

06.83.08

# Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica

por A.J. González\*

|                       |      |
|-----------------------|------|
| C. E. A. Biblioteca   |      |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |      |
| Nº                    | AÑO  |
| 1                     | 1983 |

La publicación en 1982 por el OIEA de la tercera edición de sus Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica ha significado una nueva etapa en el largo camino emprendido para conseguir una efectiva protección contra los riesgos radiológicos. Los científicos reconocieron ya la necesidad de tal protección desde los primeros años de nuestro siglo y ya en los años 20 se propuso el establecimiento de unidades de medida normalizadas y la adopción de recomendaciones internacionales cuantitativas de protección radiológica. En el año 1928, con la creación del Comité Internacional de Protección contra los Rayos X y las Radiaciones (la actual Comisión Internacional de Protección Radiológica [CIPR]), resultó posible publicar recomendaciones cuantitativas para limitar las dosis recibidas por los trabajadores expuestos profesionalmente a las radiaciones. Pero había de transcurrir otro cuarto de siglo antes de que la CIPR comenzara a recomendar límites a la exposición de los individuos de la población.

El papel de la CIPR ha consistido siempre en estudiar los principios fundamentales en que debe basarse la protección radiológica y considerar su aplicación práctica; la aplicación detallada de los mismos se deja a las autoridades nacionales. Cuando se creó el OIEA, su Estatuto estipulaba que el establecimiento de normas de seguridad para la protección de la salud es una de sus funciones básicas. Más tarde, en 1962, el Organismo publicó su primera edición de las Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica. La tercera edición de este documento, patrocinada conjuntamente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la OCDE, se denomina Edición de 1982 y se publica como núm. 9 de la Colección Seguridad del OIEA.

Las normas se basan en las recomendaciones de la CIPR, a las que amplían e interpretan en un sentido práctico, dando orientaciones detalladas que no solo servirán para las operaciones propias del Organismo, sino que además constituirán una base para que los Estados Miembros elaboren y apliquen sus propios reglamentos. Cuando se publicó en 1967 la segunda edición, la Junta de Gobernadores del Organismo recomendó a todos los Estados Miembros que ajustaran sus propios reglamentos a dichas Normas.

## El sistema de limitación de dosis

Un rasgo destacado de la revisión más reciente de las Normas básicas de seguridad consiste en la incorporación del sistema de limitación de dosis recomendado actual-

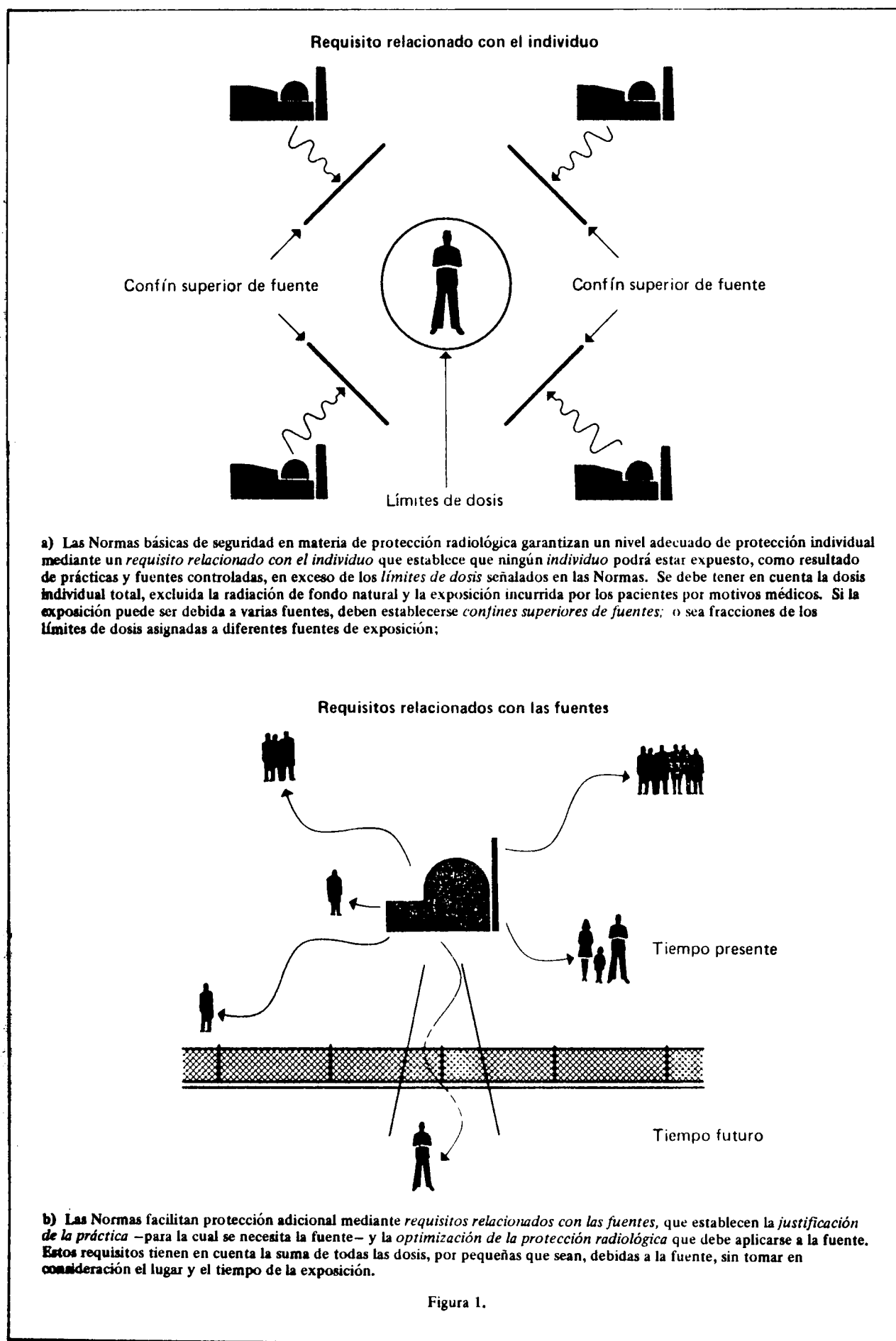
mente por la CIPR, sistema que, con sus requisitos complementarios, puede tener importantísimas consecuencias para la protección contra los riesgos de las radiaciones debidas al hombre. Este nuevo sistema establece requisitos relacionados con el individuo, fijando límites de dosis individuales que no deben sobrepasarse; este tipo de requisito es común en las normas sanitarias de protección. Ahora bien, el sistema introduce también requisitos relacionados con la fuente de exposición, lo que raras veces se requiere en otros sistemas de protección. Estos requisitos implican que, por muy bajas que puedan llegar a ser las dosis individuales, se deben cumplir dos condiciones: a) la utilización de prácticas que supongan exposición a las radiaciones ionizantes tiene que ser justificada, habida cuenta del daño radiológico que puedan originar; y b) es necesario realizar esfuerzos adicionales para reducir la exposición a las radiaciones, siempre que el beneficio medio en términos de la reducción de las dosis justifique esos esfuerzos. Esta segunda condición se conoce como "optimización de la protección radiológica"\*.

*Requisito relacionado con el individuo* -Por lo que respecta al requisito relacionado con el individuo, las Normas establecen límites de dosis primarios, con el fin de identificar un valor-límite a partir del cual no son admisibles las dosis individuales. Se especifican también límites secundarios relacionados con los límites primarios por ejemplo, en términos de límites de incorporación de materiales radiactivos en el organismo humano.

Si se permanece por debajo de los límites, el riesgo radiológico individual debido a todas las fuentes controlables de radiaciones ionizantes se mantendrá a un nivel tan bajo que no debería constituir preocupación para los individuos. El objeto de los límites no consiste en controlar el daño radiológico global originado por una fuente, sino en limitar el riesgo individual atribuible a la exposición a las radiaciones de todas las fuentes. Ahora bien, como los individuos pueden resultar expuestos a varias fuentes, los límites de dosis no pueden utilizarse para limitar la dosis individual recibida de una sola fuente; más bien, se entiende implícitamente que debería establecerse un "confin superior de fuentes" para cada fuente, a fin de garantizar que la suma de las dosis recibidas de todas las fuentes no se aproxime a los límites de dosis (Figura 1a)). No se tiene en cuenta la fracción de exposición debida a fuentes naturales no acrecentadas tecnológicamente. Asimismo, se excluyen

\* La optimización de la protección radiológica es una forma abreviada de enunciar el requisito de que todas las exposiciones deben mantenerse al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.

\* El señor González es Jefe de la Sección de Seguridad Radiológica (División de Seguridad Nuclear) del OIEA.



las exposiciones individuales de los pacientes sometidos a tratamiento médico (que no estén motivados por investigaciones), ya que en tales casos se supone que el beneficio es superior al riesgo individual.

**Requisitos relacionados con las fuentes** —El requisito de *justificación* de una práctica establece que, con el fin de impedir exposiciones innecesarias, las autoridades competentes no deben autorizar ninguna práctica que implique una exposición a las radiaciones ionizantes, a menos que la introducción de dicha práctica produzca un beneficio neto positivo. El requisito de *optimización de la protección radiológica* establece que la planificación, diseño, empleo u operación de fuentes y prácticas debe realizarse de tal manera que las exposiciones se mantengan al nivel más bajo que razonablemente pueda alcanzarse, teniendo en cuenta factores económicos y sociales (Fig. 1b)).

Aunque la justificación pareciera ser un requisito obvio, las autoridades reguladoras bien podrían haber autorizado alguna vez la introducción de prácticas sin tener en cuenta si su beneficio social compensaba los detrimentos derivados de las mismas. El concepto de justificación es una advertencia dirigida a esas autoridades: antes de que se decidan a aprobar la introducción de una práctica que implique la exposición a las radiaciones ionizantes no deben olvidarse de considerar los daños radiológicos que dicha práctica puede producir en la sociedad.

La optimización se aplica a todas las situaciones en las que puedan controlarse, mediante medidas de protección, las exposiciones a las radiaciones originadas por una fuente. Un requisito análogo podría aplicarse concebiblemente a la planificación de medidas de protección para el caso en que una fuente pudiera quedar fuera de control. La optimización exige que en el nivel "óptimo" de protección que ha de aplicarse debe quedar determinado como resultado de un equilibrio apropiado entre las medidas de protección y los beneficios que resultan de tales medidas, estos últimos en términos de la reducción de daños radiológicos. Las Normas introducen técnicas de análisis costo-beneficio como una orientación práctica para llevar a cabo la optimización de la protección radiológica.

### Conceptos básicos y magnitudes, preocupaciones y problemas relativos a la aplicación

**Riesgo y detrimento** Para entender y aplicar el sistema de limitación de dosis, es esencial comprender los conceptos de "riesgo" y "detrimento" que se emplean en las Normas.

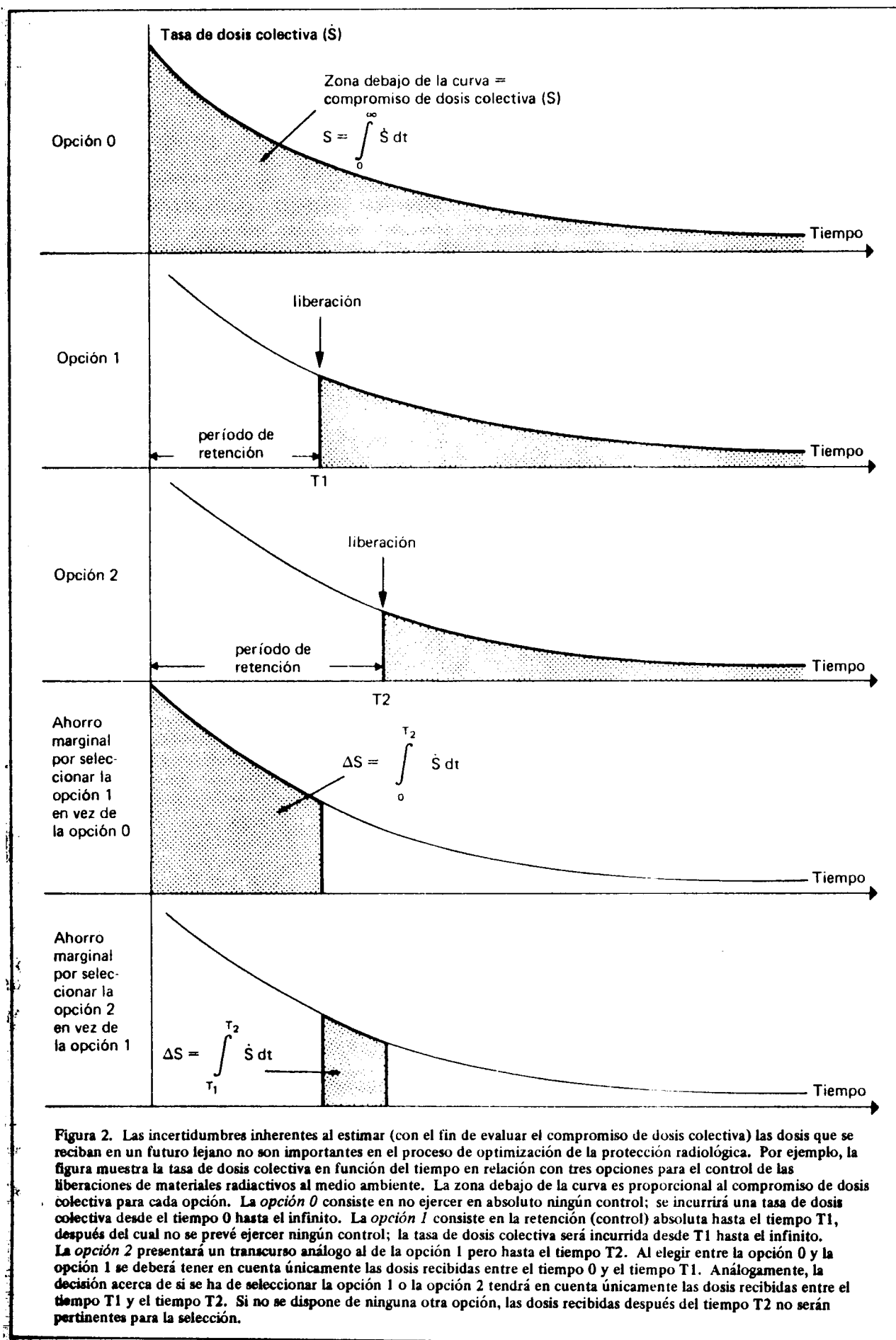
El *riesgo* resultante de una determinada dosis de radiación se define como la probabilidad de que un individuo experimente un determinado efecto radiológico por el hecho mismo de recibir esa dosis. Un número entre 0 y 1 representará la probabilidad de que una dosis de radiación cause un efecto en el que la recibe (es decir, hasta qué punto es concebible que se produzca tal efecto — "grado de credibilidad"). Por consiguiente, el objetivo del requisito relacionado con el individuo consiste en mantener la probabilidad individual del daño radiológico por debajo de límites apropiadamente bajos.

El *detrimento* se define como la esperanza matemática del daño que causaría una fuente. Para evaluar el detrimento hay que tener en cuenta no solo la probabilidad sino también la gravedad de los posibles efectos dañinos. El número que expresa el detrimento puede ser muy grande, según sea el daño que podría producir la fuente. No depende solo de las dosis individuales recibidas, sino también del número de personas que se hallan expuestas a la fuente. El detrimento se usa para cuantificar los requisitos de protección radiológica relacionados con las fuentes. Es una magnitud extensiva; es decir, puede dividirse en componentes que pueden sumarse.

**Compromiso de dosis colectiva** Un componente importante del detrimento es su "componente sanitario", o esperanza matemática de efectos deletéreos, el cual suponiendo que haya proporcionalidad entre la dosis\* y el riesgo en el intervalo de dosis por debajo de los límites de dosis es proporcional a la suma de todas las dosis que se han recibido de la fuente, sin tener en cuenta su nivel, ni el lugar y momento de la exposición. Esta suma resulta en una cantidad denominada *compromiso de dosis colectiva*, que se obtiene a base de dos sumas (o integrales, si se sumasen componentes diferenciales), una espacial y otra temporal, a saber: i) se suman todas las tasas de dosis individuales recibidas de una fuente con el fin de obtener la tasa de dosis colectiva recibida de esa fuente como una función del tiempo; y ii) todas las tasas de dosis colectivas se integran a lo largo del tiempo para obtener el compromiso de dosis colectiva.

**Dosis "de minimis"** Un motivo de preocupación conceptual, relacionado con la suma de las tasas de dosis individuales, es determinar si sería razonable o no truncar la suma cuando las tasas de dosis individuales fueron muy bajas (por ejemplo, cuando fueran despreciables para cada individuo). Este sería el caso si, por ejemplo, las tasas de dosis individuales fueran comparables con las fluctuaciones de la radiación natural de fondo. Tales niveles de tasa de dosis han sido denominados algunas veces dosis "de minimis" y se ha considerado que no deberían presentar interés para las autoridades reglamentadoras. Ahora bien, aunque una dosis fuera trivial para un individuo, la suma de muchos casos triviales puede producir a la sociedad un perjuicio sustancial, hecho del que las autoridades no pueden hacer caso omiso. Por otro lado, sin embargo, si tanto las dosis individuales como las colectivas fueran despreciables, el concepto "de minimis" podría, desde un punto de vista conceptual, emplearse con fines de reglamentación. Por eso, en general, las Normas no proporcionan justificación alguna para despreciar las tasas de dosis individuales por pequeñas que sean en la evaluación de tasas de dosis colectivas. Ahora bien, las Normas no prohíben que la autoridad reglamentadora haga caso omiso de dosis individuales despreciables, siempre que éstas resulten en una dosis colectiva también despreciable.

\* El término *dosis* se usa en este trabajo con el significado de *dosis equivalente efectiva*, que es una magnitud introducida en las Normas para designar la dosis absorbida, debidamente ponderada teniendo en cuenta el tipo de radiación ionizante y la sensibilidad de los órganos y tejidos a las radiaciones ionizantes.



**Integración al infinito** Otro problema que causa preocupación se refiere a la aplicabilidad de integrar las tasas de dosis colectivas durante un período infinito de tiempo. En particular, algunas prácticas pueden implicar el uso de radionucleidos de período largo que originen exposiciones durante miles o incluso millones de años. Para su justificación, el reglamentador debe conocer las pautas completas de exposición, pero es preciso reconocer también la gran incertidumbre inherente a las estimaciones de las dosis colectivas durante muy largos períodos de tiempo. Ahora bien, en las evaluaciones conducentes a la optimización de la protección debería considerarse únicamente la fracción de la dosis que queda afectada por las medidas de protección, y los períodos de tiempo que deben preocupar son aquéllos durante los cuales puede controlarse la exposición a las radiaciones. Las exposiciones en tiempos posteriores al de control no afectan al resultado de la optimización. Por consiguiente, para las evaluaciones conducentes a la optimización no se necesita llevar a cabo la integración a tiempo infinito de las tasas de dosis colectivas. Estas evaluaciones no necesitan los compromisos absolutos de dosis colectiva sino las diferencias entre los compromisos derivados de las opciones posibles. La diferencia entre las dos integrales a tiempo infinito es una integral de tiempo finito. Esto puede aclararse mediante un ejemplo: si en un sistema de control de efluentes radiactivos la opción 1 retuviera el material radiactivo durante un tiempo  $T_1$ , la opción 2 hasta un tiempo  $T_2$ , y la opción 0 significara la no existencia de un sistema de control, entonces el beneficio resultante de seleccionar la opción 1 en vez de la opción 0, ó de seleccionar la opción 2 en vez de la 1, puede medirse por el detrimento evitado, que es una integral sobre un período finito de tiempo (Figura 2).

**Análisis costo-beneficio** El análisis costo-beneficio utilizado para llevar a cabo la optimización cuantitativa no tiene en modo alguno carácter exclusivo. Para optimizar la protección radiológica se podrían utilizar asimismo otros enfoques: algunos cuantitativos y otros más bien cualitativos. Ahora bien, el análisis costo-beneficio es una técnica sencilla para demostrar que se ha llegado a un equilibrio entre los beneficios obtenidos —en términos de la reducción del detrimento radiológico— y los esfuerzos puestos en la protección. Tal será el caso si la suma de los valores asignados a las actividades llevadas a cabo para mejorar aún más la protección y la consecuente disminución del detrimento alcanza un mínimo (Figura 3). Si bien las actividades de protección pueden cuantificarse fácilmente en términos del costo de la protección, la asignación de un valor al detrimento a fin de obtener el llamado *costo del detrimento* es un problema que reviste particular dificultad.

**Asignación de un valor al detrimento sanitario** Las Normas básicas de seguridad exigen que, para determinar el detrimento sanitario se incluyan todas las dosis recibidas de una fuente, sin hacer discriminación en cuanto a la distribución de la dosis. Las Normas recomiendan el uso de una constante, ("alfa") por la cual debe multiplicarse el compromiso de dosis colectiva para obtener el valor del detrimento sanitario. Puesto que, para llevar a cabo la comparación, el costo del detrimento debiera presentarse en las mismas unidades

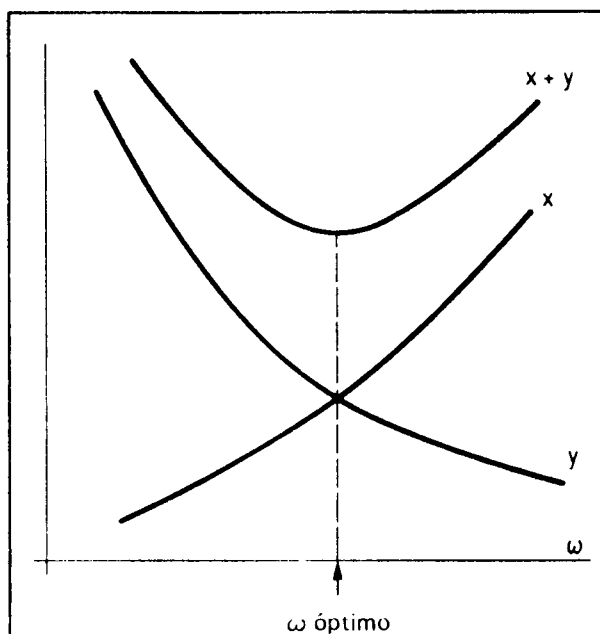
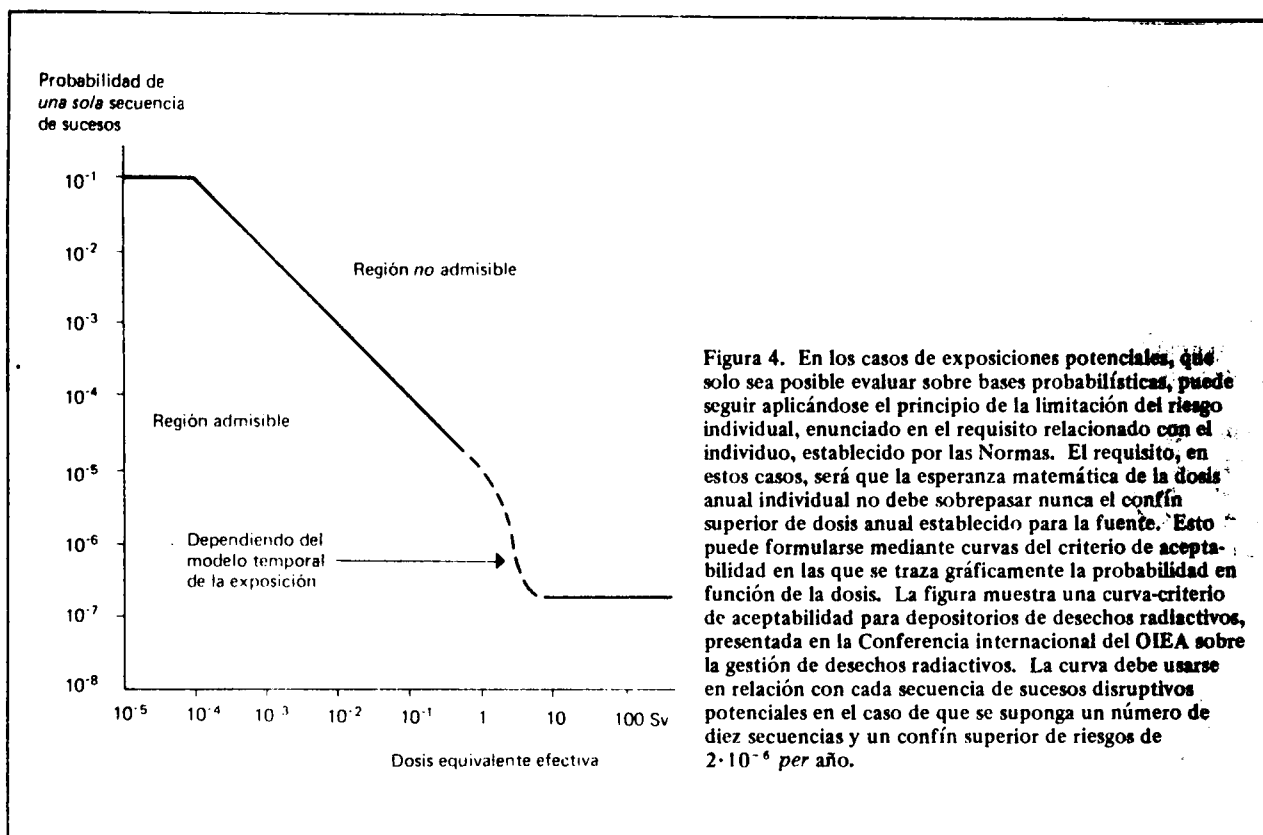


Figura 3. La optimización de la protección radiológica puede realizarse mediante técnicas de análisis costo-beneficio. En este caso, el objetivo consiste en hallar el nivel de protección en el cual la suma del costo de la protección ( $X$ ) más el costo del detrimento ( $Y$ ) resulte mínima. En algunos casos, este proceso de minimización es relativamente sencillo, según se muestra en la figura, si tanto el costo de la protección como el costo del detrimento son funciones continuas de un mismo parámetro de protección ( $\omega$ ). Así ocurrirá si el parámetro de protección es, por ejemplo, el espesor de blindaje o la tasa de flujo de aire en un sistema de ventilación. En otros casos, se dispone únicamente de opciones alternativas de protección que no siempre pueden definirse mediante un solo parámetro; el nivel óptimo puede lograrse únicamente mediante un proceso iterativo, en el cual se ensayan niveles cada vez más altos de protección, a fin de llegar al punto que satisfaga la condición de un costo total mínimo.

que el costo de la protección, "alfa" se expresa ordinariamente en unidades monetarias *per* unidad de dosis colectiva. Esto ha originado un muy difundido malentendido con respecto a las consecuencias filosóficas y éticas de tal enfoque, porque parecería sugerirse que está asignando un valor monetario a la vida humana. Sin embargo, las Normas enuncian claramente que no asignan un valor monetario a la vida humana, y que no existe un límite en cuanto al costo de la protección necesaria para mantener las exposiciones individuales dentro de los límites recomendados. La optimización exige que, si fuera posible una ulterior reducción de la exposición, deben tenerse en cuenta factores económicos y sociales con el fin de garantizar el óptimo aprovechamiento de los recursos disponibles para lograr tal reducción.

Las recientes recomendaciones de la CIPR sobre el uso del análisis costo-beneficio para la optimización de la protección radiológica sugieren que, si bien las técnicas de análisis costo-beneficio requieren la valoración del cambio en la esperanza de vida de individuos



desconocidos, no se asigna valor a individuos identificados. En realidad, el factor "alfa" representa la cantidad asignada por la sociedad para evitar una unidad de dosis colectiva, y su magnitud determina el nivel asequible de protección radiológica. No tiene nada que ver con una valoración de la vida humana sino que es un dispositivo racional para conservar vidas. Contribuye a que la sociedad acepte un nivel de protección radiológica que sea lo más alto posible y que pueda lograrse sin entrar en conflicto con otras necesidades y obligaciones legítimas de la sociedad.

**Problemas de distribución** Una cuestión interesante es la de saber si los detrimentos que se produzcan en diferentes lugares o en diferentes momentos se deberían valorar sobre una base igualitaria o no. El único enfoque racional parece ser el principio ético básico de que los esfuerzos por mejorar la esperanza de vida nunca deben ser discriminatorios ni tener en cuenta dónde y cuándo se espera vivir esa vida. En las Normas no existe discriminación alguna en cuanto a la asignación de valor a diferentes componentes espaciales y temporales de un detrimento. Ahora bien, se ha sugerido que la valoración de componentes incurridos en diferentes momentos podría justificar que se aplicaran diferentes factores de ponderación a los costos respectivos. Algunos han sugerido el uso de factores negativos para el costo futuro, basándose en razones económicas, y utilizando el concepto contable del descuento financiero de los costos futuros para retrotraerlos al tiempo presente; otros han recomendado factores positivos de ponderación, basándose en el razonamiento ético de que las generaciones futuras que habrían de experimentar el

detrimento no tienen posibilidad de participar en el establecimiento del procedimiento determinativo de los costos.

En relación a este tema, la publicación del Organismo titulada *Principles for Establishing Limits for the Release of Radioactive Materials into the Environment* (Principios para establecer límites a la descarga de materiales radiactivos al medio ambiente, núm. 45 de la Colección Seguridad del OIEA) afirma que la asignación de valores actuales a costos futuros es cuestión que requiere un cuidadoso juicio por parte de las autoridades reglamentadoras, las cuales tienen que decidir si es razonable asignar menor peso a las dosis que serán incurridas en un futuro lejano que a las de un futuro próximo. Un reciente borrador de un informe de un grupo de expertos convocado por la Academia Pontificia de Ciencias de la Santa Sede recomienda que a las dosis futuras que puedan evitarse mediante medidas protectoras debiera dárseles siempre el mismo peso que a las dosis actuales. Pudiera ser que, al final, resultara que tal controversia no tiene consecuencia práctica alguna porque, en la mayoría de las evaluaciones de optimización, solo deben considerarse detrimentos que serán incurridos en un futuro relativamente próximo.

**Aspectos transfronterizos** Puesto que los detrimentos radiológicos originados por una fuente que se encuentra en un determinado país pueden afectar a personas que vivan en otro país, parece obvio que sería conveniente concertar acuerdos internacionales para asignar valores a los componentes transfronterizos de tales detrimentos. La CIPR sugirió que la gravedad de este problema podría reducirse si fuera posible establecer algún límite

mínimo, aceptable internacionalmente, del valor de "alfa". En todo caso, el valor de "alfa" a ser aplicado en otros países debiera no ser inferior al valor aplicado dentro del país donde se halla situada la fuente. El OIEA, en su esfuerzo por elaborar las Normas, ha comenzado ya a fomentar tal acuerdo internacional\*.

**Otros componentes del detrimento** —Con arreglo a las Normas, el compromiso de dosis colectiva proporcional a la medida del detrimento sanitario objetivo atribuible a una fuente. Los componentes del compromiso que entrañan riesgos individuales superiores no son tratados de manera diferente que los otros. Este enfoque se apoya en una de las bases fundamentales del sistema de limitación de dosis, que establece que la restricción impuesta por los límites de dosis debería mantener los riesgos individuales a niveles tan bajos que pierdan toda significación para los individuos interesados. En consecuencia, los valores asignados a diferentes componentes del compromiso de dosis colectiva que resulten de dosis inferiores a los límites no deberían ser necesariamente diferentes. No obstante, las Normas reconocen que otros factores subjetivos, tales como los que intervienen en la percepción de riesgos, pueden ser incluidos como componentes separados del detrimento radiológico. Así, basándose en la propiedad extensiva del detrimento, puede sumarse —sin modificarlo— un componente adicional al componente sanitario del detrimento a fin de tener en cuenta esos factores. En las Normas se supone que este componente es función de las dosis individuales medias en la población expuesta de que se trate.

**Exposiciones potenciales** —Aunque, hablando en sentido estricto, el sistema de limitación de dosis se aplica únicamente a fuentes que se encuentren bajo control, los mismos principios básicos también podrían aplicarse conceptualmente a fuentes que puedan producir exposiciones, o, implícitamente, a exposiciones que tengan cierta probabilidad de producirse, por ejemplo, como resultado de accidentes en centrales nucleares o en depósitos de desechos radiactivos. Ahora bien, antes de poder aplicar el sistema a tales fuentes o exposiciones habría que resolver varias cuestiones. Parece aceptable aplicar el concepto de riesgo en las evaluaciones relacionadas con el individuo. El riesgo, en este caso, sería proporcional a la dosis individual potencial multiplicada por la probabilidad de esa dosis. Se han sugerido curvas-criterio (Figura 4) para determinar si una exposición potencial sería admisible desde el punto de vista individual.

Por otro lado, el uso del concepto de detrimento en las evaluaciones relacionadas con la fuente no es tan sencillo como en el caso de exposiciones reales. Aunque, en los casos de exposiciones potenciales, la esperanza matemática de daño puede ser también un factor para decidir el nivel de protección que pueda alcanzarse razonablemente, este factor no sería necesariamente el único, y las consecuencias totales resultantes de la exposición real podrían ser quizás el parámetro per-

tinente a considerar. De hecho, aunque la optimización de la protección contra exposiciones potenciales pueda basarse en la esperanza matemática de dosis colectiva, la incertidumbre estadística del resultado puede ser muy grande. La desviación normal (estándar) de la esperanza de dosis colectiva es proporcional al valor de la esperanza e inversamente proporcional al cuadrado de la probabilidad de exposición. Para probabilidades muy bajas, como las que se suponen para algunos casos de accidente, la desviación puede ser unos cuantos órdenes de magnitud mayor que el valor de la esperanza, lo que haría que dicho valor careciese de significado para fines de adopción de decisiones. En tales casos, podría tenerse en cuenta un enfoque complementario para decidir cuál es la opción óptima entre una serie de opciones disponibles en materia de protección. Se ha sugerido que podrían utilizarse funciones de utilidad no lineales (las cuales aumentarían el peso de ponderación asignado a la esperanza matemática en la medida en que el daño potencial se haga muy grande) o, alternativamente, podría añadirse al componente de la esperanza de dosis colectiva otro componente del detrimento que fuera directamente proporcional a las consecuencias totales de la exposición potencial.

### Perspectivas

Algunas características del nuevo sistema de limitación de dosis constituyen un desafío para la disciplina de la protección radiológica. El OIEA viene organizando seminarios y simposios que demuestran la viabilidad del sistema. Hay en curso planes para dirigir las actividades del Organismo en materia de protección radiológica hacia la elaboración de las Normas. Se ha dado ya respuesta a algunas de las cuestiones prácticas. En cuanto a otras cuestiones, habrá que elaborar primero las respuestas prácticas apropiadas.

Si se pueden resolver los problemas conceptuales para el empleo de los principios de protección radiológica en los casos de exposición potencial, se ampliará el abanico de aplicaciones de los principios del sistema de limitación de dosis. Podrán tratarse más racionalmente y solucionarse finalmente algunas cuestiones en la actualidad pendientes como son los objetivos de la seguridad nuclear o los criterios aplicables a los depósitos de desechos radiactivos. En consecuencia, el OIEA estudia este problema con particular atención y sigue de cerca los progresos científicos conseguidos en la materia.

El sistema de limitación de dosis incorporado a las Normas del Organismo se basa en una filosofía extraordinariamente sofisticada que, aunque se desarrolló primordialmente con fines de protección radiológica, tiene en cuenta la ética, las ciencias sociales y otras ciencias. Se ha sugerido que se debiera aplicar un enfoque análogo al control de otros agentes tóxicos y mutagénicos. Las Normas proporcionan un marco básico para dar cumplimiento a los objetivos establecidos en el Estatuto del Organismo tendientes a agilizar y ampliar la contribución de la energía atómica a la paz, la seguridad y la prosperidad en todo el mundo, teniendo en cuenta debidamente los efectos detrimentales de las radiaciones ionizantes. Las Normas pueden servir también de modelo para hacer frente a otras amenazas contra la vida humana.

\* Un grupo de consultores del OIEA y de la OMS ha elaborado un documento en el que se recomienda un valor mínimo de "alfa"; dicho documento será estudiado por un grupo asesor en una reunión que tendrá lugar en diciembre del presente año.