al cloroformo en la industria farmacéutica produce lesiones hepáticas entre los trabajadores (11).

Tardiff (10) ha realizado un análisis de-

CUADRO 1— Uso de modelos matemáticos para calcular los niveles máximos de riesgo por ingestión de cloroformo.

Modelo matemático	Animales y órganos estudiados	Riesgo máximo estimado por millón de personas	Dosis máxima
Probit logarítmico (pendiente = 1)	Rata (riñón)	0.016-0.040 cánceres al año	0.01 mg/kg/día
Probit logarítmico (pendiente real)	Rata (riñón)	<0.001 cánceres de por vida	"
Probit logarítmico (pendiente real)	Ratón (hígado)	" "	"
Lineal (un impacto)	Rata (riñón)	0.420 cánceres al año	"
Dos etapas	Rata (riñón)	0.28 cánceres al año	"
Dos etapas	Ratón (hígado)	" "	"

Fuente: R. G. Tardiff (10).

tallado con cuatro modelos matemáticos diferentes³ para determinar el riesgo máximo que entraña el beber agua de grifo que contiene cloroformo. Un margen décuplo de seguridad aplicado a las lesiones hepáticas en el hombre situaría la dosis diaria máxima aceptable en 0.03 mg por kg. Como se señala en el cuadro 1, la extrapolación de estudios con roedores indica que el riesgo máximo con una dosis diaria máxima de 0.01 mg por kg asciende a 0.4 cánceres por millón de personas al año. En una persona de 70 kg que consuma dos litros de agua al día, esa ingesta (0.01 mg por kg) sería producida por una concentración de cloroformo en el agua de 0.35 mg por litro. Por consiguiente, 0.35 mg por litro es la concentración máxima aceptable recomendada del total de trihalometanos en el agua potable. El nivel objetivo, es decir, la meta final de calidad para los trihalometanos, es una concentración inferior o igual a 0.0005 mg por litro.

En este ejemplo, la extrapolación estadística al hombre de estudios con animales es defendible porque conocemos el órgano humano afectado por el cloroformo y porque, según ciertos indicios, las vías metabólicas

son similares. Basándonos en esos datos, podemos decir que el riesgo de cáncer de hígado o de riñón para una persona que bebe agua que contiene cloroformo oscila entre un riesgo nulo y un riesgo máximo de una probabilidad por 2.5 millones al año.

Acido nitrilotriacético (NTA)

El ácido nitrilotriacético (NTA) se usa mucho en el Canadá como aditivo en los detergentes; su consumo supera actualmente los 50 millones de libras al año (22.7 millones de kg); la mayor parte de esta cantidad se evacua por las aguas servidas. En estudios con ratas y ratones se ha observado que dosis elevadas de NTA aumentan la incidencia de tumores en las vías urinarias (12). En una encuesta reciente sobre agua potable (13), hallamos una concentración nacional media de 2.8 µg de NTA por litro. Suponiendo una concentración de 50 µg de NTA por litro (mayor que la registrada en el 99% como mínimo de las muestras de agua potable examinadas) y sin tener en cuenta la menor absorción del compuesto por el ser humano en comparación con los roedores, la ingesta diaria en un hombre de 70 kg que beba 2.0 litros de agua sería de 0.001 mg por kg. Aplicando el modelo aritmético lineal, el riesgo máximo probable de cáncer produci-

³ Un modelo con margen de seguridad, el modelo de probit logarítmico (Mantel/Bryan) un modelo lineal o de un impacto y un modelo de dos etapas.

do por esa ingesta sería de aproximadamente una probabilidad por dos millones. El factor de seguridad para otros efectos del NTA (basado en alteraciones bioquímicas e histológicas) es de aproximadamente uno por 10,000. En consecuencia se ha recomendado como concentración máxima aceptable 0.05 mg de NTA por litro. La concentración objetiva (meta final de calidad) es inferior a 0.0002 mg por litro.

Fluoración del agua

La fluoración del agua potable es desde hace mucho tema de muchas polémicas. Esta medida se introdujo en el Canadá en 1945 y hoy día aproximadamente el 46% de los que cuentan con abastecimiento público de agua reciben agua fluorada (14). Yiamouyiannis y Burk (15) afirmaron que la fluoración incrementó las tasas de cáncer en los Estados Unidos, pero esta aseveración no ha resistido el análisis crítico (15, 16). Hemos examinado los casos de mortalidad por cáncer en unos 79 grupos de municipios de todo el Canadá, que comprenden más de 300 municipios distintos con una población de 12.4 millones (16). La comparación de las tasas de mortalidad correspondientes a 1954-1973 en el 58% de la población canadiense (tanto en lo que respecta a todos los tipos de cáncer como a cánceres en localizaciones determinadas) no ha mostrado diferencias apreciables entre los habitantes de municipios con o sin fluoración del agua potable. Ni se observaron diferencias significativas entre las tasas de mortalidad por todos los tipos de cáncer en ninguno de los grupos de municipios antes y después de la fluoración.

Nitrosaminas

En virtud de la ley sobre productos peligrosos, el Gobierno Federal de Canadá tiene la responsabilidad de asegurar la pro-

tección contra los productos de consumo peligrosos. Los lubricantes sintéticos utilizados para reducir la fricción durante el rectificado de los metales suelen contener etanolaminas como emulsivos y nitrito como inhibidor de la corrosión. Estos compuestos pueden reaccionar produciendo concentraciones elevadas de nitrosaminas carcinogénicas. Fan *et al.* (17) han hallado hasta un 3% de N-nitrosodietanolamina en esos lubricantes; nuestros análisis (18) de 24 muestras han mostrado que ocho contenían este compuesto en concentraciones de hasta 0.5%. Aunque la N-nitrosodietanolamina tiene una actividad carcinogénica menor que muchas nitrosaminas, en todas las ratas de un grupo al que se estuvieron administrando 100-200 mg diarios de esta sustancia por kg aparecieron tumores hepáticos (19). No conocemos el grado en que los trabajadores absorben esta nitrosamina, por inhalación o por absorción cutánea, pero la intensidad y gravedad del riesgo presunto se consideraron suficientes para que se propusiese la prohibición de la presencia simultánea de nitritos y etanolaminas en los lubricantes utilizados en el corte de metales.

Tris

Por análogas consideraciones se prohibió el uso del Tris (2,3-dibromopropil) fosfato, un piroretardante para tejidos utilizado en la ropa para niños. Estudios practicados por el Instituto Nacional de Cancerología de EUA han comprobado que la forma comercial del Tris es carcinogénica en los roedores, mutagénica para los sistemas de prueba iónicos, y susceptible de ser absorbida por la piel.

Sacarina

La conocida decisión canadiense de eliminar la sacarina, edulcorante artificial, de los alimentos, medicamentos y cosméticos

se basó en estudios en los cuales se administró a dos generaciones de ratas una dieta que contenía 5% de sacarina de sodio (20). En las ratas machos de ambas generaciones se observó una incidencia significativa de tumores de la vejiga. La dosis de sacarina era por lo menos 800 veces mayor que la exposición humana, suponiendo un consumo humano equivalente a una botella de bebida "dietética" al día. Aunque había otros datos que llevaron a la misma conclusión, este fue el experimento en que específicamente se basó la decisión mencionada, en una época en que se usaban en el Canadá unas 200,000 libras (aproximadamente 90,000 kg) de sacarina al año en los alimentos.

Difenilos policlorados (DPC)

Los DPC son contaminantes ambientales persistentes y ubicuos cuya utilización fue restringida en 1977 por la ley de contaminantes ambientales a los sistemas eléctricos y de transferencia térmica cerrados. Hay indicios de que los DPC producen carcinomas en los roedores y, a raíz de estudios con monos y del incidente de Yusho en Japón con aceite de arroz contaminado (21), ha suscitado preocupación su posible toxicidad trasplacentaria. Una encuesta de la Sección de Protección de la Salud sobre la leche humana encontró concentraciones de DPC de hasta 68 partes por mil millones siendo la concentración media de 12 partes por mil millones (22). Se acaban de proponer nuevas normas para prohibir todas las nuevas aplicaciones de los DPC; si se adoptan, estas normas ayudarían a reducir la concentración de DPC en el medio ambiente.

Radiaciones ionizantes

La evaluación de los riesgos de las radiaciones ionizantes se fundamenta en ba-

ses más seguras que la de los carcinógenos químicos, ya que los riesgos biológicos de las radiaciones en poblaciones humanas están bien demostrados (y a menudo de manera trágica) y, además, se han determinado las relaciones dosis-efecto. Los informes del Comité Asesor sobre los Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (23) y las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica proporcionan estimaciones detalladas y bien documentadas del riesgo.

Por ejemplo, una encuesta sobre artefactos emisores de radiaciones ionizantes en las escuelas de Ottawa reveló en 1972 que se usaban muchos de estos aparatos para demostraciones. Entre ellos había tubos de rayos X de cátodo frío no protegidos, cuya exposición máxima a una distancia de 30 cm era de 4 a 35 roentgens por hora. Esto podía equivaler a la absorción de una dosis media de hasta un rem por los niños que observaban la demostración. Esta sola demostración corresponde en cada niño a un riesgo de contraer un cáncer letal equivalente a una probabilidad por 10,000 al año. Se consideró que este riesgo justificaba sobradamente la reglamentación de esos aparatos, cuya inspección se había de efectuar en la fase de fabricación. En consecuencia, en la ley sobre artefactos emisores de radiaciones de febrero de 1976, se reglamentó el diseño, construcción y normas de funcionamiento de los aparatos de descarga gaseosa para uso didáctico.

Radioactividad en el agua potable

Hemos aplicado este método estadístico a la evaluación de riesgos para fijar pautas relativas a la radioactividad en el agua potable. Hay abundante información sobre la mayoría de los radionúclidos hallados en el agua potable (Ra-226, I-131, Cs-137) en cuanto a su destino metabólico tras la ingestión por el ser humano. Así pues, para calcular la dosis de radiación anual durante to-

da la vida se pueden usar los parámetros conocidos sobre la distribución y retención de un radionúclido determinado en el hombre. Según estimaciones de los informes mencionados sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (23), el excedente anual de defunciones por cáncer en una población expuesta a una dosis de 200 milirems al año es de 15 a 35 por millón. Combinando los parámetros de concentración-dosis con los de dosis-efectos en la salud es posible deducir la relación entre la concentración y los efectos en la salud. En consecuencia, hemos establecido pautas sobre las concentraciones aceptables de radioactividad en el agua potable a un nivel determinado de riesgo; a saber, una defunción anual por cáncer por cada millón de personas.

Radón y productos de su desintegración

Hay pruebas epidemiológicas de que la exposición al radón y a los productos de su desintegración pueden provocar cáncer de pulmón. Se ha demostrado que los trabajadores en minas de uranio y espatofluor del Canadá están expuestos; las autoridades federales han establecido para los trabajadores en minas y factorías de uranio una exposición máxima admisible a los productos de la desintegración del radón de cuatro meses de nivel de trabajo (MNT)⁴ al año y 2 MNT al trimestre. En una reevaluación reciente de los trabajadores en minas de espatofluor de San Lorenzo, Terranova, se calcularon exposiciones de MNT sumamente elevadas y unas 65 defunciones por cáncer de pulmón entre los mineros de fondo, en comparación de 6.4 defunciones previsibles entre trabajadores a cielo abierto no expuestos (24); la mina fue cerrada el año pasado.

El radón y los productos de su desintegración pueden también estar presentes en comunidades donde no hay minería del ura-

nio. De hecho, el radón y sus productos formados a partir de indicios de radio en las rocas y en el suelo son una parte importante del material causante de la radioactividad básica natural en el aire de la baja atmósfera. En una encuesta que hicimos (25) sobre unos 10 mil hogares seleccionados al azar en 14 ciudades canadienses, más del 13% de ellos tenían concentraciones de productos del radón superiores a los 0.02 NT usados como nivel de referencia para las comunidades donde hay minas de uranio. No obstante, estimaciones del riesgo internacionalmente aceptadas sugieren que el número de cánceres y anomalías genéticas inducidas en la población general por la irradiación básica natural no excede de aproximadamente el 1% del número de cánceres y anomalías genéticas normalmente presentes en esa población (26).

Asbesto

El agente carcinogénico físico más notorio es el asbesto, cuyo segundo mayor productor del mundo es Canadá. En lo que respecta a la reglamentación del asbesto, el Departamento de Salud y Asistencia Social Nacional del Canadá ha recomendado como norma dos fibras por centímetro cúbico, aplicable tanto a los lugares de trabajo como a las emisiones al exterior en operaciones mineras y de transformación. Se ha prohibido el uso del asbesto en las arcillas para modelar y juguetes infantiles, y se ha propuesto la misma medida para los compuestos que contienen asbesto utilizados para revestir paredes. En una encuesta practicada por Wigle (27) sobre la mortalidad por cáncer en Quebec, en la cual se agrupó a los sujetos según los indicios de exposición a fibras de asbesto en el abastecimiento municipal de agua, no se observó asociación alguna. Sin embargo, estamos proyectando emprender un estudio más completo de los resultados obtenidos en los análisis del contenido de fibras de asbesto en el agua potable de unos 75 municipios del Canadá.

⁴ El nivel de trabajo es una unidad de medida de los rayos alfa emitidos por productos de la desintegración del radón a que están expuestos los mineros.

Evaluación de riesgos y modelos animales

Hemos expuesto algunos ejemplos del modo como un organismo gubernamental de control procede a la evaluación de los riesgos que comporta un factor ambiental y aplica a continuación medidas reglamentadoras. Muchas evaluaciones están basadas en experimentos con animales, lo cual plantea dos cuestiones fundamentales: ¿Hasta qué punto son válidas las comparaciones entre el hombre y el animal? ¿Hasta qué punto son legítimas las extrapolaciones de las dosis elevadas a las dosis bajas?

Aunque los procesos biológicos básicos de las funciones moleculares, celulares y orgánicas son semejantes en las diversas especies de mamíferos, hay marcadas diferencias entre el ser humano y el modelo comúnmente utilizado para las pruebas de toxicidad. La variedad de ratas es homogénea y se mantiene en condiciones cuidadosamente controladas y prácticamente uniformes de alimentación, luz, sonido, etc., de manera que los daños recibidos son atribuibles a un único factor etiológico (28). En ciertos aspectos, cuanto más compleja es la prueba tanto más limitada es su aplicación. No obstante, se sabe que casi todos los 26 productos químicos o procesos industriales enumerados en el cuadro 2 (aquellos cuya asociación con el cáncer humano ha sido demostrada por el programa del Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer) (29) son carcinogénicos en los animales (30). El argumento inverso, es decir, que los productos químicos carcinogénicos para los animales en el laboratorio lo son también para el hombre, está ahora respaldado por abundantes experiencias; pero el valor demostrativo de algunas de estas experiencias es indirecto, y en todas ellas depende de la naturaleza de la prueba y de la especie, del órgano afectado, de la vía de administración y de la gama entera de procesos metabólicos y de excreción. La existencia comprobada de anomalías (la aflatoxina B1

CUADRO 2—Veintiseis productos químicos (y algunos procesos industriales conexos) clasificados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer como asociados con el cáncer humano.

Aflatoxinas	Fenacetina
4-aminodifenilo	Fenitoína
Arsénico (compuestos)	Gas mostaza
Asbesto	Hematita (minería)
Auramina (producción de)	Isopropilo (aceite)
Benceno	Hollín, alquitranes y aceites
Bencidina	Melfalano
Bis (clorometil) eter	2-naftilamina
Ciclofosfamida	Niquel (refinación)
Cloramfenicol	N, N-Bis(2-cloroetilo)
Cloruro de vinilo	-2-naftilamina
Cromo (industrias productoras de cromatos)	Oxido de cadmio
Dietilestilbestrol	Oximetolona

Fuente: L. Tomatis *et al.* (29).

es carcinogénica en las ratas pero no en los ratones adultos; la 2-naftilamina es un carcinógeno activo en la vejiga humana, pero débil o específico para otras localizaciones en los roedores) no debe enturbiar los notables adelantos logrados en el último decenio en nuestra capacidad de hacer extrapolaciones de los animales al hombre.

A este respecto, me impresionó profundamente un estudio reciente de Gehring *et al.* (31) en el que se utilizaron datos de dosis-respuesta sobre la inducción del angiosarcoma en ratas expuestas a cloruro de vinilo para calcular el riesgo en el ser humano. El estudio preveía 10 angiosarcomas hepáticos en una cohorte epidemiológica de 9,677 trabajadores, de los cuales sucedieron cinco. Si se considera, para la aparición del cáncer, el período de latencia aún vigente para muchos trabajadores, queda patente la exactitud del modelo animal.

La limitación de los recursos y el gran número de productos químicos por examinar restringen necesariamente el número de animales con los que se pueden hacer pruebas. Es preciso utilizar dosis grandes para detectar los efectos carcinogénicos y extrapolar de los resultados los riesgos de cáncer con dosis pequeñas. Desde los trabajos de Mantel y Bryan (32) en 1961, se han elaborado

diversas técnicas matemáticas (33, 34), en las que se usa la extrapolación lineal para proyectar hipótesis de lo que puede suceder en el peor de los casos. En estos tipos de experimentos, aun cuando no haya indicios de carcinogenicidad, no es posible demostrar concluyentemente que no existe ese riesgo (35). Además, la extrapolación a dosis bajas está cargada de factores imponderables; actualmente se está debatiendo vigorosamente la inconveniencia de equiparar los daños causados por la irradiación física a las reacciones celulares implícitas en la carcinogénesis química, o de suponer que los efectos biológicos son proporcionales a la dosis independientemente de la cuantía de esta o de la tasa de exposición. Se considera, por ejemplo, que el ácido nitrilotriacético es carcinogénico en dosis elevadas porque despoja al organismo de iones metálicos, mecanismo que no se produce con dosis bajas (36). No obstante, cabe decir que estas técnicas estadísticas constituyen un instrumento para situar la evaluación de los riesgos en el contexto total del problema analizado.

El tiempo, los gastos y las dificultades materiales de las pruebas con animales han estimulado la búsqueda de métodos de prueba a corto plazo idóneos para identificar los carcinógenos. El método más prometedor hasta ahora se basa en la correlación entre mutagénesis y carcinogénesis. Se ha establecido cierto número de ensayos de mutagenicidad, de los cuales el más conocido, utilizado y mejor confirmado es el ensayo de microsomas de *Salmonella*, elaborado por Bruce Ames (37). Ninguna de estas pruebas es una demostración incontrovertible de carcinogenicidad, pero el ensayo con *Salmonella* ha detectado el 90% aproximadamente de los agentes carcinógenos examinados (38, 39), al igual que un ensayo de transformación *in vitro* de células de mamífero (39). En combinación, estos dos ensayos han detectado prácticamente todos los carcinógenos examinados (99.2%), si bien la proporción de falsas positividades (8.8%) fue relativamente elevada (39). En

nuestros laboratorios se está aplicando una serie de pruebas de mutagenicidad a corto plazo para obtener información que nos ayude a identificar nuevas investigaciones prioritarias sobre una amplia gama de productos químicos que son componentes importantes de productos domésticos corrientes, como pinturas, productos de limpieza a base de disolventes y tejidos para ropa.

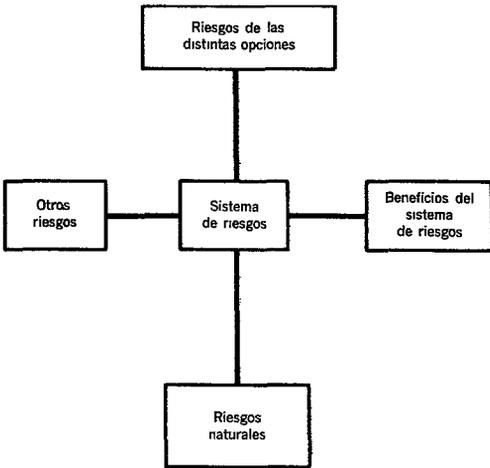
A medida que se conozcan mejor los diversos factores que influyen en la relación entre la actividad mutagénica de un producto químico y su actividad carcinogénica, es probable que se perfeccionen los procedimientos de ensayo y aumente la correlación. No obstante, es dudoso que los ensayos de mutagenicidad a corto plazo lleguen a hacer innecesarias la epidemiología humana y las pruebas cancerológicas con animales.

Aceptabilidad del riesgo

Examinaré ahora la cuestión más general de la evaluación del riesgo que presentan los carcinógenos, definiendo los elementos de esta evaluación como identificación del riesgo, estimación del riesgo (determinación científica lo más cuantitativa posible) y valoración del riesgo (ponderación de su aceptabilidad) (40).

Este último elemento, la valoración del riesgo, consiste en comparar unos riesgos con otros, sopesar los riesgos y los beneficios y ponderar la aceptabilidad social de los riesgos. Una técnica de valoración del riesgo especialmente útil es compararlo con otros riesgos o con los beneficios presuntos. En la figura 1 se presenta el enfoque esquemático descrito por Burton y Whyte (40). Este enfoque permite deducir ecuaciones que muestren niveles de riesgo elevado (superiores a los del riesgo natural), el riesgo comparativo (respecto de otros riesgos), el riesgo opcional (frente al riesgo de otras opciones) y la relación riesgo-beneficios (sopesar el riesgo con los beneficios).

FIGURA 1—Enfoque esquemático para valorar un "sistema" de riesgos. Las casillas periféricas presentan los cuatro tipos de comparación aplicables.



Fuente: I. Burton y A. V. Whyte (40).

Grado de riesgo

El grado de riesgo se define en comparación con el riesgo que entrañan los factores naturales de base: el nivel de "ruido de fondo" del sistema. El contaminante quizás existe desde siempre (como el mercurio en el pescado o el fluoruro en el agua potable) y se han aceptado sus efectos benéficos o perjudiciales. Asimismo, la dosis básica natural de radiaciones ionizantes a la que estamos expuestos es apreciable, del orden de 100 milirems al año, a las que se suman las radiaciones cósmicas para los que viven a gran altitud.

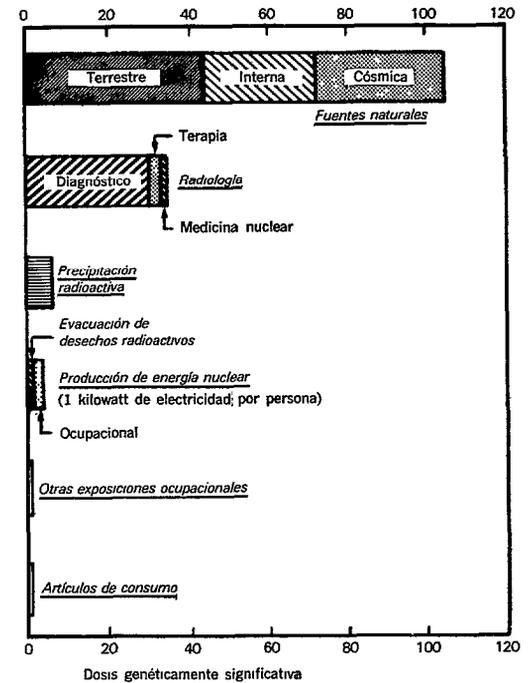
La figura 2 muestra la dosis anual de radiaciones ionizantes genéticamente significativa, promediada por toda la población. Cabe observar por qué los partidarios de la energía nuclear encuentran inexplicable con tanta frecuencia la actitud de sus adversarios. La exposición total de la población a las radiaciones de la industria nuclear es solo una pequeña proporción de la recibida de fuentes naturales.

Riesgo comparativo

La figura 2 ilustra también el riesgo comparativo, ya que muestra que el riesgo de la energía nuclear es pequeño en comparación de los rayos X y la radioterapia en medicina. Es decir, las profesiones médica y afines son el origen de la mayor parte de nuestra dosis artificial de radiaciones ionizantes, cuestión que ha causado gran preocupación a las autoridades de salud (42).

Un criterio habitual para calibrar el riesgo comparativo es la comparación del número de defunciones. Pochin (43) proporciona un ejemplo de este enfoque (véase el cuadro 3), que se suele aplicar para comparar ocupaciones o formas de transporte. Cohen (44) se ha divertido aplicando esta técnica al riesgo de cáncer de vejiga por in-

FIGURA 2—Dosis genéticamente significativa de radiaciones ionizantes recibida anualmente por un habitante medio.



Fuente: E. E. Pochin, tomado de A. M. Aiken et al. (41).

CUADRO 3—Comparación del riesgo estimado de diversas actividades.

Actividad	Causa del riesgo	Defunciones por millón de participantes al año
Alpinismo ^a	Accidentes	30-40
Minería del carbón (Reino Unido) ^a	Todas las causas	300
Minería (EUA) ^a	Accidentes	1,000
Población del Canadá (1974) ^b	Total de cánceres	1,500
Minería del uranio (EUA) ^a	Cáncer de pulmón	1,500
Producción de asbesto (fumadores varones, Reino Unido) ^a	Cáncer de pulmón	2,300
Pesca submarina ^a	Accidentes	2,800
Consumo de 20 cigarrillos al día ^a	Cáncer de pulmón	5,000

^a Fuente: E. E. Pochin (43).

^b Fuente: *Cancer Patterns in Canada, 1931-1974* (5).

gestión de bebidas que contienen sacarina: la no instalación de una alarma contra incendios es tan peligrosa como ingerir tres bebidas "dietéticas" diarias; el simple cruzar la calle es aproximadamente tan peligroso como una de esas bebidas. Esto es, ciertamente, una *reductio ad absurdum*, pero la gradación de los riesgos puede ser provechosa.

Riesgo opcional

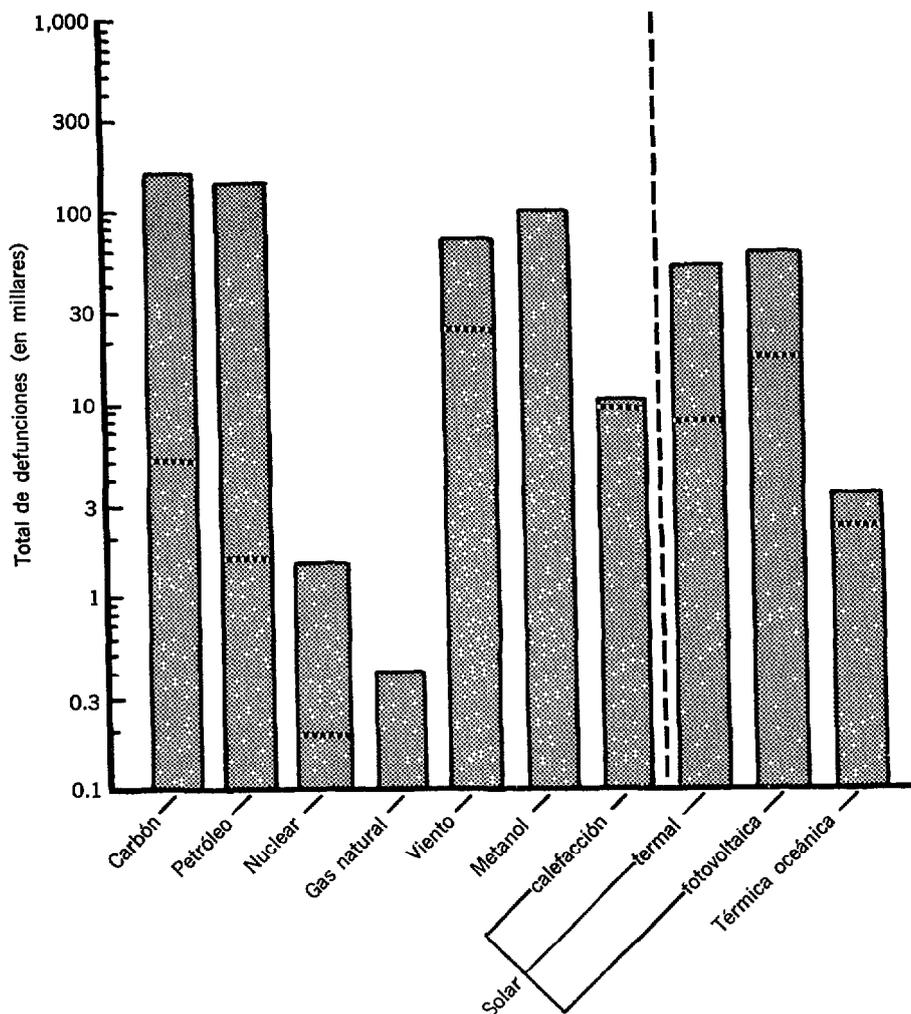
El riesgo opcional, es decir, el que entraña una opción en comparación con las demás, ha sido cuantificado para la producción de energía. Inhaber (45) ha calculado la pérdida de días-hombre y el total de defunciones para diversos sistemas energéticos (véase la figura 3). Como indica la figura, en lo que respecta al total de defunciones (tanto generales como de origen profesional) y a los días-hombre perdidos por unidad de energía neta producida (un megawatt-año), la energía generada por el gas natural es la que entraña el menor riesgo, seguida por la energía nuclear y la energía térmica oceánica. Aunque se han criticado estas conclusiones, es de pensar que este análisis constituye un método lógico a la hora de sopesar los riesgos de varias opciones destinadas a obtener el mismo

producto final, en este caso la energía. La selección entre varias opciones está en el corazón del proceso de evaluación de riesgos. El conocimiento de que había otros pirorretardantes para tejidos influyó en la decisión de prohibir el Tris. Cuando se retiraron del mercado los ciclamatos, ya se disponía de la sacarina para las bebidas "dietéticas". Si se sustituye la cloración del agua por la ozonización, hemos de preguntarnos: ¿cuál es la toxicidad de los productos de la reacción y cuál es la calidad microbiana del agua tratada? Como señalaba el informe sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (23): El público debe ser protegido contra las radiaciones, pero no hasta el punto de que el grado de protección logrado equivalga a sustituir la irradiación evitada por un riesgo peor.

Relación riesgo-beneficios

El cuarto modo de comparar los riesgos es compararlos con los beneficios que producen. Como pacientes, aceptamos los riesgos de la medicina, provengan de los medicamentos, la cirugía o los rayos X, por razón de sus beneficios. Los riesgos de los plaguicidas para los sistemas ecológicos pueden ser sopesados con la producción de alimentos. La cloración del agua potable protege in-

FIGURA 3—Promedio previsto de defunciones (en millares) en la producción de un megawatt-año de energía por diferentes métodos.



Fuente: Tomado de H. Inhaber (45).

discutiblemente contra un grupo de enfermedades transmitidas por el agua.

En algunos casos se acepta que los beneficios sobrepasan los riesgos pero también plantean el problema básico de la valoración social. Las técnicas aparentemente objetivas del análisis de costos y beneficios y de los pros y contras de cada decisión se derrumban frente a la realidad de los valores, aspiraciones, creencias e incluso caprichos humanos. Aunque la sociedad valúa

implícitamente las vidas humanas en muchas de sus decisiones, nos repele, y con razón, el poner valor monetario a la vida humana. En años recientes, esta lección se ha aprendido a la fuerza en muchos países, donde la decisión política final sobre la aceptabilidad de los riesgos ha arrumbado costosos y prolongados análisis que proponían reactores nucleares o sitios para aeropuertos. Se ha difundido una desconfianza marcada contra la alta tecnología (46).

En los últimos años, se ha avanzado mucho en la configuración de un marco racional para adoptar decisiones. Mientras reconocemos las limitaciones de nuestros conocimientos (admitiendo que algunas de nuestras extrapolaciones, denominadas "transcientíficas" por Weinberg (47), pueden muy bien rebasar la aplicabilidad práctica del método científico y que las decisiones reglamentadoras sobre riesgos carcinogénicos ambientales no son mejores ni peores que el proceso político seguido para adoptarlas) podremos estar a la altura de esta extraordinaria sociedad tecnológica que estamos creando.

Resumen

En nuestra actual era "química" se ha incrementado muchísimo el uso de nuevos productos, algunos de los cuales representan graves riesgos para la salud y pocos han sido probados adecuadamente. Asimismo, en años recientes ha aumentado el número de aparatos emisores de radiaciones y el desarrollo de la energía nuclear. Este artículo aprovecha la experiencia canadiense en materia de salud ambiental para ilustrar los medios disponibles por los gobiernos para evaluar y controlar los riesgos reales o presuntos que presenta esa evolución.

Un tipo importante de evaluación es la estimación del riesgo carcinogénico. En este campo, los estudios con roedores sirven a veces de base para extrapolar esos riesgos al hombre. Por ejemplo, se han utilizado en el Canadá para fijar las concentraciones máximas admisibles de cloroformo y ácido

nitritotriacético en el agua potable y para prohibir el empleo de la sacarina, las nitrosaminas y los difenilos policlorados. Además, los estudios comparativos de poblaciones humanas pueden en ocasiones facilitar la información deseada, por ejemplo, para evaluar los peligros que presenta la fluoración del agua; las pruebas de mutagenicidad pueden a veces resultar útiles, como sucedió para estimar los riesgos que entrañaba el piroretardante Tris.

La evaluación de los riesgos de las radiaciones ionizantes tiene fundamentos más seguros que la de los carcinógenos químicos, ya que los riesgos biológicos de las radiaciones en poblaciones humanas están bien demostrados y se han determinado las relaciones dosis-efecto. Esos datos, combinados con el análisis de muestras estadísticas y los resultados de pruebas, constituyen una buena base para calcular los riesgos que presentan, por ejemplo, el equipo de rayos X, las emisiones de los reactores nucleares y los radionúclidos en el agua.

Además de evaluar esos riesgos, es también necesario cotejarlos con los beneficios recibidos, con otros riesgos ambientales y con los riesgos que comportan los productos o aparatos sustitutivos.

En conjunto, se ha avanzado mucho recientemente en la creación de un marco racional para las decisiones. Mientras reconocemos que algunas de las extrapolaciones efectuadas van quizás más allá de la aplicabilidad práctica del método científico y que las decisiones reglamentadoras no valen más que los procesos políticos aplicados para adoptarlas, podremos responder a las exigencias de la extraordinaria sociedad tecnológica que estamos creando. ■

REFERENCIAS

- (1) Barna-Lloyd, G. Letters: Environmentally caused cancers. *Science* 202:469, 1978.
- (2) Higginson, J., y C. S. Muir. The role of epidemiology in elucidating the importance of environmental factors in human cancer. *Cancer Detect Prev* 1:79-105, 1976.
- (3) Estados Unidos de América. Organismo para la Protección Ambiental. *First Annual Re-*

- port to Congress by the Task Force on Environmental Cancer and Heart and Lung Disease. Washington, D. C., 1978.
- (4) Maugh, T. H. Cancers: How many are there? *Science* 199-162, 1978.
 - (5) Canadá. Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social. *Cancer patterns in Canada, 1931-1974*. Ottawa, 1977. 246 págs.
 - (6) Wigle, D. T. Cancer patterns in Canada. *Can J Public Health* 69: 113-120, 1978.
 - (7) Canadá. Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social. Oficina de Epidemiología. *Cancer incidence trends in Saskatchewan, 1950-1975*. Ottawa, 1978.
 - (8) Canadá. Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social. *National survey for halo-methanes*. Documento No. 77-EHD-9. Ottawa, 1977.
 - (9) Estados Unidos de América. Academia Nacional de Ciencias. *Epidemiological studies of cancer frequency and certain organic constituents of drinking water*. Washington, D. C., 1978.
 - (10) Tardiff, R. G. Health effects of organics: risk and hazard assessment of ingested chloroform. *JAWWA* 69:658-661, 1977.
 - (11) Estados Unidos de América. Departamento de Salud, Educación y Bienestar. *NIOSH criteria document on occupational exposure to chloroform*. Documento NIOSH 75-114. Washington, D. C., 1974.
 - (12) Estados Unidos de América. Departamento de Salud, Educación y Bienestar. *Bioassays of nitrilotriacetic acid (NTA) and nitrilotriacetic acid, trisodium salt, monohydrate (Na₃NTA.H₂O) for possible carcinogenicity*. National Cancer Institute. Carcinogenesis Technical Report Series 6. Washington, D.C., 1977.
 - (13) Malaiyandi, M., D. T. Williams y R. O. O'Grady. A national survey of nitrilotriacetic acid in Canadian drinking water. *Environ Sci Tech* 13:59-62, 1979.
 - (14) Canadá. Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social. *Fluoridation in Canada as of December 31, 1976*. Documento No. 78-EHD-19. Ottawa, 1978.
 - (15) Taves, D. R. Fluoridation and cancer mortality. En: Hiatt, H. H., J. D. Watson y J. A. Winsten (Eds.). *Origins of Human Cancer. Book A*. Cold Spring Harbor Laboratory, 1977. Págs. 357-366.
 - (16) Canadá. Departamento Nacional de Salud y Asistencia Social. *Fluoridation and cancer*. Documento No. 77-EHD-18, Ottawa, 1977.
 - (17) Fan, T. Y., J. Morrison, D. P. Rounbehler, et al. N-nitrosodiethanolamine in synthetic cutting fluids: A part-per-hundred impurity. *Science* 196:70-71, 1977.
 - (18) Williams, D. T., F. Benoit y K. Muzika. The determination of N-Nitrosodiethanolamine in cutting fluids. *Bull Environ Contam Toxicol* 20:206-211, 1978.
 - (19) Druckrey, H., R. Preussman, S. Ivankovic y D. Schmahl. Organotrope carcinogene wirkungen bei 65 verschiedenen N-nitroso-Verbindungen and BD-Ratten. Efectos carcinógenos organotrópicos de 65 distintos compuestos de N-nitroso en ratas BD. *Z Krebsforsch* 69:103-201, 1967. (En alemán.)
 - (20) Arnold, D. L., C. A. Moodie, H. C. Grice, S. M. Charbonneau, B. Stavric, B. T. Collins, P. F. McGuire, Z. Z. Zadwidzka e I. C. Munro. Long term toxicity of orthotoluene sulfonamide and sodium saccharin in the rat. *Toxicol Appl Pharmacol* 52:113-152, 1980.
 - (21) Organización Panamericana de la Salud. *Difenilos y trifenilos policlorados*. Criterios de salud ambiental 2. Washington, D.C., 1979.
 - (22) Mes, J. y D. J. Davies. Presence of polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues and the absence of polychlorinated terphenyls in Canadian human milk samples. *Bull Environ Contam Toxicol* 21:381-387, 1979.
 - (23) Estados Unidos de América. Academia Nacional de Ciencias y Consejo Nacional de Investigaciones. *Report of the Advisory Committee on biological effects of ionizing radiation*. Washington, D.C., 1972 y 1977.
 - (24) de Villiers, A. J. y D. T. Wigle. (Datos inéditos.)
 - (25) Létourneau, E. G., R. G. McGregor y H. Taniguchi. Background levels of radon and radon daughters in Canadian homes. *Proc. NEA Symposium on personal dosimetry and area monitoring suitable for radon and daughter products*. París, OECD, 1978. Pág. 167.
 - (26) Myers, D. K. *Low-level radiation: A review of current estimates of hazards to human populations*. Documento AECL-5175. Chalk River, Ontario, Atomic Energy of Canada Ltd., 1977.
 - (27) Wigle, D. T. Cancer mortality in relation to asbestos in municipal water supplies. *Arch Environ Health* 32:185-190, 1977.
 - (28) Grice, H. C. En Galli, C. L., R. Paoletti y G. Vettorazzi (Eds.). *Chemical Toxicology of Food*. Amsterdam, Elsevier, 1978.
 - (29) Tomatis, L., C. Agthe, H. Bartsch, J. Huff, R. Montesano, R. Saracci, E. Walker y J. Wilbourn. Evaluation of the carcinogenicity of chemicals: A review of the Monograph Program of the International Agency for Research on Cancer (1971 to 1977). *Cancer Res* 38:877-885, 1978.
 - (30) Rall, D. P. Presentación inédita ante la Acade-

- mia de Ciencias de Nueva York, Semana de las Ciencias, 1978.
- (31) Gehring, P. J., P. G. Watanabe y C. N. Park. *Toxicol Appl Pharmacol* (En prensa.)
- (32) Mantel, N. y W. R. Bryan. "Safety" testing of carcinogenic agents. *J Natl Cancer Inst* 27:455-470, 1961.
- (33) Gross, M. A. y O. G. Fitzhugh. Evaluation of safety for food additives: An illustration involving the influence of methyl salicylate on rat reproduction. *Biometrics* 28:181-184, 1970.
- (34) Crump, K. S., D. G. Hoel, C. H. Langley y R. Peto. Fundamental carcinogenic processes and their implications for low dose risk assessments. *Cancer Res* 36:2973-2979, 1976.
- (35) Hoel, D. G., D. W. Gaylor, R. L. Kirschstein, U. Saffiotti y M. A. Schneiderman. Estimation of risks of irreversible, delayed toxicity. *J Toxicol Environ Health* 1:133-151, 1975.
- (36) Kanerva, R. *Special problems with carcinogenicity protocols*. Washington, D.C., Toxicology Forum, 1979. Pág. 80.
- (37) Ames, B. N., J. McCann y E. Yamasaki. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the Salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutat Res* 31:347-364, 1975.
- (38) McCann, J., E. Choi, E. Yamasaki y B. N. Ames. Detection of carcinogens as mutagens in the Salmonella/microsome test: Assay of 300 chemicals. *Proc Natl Acad Sci* 72:5135-5139, 1975.
- (39) Purchase, I. F., E. Longstaff, J. Asbhy, J. A. Styles, D. Anderson, P. A. Lefevre y F. R. Westwood. An evaluation of 6 short-term tests for detecting organic chemical carcinogens. *Br J Cancer* 37:873-903, 1978.
- (40) Burton, I. y A. V. Whyte. *Environ Risk Management*. SCOPE 14. Chichester, John Wiley. (En prensa.)
- (41) Aikin, A. M., J. M. Harrison y F. K. Hare. *The management of Canada's nuclear wastes*. Report No. EP-77-6. Canada, Energy Mines, and Resources, 1977.
- (42) Morgan, K. Z. How dangerous is low-level radiation? *New Scientist* 82:18-21, 1979.
- (43) Pochin, E. E. The acceptance of risk. *Br Med Bull* 31:184-190, 1975.
- (44) Cohen, B. L. Saccharin: The risks and benefits. *Nature* 271:492, 1978.
- (45) Inhaber, H. *Risk of energy production*. AECB-1119, Ottawa, Atomic Energy Control Board, 1978.
- (46) Hohenemser, C., R. Kaspersen y R. Kates. The distrust of nuclear power. *Science* 196:25-34, 1977.
- (47) Weinberg, A. M. Science and trans-science. *Minerva* 10:209-222, 1972.

Physical and chemical agents and carcinogenic risk (Summary)

Our present "chemical" era has seen a dramatic rise in the use of new products, some of which pose serious health hazards and few of which have been adequately tested. Similarly, in recent years there has been a rise in both radiation-emitting devices and the development of nuclear energy. This article draws on Canadian experience in environmental management to illustrate means available to governments for assessing and controlling real or presumed risks posed by these developments.

One important type of assessment is evaluation of carcinogenic risk. In this field, rodent studies sometimes provide a basis for extrapolation of risks to man. For example, rodent studies have been used to set the maximum acceptable levels of chloroform and nitrotriacetic acid in Canadian drinking water and to ban the use of saccharin, nitrosamines, and polychlorinated

biphenyls. In addition, comparative studies of human populations can sometimes yield the information desired—as in assessing the dangers posed by water fluoridation, for example; and mutagenic test systems can sometimes prove useful—as they did in evaluating dangers posed by the flame retardant Tris.

Assessment of risks posed by ionizing radiation has a more secure foundation than assessment of risks posed by chemical carcinogens—because the biological hazards of radiation for human populations have been well demonstrated and the dose-effect relationships involved have been established. Hence these data, combined with sample survey data and test results, provide a good basis for calculating the risks posed by such things as X ray equipment, nuclear reactor emissions, and radionuclides in water.

Besides evaluating such risks, of course, it is also necessary to weigh them against the benefits received, against other risks existing in the environment, and against risks posed by substitute products or devices.

Overall, great progress has been made recently in creating a rational basis for decisions.

Agentes físicos e químicos e risco carcinogénico (Resumo)

A nossa era química atual tem presenciado um aumento dramático do emprego de novos produtos, alguns dos quais representam graves riscos para a saúde, e poucos são os que já foram experimentados adequadamente. Também nos últimos anos tem aumentado o número de aparelhos emissores de radiação e o desenvolvimento da energia nuclear. Este artigo aproveita a experiência canadiana no campo da saúde ambiental para ilustrar os meios de que dispõem os governos para avaliar e controlar os riscos reais ou imaginários apresentados por essa evolução.

Um tipo importante de avaliação é o cálculo do risco carcinogénico. Neste campo os estudos com roedores servem às vezes de base para calcular esses riscos no homem. Tem-se usado, por exemplo, no Canadá para determinar as concentrações máximas toleráveis de clorofórmio e ácido nitrilotriacético na água potável e para proibir o uso da sacarina, das nitrosaminas e dos defenilos plocloretoados. Além disso, os estudos sobre núcleos de população humana podem às vezes dar-nos a informação desejada, por exemplo para avaliar os perigos que representa a fluoretação da água; as provas de mutagenicidade podem às vezes ser úteis, como no caso do cálculo dos riscos apresentados pelo pi-

rorretardante Tris. A avaliação dos riscos das radiações ionizantes tem bases mais seguras que a dos carcinogéneos químicos, visto que os riscos biológicos das radiações em populações humanas estão claramente demonstrados e as relações dose-efeito estão também determinadas. Estes dados, combinados com a análise de amostras estatísticas e os resultados de provas, são uma boa base para calcular os riscos que representam, por exemplo, os aparelhos de raios X, as emissões dos reatores nucleares e os radionúclidos na água.

Além de avaliar estes riscos, também é preciso confrontá-los com os benefícios recebidos, com outros riscos ambientais e com os riscos que se correm pelo emprego de produtos ou aparelhos substitutos.

Em conjunto, tem-se progredido muito recentemente na criação dum quadro racional para as decisões. Em quanto reconhecermos que as avaliações efectuadas talvez vão mais além da aplicabilidade prática do método científico e que as decisões reguladoras não tem mais valor que os processos políticos aplicados para as adoptar, poderemos satisfazer as exigências da extraordinária sociedade tecnológica que estamos criando.

Em conjunto, tem-se progredido muito recentemente na criação dum quadro racional para as decisões. Em quanto reconhecermos que as avaliações efectuadas talvez vão mais além da aplicabilidade prática do método científico e que as decisões reguladoras não tem mais valor que os processos políticos aplicados para as adoptar, poderemos satisfazer as exigências da extraordinária sociedade tecnológica que estamos criando.

Em conjunto, tem-se progredido muito recentemente na criação dum quadro racional para as decisões. Em quanto reconhecermos que as avaliações efectuadas talvez vão mais além da aplicabilidade prática do método científico e que as decisões reguladoras não tem mais valor que os processos políticos aplicados para as adoptar, poderemos satisfazer as exigências da extraordinária sociedade tecnológica que estamos criando.

Agents physiques et chimiques et risques carcinogènes (Résumé)

L'ère "chimique" actuelle a vu croître de manière considérable l'emploi de nouveaux produits. Certains d'entre eux présentent de graves dangers pour la santé et rares sont ceux qui ont été testés comme il convient. De même, au cours de ces dernières années, le nombre d'appareils émettant des radiations a augmenté et l'énergie nucléaire s'est considérablement développée. L'auteur de cet article tire profit de l'expérience canadienne en matière d'hygiène de l'environnement pour montrer les moyens dont peuvent disposer les gouvernements pour évaluer et

contrôler les dangers réels ou présumés que présente cette évolution.

Parmi les évaluations importantes, il y a celle des risques carcinogènes. Dans ce domaine, les observations faites sur des rongeurs servent parfois de base pour transposer ces risques à l'homme. C'est ainsi, par exemple, qu'elles ont été utilisées au Canada pour déterminer les concentrations maximums admissibles de chloroforme et d'acide nitrilotriacétique dans l'eau potable et pour interdire l'utilisation de la saccharine, des "nitrosamines" et des "diphényles polychlorés".

Par ailleurs, les études comparatives de groupes humains peuvent parfois fournir l'information souhaitée pour évaluer, par exemple, les dangers que présente la fluoruration de l'eau; les systèmes de tests de mutation à l'acide peuvent s'avérer utiles, comme ce fut le cas pour l'évaluation du danger que présentait le pyroretardateur Tris.

L'évaluation des dangers que présentent les radiations ionisantes repose sur des bases plus solides que celle des produits chimiques carcinogènes car les effets biologiques des radiations sur des groupes humains ont été clairement démontrés et les rapports de dose à effet ont été définis. C'est pourquoi ces données, en combinaison avec les études d'échantillons et les résultats des tests, constituent une bonne base pour évaluer les dangers que présentent, par exemple, les appareils à rayons X, les émissions provenant de réacteurs nucléaires et les ra-

dionucléides dans l'eau.

Mais il ne suffit pas d'évaluer ces dangers. Il faut aussi les analyser à la lumière d'autres facteurs, tels que les avantages acquis, les autres risques en matière d'environnement et les risques qu'impliquent les produits ou les appareils de remplacement.

Dans l'ensemble, un grand pas en avant a été fait dernièrement avec la création d'une base de décision rationnelle. Si nous voulons bien admettre que quelques-unes des transpositions en cours vont peut-être au-delà des possibilités pratiques d'application de la méthode scientifique et que les décisions réglementaires ne valent que ce que valent les procédures politiques qui les font, alors nous serons toujours à même de faire face aux impératifs de l'extraordinaire société technologique que nous sommes en train de créer.