

7. IMPUTACIÓN LEGAL DEL DAÑO POR RADIACIÓN EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN RADIOLÓGICA

Abel Julio González

Resumen La doctrina de la imputación legal (incluidos los conceptos conexos de presentación de cargos, incoación, acusación, enjuiciamiento y decisión judicial) de efectos nocivos en la salud a los responsables de situaciones de exposición radiológica es, desde hace muchos años, objeto de debate y su resolución aún no está clara. Mientras que la atribución del daño en situaciones en las que hay una dosis de radiación alta es básicamente sencilla, cuando las dosis son moderadas, es problemática y en los casos, muy comunes, en que las dosis de radiación son bajas resulta un verdadero rompecabezas. La ambigüedad de la situación podría interpretarse como una espada de Damocles que pende sobre el renacer de los esfuerzos relacionados con la exposición radiológica de carácter ocupacional y público. En el presente capítulo se describe la situación epistemológica por lo que respecta a la atribución de los efectos de la radiación en la salud y la inferencia de riesgos radiológicos, basándose en las estimaciones que el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) comunica a la Asamblea General de las Naciones Unidas. Asimismo, se analizan las implicaciones del complejo paradigma del UNSCEAR para asignar la responsabilidad jurídica. El capítulo concluye con la recomendación de que se elabore una doctrina jurídica internacional sobre la capacidad de imputar los efectos nocivos de la radiación en la salud.

Palabras clave Atestación radioepidemiológica • Atribución de efectos de la radiación • Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) • Efectos deterministas en la salud • Efectos estocásticos en la salud • Imputación legal • Inferencia de riesgos radiológicos • Seguridad radiológica • Situaciones de exposición radiológica

7.1. PROPÓSITO

El objetivo del presente capítulo es abordar la *imputación legal*¹ del *daño por radiación*² en situaciones de exposición radiológica.³ El concepto de imputación legal se utiliza como precursor de los conceptos jurídicos que se derivan de él, como incoación y enjuiciamiento, presentación de cargos, acusación y decisión judicial.

La imputación legal del daño por radiación ha sido objeto de controversia, sobre todo en situaciones con dosis de radiación bajas. La falta de claridad respecto de una cuestión tan importante dificulta el desarrollo normal de actividades humanas en las que las personas se ven expuestas a radiación, como la generación de electricidad nuclear y el uso de la radiación y la radiactividad en las esferas de la medicina, la industria y la investigación.

Por ello, el presente capítulo tiene por objeto promover un entendimiento común del tema a nivel internacional.

El capítulo contiene:

- una descripción resumida del consenso científico básico en el plano internacional sobre los efectos de la radiación en la salud, a fin de presentar los antecedentes de la cuestión. A continuación, se examinan la estimación de los efectos y la imputación de los daños y se presenta el paradigma fundamental, incluido un análisis de los hechos verificables frente a las conjeturas subjetivas;

¹ Por *imputación legal* se entienden las acciones de base legal para atribuir daños por radiación a situaciones de exposición radiológica. Se utiliza como precursor de conceptos que se derivan de él, como presentación de cargos, incoación, acusación, enjuiciamiento y decisión judicial. En un contexto jurídico, imputar significa designar a alguien como causante de una lesión física, de los efectos, reales o potenciales, que son atribuibles a la exposición radiológica, es decir, atribuir la responsabilidad de efectos de la exposición radiológica. Obsérvese que atribuir es distinto de imputar, pero desgraciadamente los términos se han utilizado internacionalmente como sinónimos. Véase OIT et ál. 2010.

² Por *daño por radiación* se entiende cualquier *efecto de la radiación en la salud* o lesión física sufrida por personas, bien individualmente o como parte de poblaciones en su conjunto, cuando se puede atestar que han sido provocados por la exposición radiológica, donde *radiación* se refiere a la radiación ionizante y *efecto de la radiación en la salud*, a cualquier efecto en la salud causado por la exposición radiológica.

³ Por *situaciones de exposición radiológica* se entiende cualquier conjunto de circunstancias en las que las personas se ven sometidas a estados o condiciones en que son irradiadas por radiación ionizante, ya sea desde una fuente externa al cuerpo o incorporada a él, donde una fuente es cualquier cosa que pueda causar una exposición radiológica, por ejemplo, emitiendo radiación ionizante o liberando sustancias o materiales radiactivos.

- un examen de la *atribución*⁴ de daños por radiación frente a la *inferencia*⁵ de *riesgo radiológico*⁶ derivado de situaciones de exposición radiológica;
- el concepto conexo de *atestación*,⁷ a cargo del llamado *testigo pericial*,⁸ de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud, y
- las consiguientes posibilidades de *imputación legal* de tales daños por radiación en esas situaciones de exposición radiológica.

⁴ Por *atribución* se entiende la vinculación de un efecto en la salud a la exposición radiológica basándose en pruebas objetivas y reales.

⁵ El concepto de *inferencia* (por oposición a atribución) designa el proceso de extraer conclusiones a partir de conjeturas subjetivas basadas en observaciones, pruebas y razonamientos científicos indirectos envueltos en incertidumbre (mientras que el uso de la inferencia se centra generalmente en una inferencia del riesgo prospectiva, nótese que estimar una *fracción asignada o probabilidad de causalidad* también es una inferencia, pero retrospectiva).

⁶ Con la expresión *riesgo radiológico* se indica la probabilidad de que un efecto en la salud asociado a exposición radiológica (p.ej., aparición de cáncer) pueda darse (es decir, se trata de una noción prospectiva) en un periodo dado (p.ej., el resto de la vida tras una exposición). Solo se atribuirán riesgos radiológicos sirviéndose de pruebas fundadas en hechos comprobados a partir de investigaciones epidemiológicas de los índices de enfermedad de poblaciones expuestas anteriormente (es decir, basadas en observaciones anteriores); ello no obstante, debemos señalar que también se han empleado los resultados de esos análisis retrospectivos para formular inferencias acerca del riesgo de otras situaciones de exposición que afectan a diferentes poblaciones de las que no se tienen datos epidemiológicos directos.

⁷ Por *atestación* se entiende el hecho de que un *testigo pericial* aporte o notifique pruebas claras declarando formalmente que existen o se producen efectos de una radiación.

⁸ Por *testigo pericial* se entiende un especialista en efectos de la radiación que podría presentar su dictamen pericial sin haber sido testigo de ningún suceso relacionado con una demanda o causa penal vinculado a la radiación, sino solo de la manifestación objetiva de los efectos, como se indica a continuación:

Los *radiopatólogos* son testigos periciales de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud que pueden diagnosticarse de manera individual en cada persona, es decir, científicos reconocidos y acreditados que estudian las causas y los efectos de las enfermedades inducidas por la radiación, sobre todo examinando muestras de laboratorio de tejido corporal con fines de diagnóstico o forenses.

Los *radioepidemiólogos* son testigos periciales de la manifestación objetiva de efectos de la radiación en la salud que no pueden diagnosticarse de manera individual en cada persona, sino que solo pueden estimarse en las poblaciones (es decir, científicos reconocidos y acreditados con conocimientos especializados en estadística médica, la rama de la medicina que se ocupa de la incidencia y distribución de las enfermedades asociadas a la exposición radiológica).

Los *radiobiólogos* son testigos periciales de la presencia real de cambios biológicos atribuibles a la exposición radiológica, mediante el análisis de muestras para bioensayos especializados, como muestras hematológicas y citogenéticas (es decir, científicos reconocidos y acreditados con experiencia en la rama de la biología que se ocupa de los efectos de la radiación ionizante en organismos, órganos, tejidos y células).

Los *radioproteccionistas* (también conocidos como expertos en protección radiológica o físicos médicos) son testigos periciales asociados a la conjetura e inferencia de riesgos radiológicos (es decir, científicos acreditados y con una especialización debidamente reconocida por lo que respecta a la protección de las personas frente a los efectos nocivos de la exposición a radiación ionizante, y en los medios para lograr dicha protección).

7.2. RESUMEN DEL CONSENSO CIENTÍFICO BÁSICO

A lo largo de los años, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) ha alcanzado un consenso universal sobre las estimaciones de los efectos de la radiación en la salud y ha presentado informes periódicos a la Asamblea General de las Naciones Unidas. El UNSCEAR es la organización intergubernamental internacional designada por la Asamblea General para estimar los niveles y efectos mundiales de la radiación.

Las tesis fundamentales del marco del paradigma internacional, en las que se basará el capítulo, se presentan de manera simplificada a continuación:

- Existe un consenso científico de que la exposición a altos niveles de dosis de radiación durante un tiempo relativamente breve produce efectos nocivos agudos (es decir, críticos, graves) en las personas expuestas. Estos efectos pueden ser diagnosticados, probados y *atestados* por *radiopatólogos* cualificados. En definitiva, un efecto en la salud observado en una persona podría atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica si la persona experimentara reacciones tisulares (a menudo denominadas efectos “deterministas”), y se pudieran realizar diagnósticos patológicos diferenciales que descartaran posibles causas alternativas. Estos efectos deterministas se manifiestan como resultado de altas dosis absorbidas durante un período relativamente breve, como podría ser tras una exposición fruto de algún accidente o de radioterapia. Por consiguiente, pueden imputarse de manera individual a la situación mediante una *demanda* clásica.⁹
- A dosis más bajas, las poblaciones expuestas pueden sufrir un daño colectivo, que podría manifestarse como un aumento de la incidencia de determinados efectos. Estos aumentos pueden ser evaluados, probados y *atestados* por *radioepidemiólogos* cualificados. Estos efectos en la salud de una persona que se sabe que están asociados a la exposición radiológica —como tumores malignos inducibles por radiación (y, en teoría, los efectos hereditarios en los descendientes de la población expuesta)— no pueden atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica, ya que esta no es la única causa posible y en la actualidad no se dispone por lo general de biomarcadores específicos de la exposición radiológica. Estos efectos se denominan efectos “estocásticos”. En el caso de los efectos estocásticos no es posible, por lo tanto, formular un diagnóstico patológico diferencial inequívoco. Solo si la incidencia espontánea de un determinado tipo de

⁹ Por *demanda* se entiende un procedimiento donde una o varias partes realizan una *imputación legal* de otra ante un tribunal de lo civil.

efecto estocástico fuera baja y la radiosensibilidad correspondiente a un efecto de ese tipo fuera alta (como es el caso de algunos cánceres tiroideos pediátricos) podría atribuirse ostensiblemente un efecto en una persona concreta a la exposición radiológica, sobre todo si esa exposición fuera alta. Sin embargo, aun en un caso así, el efecto en una persona no puede atribuirse inequívocamente a la exposición radiológica, debido a posibles causas contrapuestas. En resumen, una mayor incidencia de efectos estocásticos en una población podría atribuirse a la exposición radiológica mediante un análisis epidemiológico, siempre que, entre otras cosas, la mayor incidencia de los casos del efecto estocástico fuera suficiente para superar las incertidumbres estadísticas intrínsecas. En este caso, se podría verificar debidamente una mayor incidencia de los efectos estocásticos en la población expuesta y atribuírsela a la exposición. Cabe señalar que, aunque en estudios hechos con animales se haya demostrado un aumento de la incidencia de los efectos hereditarios, en poblaciones humanas ese aumento no puede atribuirse actualmente a la exposición radiológica, entre otras razones, por la gran fluctuación de la incidencia espontánea de estos efectos. En algunas jurisdicciones, el daño por radiación derivado de efectos estocásticos podría imputarse *colectivamente* (pero no individualmente) a la situación, quizás como una *demanda colectiva*.¹⁰

- Los *radiobiólogos* cualificados pueden hacer un diagnóstico de las muestras para bioensayos especializados extraídas de personas expuestas, por ejemplo, muestras hematológicas y citogenéticas, en las que se pueden apreciar cambios biológicos atribuibles a la exposición radiológica. Pueden utilizarse como indicadores biológicos de la exposición radiológica incluso a niveles de exposición muy bajos. Sin embargo, conviene señalar que la presencia de estos indicadores biológicos en las muestras que se hayan tomado de una persona no significa necesariamente que esta vaya a padecer efectos en la salud como consecuencia de la exposición. No está claro si se puede imputar un “daño” en estos casos.
- Recientemente, se ha convenido a nivel internacional que los efectos de la radiación en la salud no son atribuibles a situaciones con dosis bajas (por ejemplo, dosis similares a las dosis de radiación de fondo natural típicas), pero que sí se podrían inferir, pese a todo, riesgos radiológicos derivados de esas situaciones, que solo pueden ser conjeturas subjetivas. En definitiva, el aumento de la incidencia de los efectos en la salud de la población no puede atribuirse con seguridad a la exposición crónica a niveles de radiación típicos del promedio mundial de radiación de fondo. Esto se debe a las

¹⁰ Por *demanda colectiva* se entiende una demanda en la que una de las partes es un grupo de personas que está representado colectivamente por un miembro de ese grupo.

incertidumbres asociadas a la evaluación de los riesgos a dosis bajas, a la inexistencia en la actualidad de biomarcadores específicos de la radiación para los efectos en la salud y a la insuficiente potencia estadística de los estudios epidemiológicos. Existe un consenso internacional en cuanto a que la cantidad de efectos inducidos por la radiación en la salud de una población expuesta a dosis incrementales con unos niveles equivalentes o inferiores a los niveles de radiación de fondo natural no se puede estimar multiplicando dosis muy bajas por un gran número de personas. Estas situaciones son muy comunes en la práctica y la imputación legal del daño por radiación que se les asigna hipotéticamente es objeto de controversia. Se ha señalado que los órganos de salud pública deben distribuir los recursos adecuadamente, para lo cual podrían, entre otras cosas, hacer proyecciones con fines comparativos del número de efectos en la salud. Este método, pese a estar basado en supuestos razonables pero no comprobables, podría ser útil para dichos fines si se aplicara de forma coherente, se tuvieran plenamente en cuenta las incertidumbres de las evaluaciones y no se infiriera que los efectos en la salud estimados son algo más que teóricos.

7.3. DE LA ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS A LA IMPUTACIÓN DEL DAÑO

La imputación legal del daño por radiación ha generado controversia a lo largo de los años, sin que se haya resuelto de manera universal. La cuestión puede resumirse como sigue:

- a) atribución de efectos en la salud a situaciones de exposición radiológica;
- b) atestación de su presencia por parte de expertos cualificados, y
- c) emprendimiento de acciones legales como, en primer lugar, la imputación y, eventualmente, la presentación de cargos, la incoación, la acusación, el enjuiciamiento y la decisión judicial, de acuerdo con la práctica jurídica en la jurisdicción aplicable. La cuestión parece ser especialmente difícil en situaciones en las que las dosis de radiación individual son bajas.

Aunque el origen de la cuestión se remonta a la época en que se llevaron a cabo numerosos ensayos de armas nucleares, esta se reavivó tras los grandes accidentes nucleares, como los de las centrales nucleares de Three Mile Island, Chernóbil y Fukushima Daiichi, y como consecuencia del interés relativamente reciente en la llamada “administración errónea” de dosis de radiación en prácticas médicas como la radioterapia y el radiodiagnóstico.

El debate se caldeó tras el accidente de la central nuclear de Chernóbil y se notificó por primera vez en el Simposio sobre Accidentes Nucleares: Responsabilidades y Garantías, convocado en 1993 por la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (AEN de la OCDE).¹¹ En ese encuentro se abordó el dilema de la causalidad asociada a las consecuencias radiológicas para la salud del accidente de Chernóbil.¹² Una década después de ese debate inicial, la influencia de esta cuestión en el derecho nuclear ya era tema de debate en la literatura jurídica.¹³

Así, desde el principio se expresaron inquietudes por las limitaciones epistemológicas de la atribución de efectos en la salud a la exposición radiológica a dosis relativamente bajas y sus consecuencias jurídicas. A pesar de estas inquietudes, se atribuyeron efectos teóricos a las bajas dosis de radiación como consecuencia del accidente, no solo en la literatura científica arbitrada,¹⁴ sino también, y de manera más notable, en el plano académico (por ejemplo, en *Annals of the New York Academy of Sciences*).¹⁵ Estas opiniones no estaban en consonancia con las estimaciones comunicadas por las organizaciones internacionales.¹⁶ Estas contradicciones suscitaron grave preocupación entre miembros del público y sus representantes.

No es de extrañar que tras el accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi se pusiera de moda en la literatura científica comunicar efectos indemostrables de manera similar.¹⁷ Esos informes diferían por completo de las estimaciones científicas de las organizaciones internacionales.¹⁸

Así, la controversia entre expertos acerca de los efectos de la radiación de baja intensidad en la salud ha ocupado el lugar central de un debate confuso y desconcertante. No es de extrañar que la respuesta jurídica a casos de exposición a dosis de radiación relativamente bajas haya sido ambigua: si bien en los últimos años las reclamaciones jurídicas no prosperaron por lo general en la mayoría de los países, algunos casos han tenido éxito, especialmente en el Japón, y podrían tener numerosas repercusiones jurídicas.¹⁹

Como era de prever, el tratamiento equívoco de la cuestión y la ambigüedad jurídica en torno a ella están provocando desconcierto entre el público en

¹¹ AEN de la OCDE 1993.

¹² González 1993, pág. 25.

¹³ González 2002.

¹⁴ Véase, por ejemplo, Cardis et ál. 2006.

¹⁵ Yablokov et ál. 2010.

¹⁶ OIEA 1996; UNSCEAR 2008.

¹⁷ Véase, por ejemplo, Ten Hoeve y Jacobson 2012.

¹⁸ UNSCEAR 2013; OIEA 2015; González et ál. 2013.

¹⁹ Véase, por ejemplo, <https://www.bbc.com/news/world-asia-38843691>. Consultado el 11 de octubre de 2021.

general y favoreciendo el sensacionalismo en los medios de comunicación, y ya se han cobrado un alto precio si pensamos en el miedo del público a las dosis de radiación bajas.²⁰ Como resultado de ello, en varios casos, los procesos de reglamentación para impedir la exposición a bajos niveles de radiación a fin de evitar repercusiones jurídicas han impuesto graves trabas a la sociedad y, de manera no deliberada, han obstaculizado el uso de prácticas beneficiosas que entrañan exposición radiológica.

Quizás los problemas surgieron primero por la desinformación y una mala comunicación entre expertos juristas y un grupo heterogéneo de radiobiólogos, radioepidemiólogos, radiopatólogos y radioproteccionistas. Además, la comunicación con el público y sus representantes políticos no ha sido ni mucho menos buena. Estos contratiempos se han examinado ampliamente,²¹ pero no se ha encontrado ninguna solución.

Un interrogante jurídico de gran importancia es qué hacer con el error de cálculo epistemológico en la atribución de los efectos de la radiación a situaciones de exposición en las que esos efectos podrían conjeturarse pero no son demostrables. Este problema ha quedado suficientemente examinado en la literatura,²² pero a lo largo de los años parece haberse ignorado tanto en los reglamentos como en la práctica jurídica.

La Organización Internacional del Trabajo llevó a cabo un importante esfuerzo para abordar la cuestión.²³ Se publicó un informe sobre enfoques de la atribución de los efectos nocivos en la salud a la exposición ocupacional a radiación ionizante y su aplicación en los programas de indemnización por cáncer. Aunque de alcance limitado (solo abarcaba la exposición ocupacional y se centraba en la indemnización), fue un importante intento de avanzar en la cuestión de la imputación. El documento, recordando el Convenio N° 115 de la OIT, exige que se indemnice a los trabajadores que hayan desarrollado cáncer como consecuencia de exposición ocupacional a la radiación y reconoce que debe seleccionarse un proceso de indemnización para la enfermedad que sea capaz de distinguir entre los casos que muy probablemente hayan sido causados por exposición ocupacional y los casos de fondo que se hayan desarrollado por otras razones.

Por fortuna, sin embargo, hace relativamente poco se alcanzó un consenso intergubernamental internacional sobre la atribución de los efectos demostrables

²⁰ Waltar et ál. 2016.

²¹ OIEA 2018.

²² González 2011.

²³ OIT et ál. 2010.

de la radiación en la salud frente a la inferencia de riesgos hipotéticos. Ese importante avance fue finalmente logrado, hace pocos años, por el UNSCEAR.²⁴

En 2012 el UNSCEAR perfiló mejor las dimensiones de este paradigma al examinar las cuestiones de la atribución de los efectos en la salud a la exposición radiológica y la inferencia de los riesgos.²⁵ La Asamblea General de las Naciones Unidas acogió con unánime beneplácito este informe científico del UNSCEAR.²⁶ El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha resumido las estimaciones del UNSCEAR en un folleto, cuyas principales conclusiones y ejemplos se citan en el presente capítulo.²⁷ Este importante acuerdo mundial se difundió ampliamente en la literatura,²⁸ pero aún está lejos de aplicarse en la práctica reglamentaria. La Comisión sobre Normas de Seguridad (CSS) viene estudiando la cuestión y está preparando un informe al respecto (la CSS es el órgano internacional que refrenda las normas internacionales de seguridad establecidas bajo la égida del OIEA con el copatrocinio de todas las organizaciones internacionales pertinentes).

Tras un largo periplo, parece que, gracias a la orientación del UNSCEAR, la comunidad científica ha alcanzado un consenso sobre los efectos en la salud a dosis bajas: si bien pueden inferirse los riesgos, no pueden atribuirse los efectos reales. Este importante consenso científico debería traducirse en instrumentos jurídicos en los que se traten las cuestiones de la imputación, la incoación, el enjuiciamiento, la presentación de cargos, la acusación y la decisión judicial tras situaciones de exposición radiológica. A estos avances les siguió un debate sobre cómo pasar de la atribución y la inferencia científicas a la imputación legal (y, en consecuencia, a la incoación, el enjuiciamiento, la presentación de cargos, la acusación y la decisión judicial),²⁹ pero aún no se ha materializado en enfoques universales.

7.4. EL PARADIGMA FUNDAMENTAL

El nuevo paradigma³⁰ del UNSCEAR es algo más preciso que las estimaciones anteriores³¹ en las que actualmente se basan los reglamentos intergubernamentales de carácter internacional y, por consiguiente, el amplio

²⁴ UNSCEAR 2012.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ Asamblea General de las Naciones Unidas 2012.

²⁷ PNUMA 2016.

²⁸ González 2014b, c.

²⁹ González 2014a.

³⁰ UNSCEAR 2012; ICRP 2005.

³¹ UNSCEAR 2008.

corpus de reglamentos de seguridad nuclear para proteger a las personas de los efectos nocivos de la exposición radiológica.³² Por ejemplo, en los reglamentos vigentes no se hace una distinción clara entre la atribución de los efectos objetivos y la inferencia de los riesgos hipotéticos. No obstante, el nuevo paradigma internacional proporciona la base científica y normativa sobre la que se asientan las cuestiones jurídicas asociadas a la imputación de daños en situaciones de exposición radiológica.

Este paradigma puede resumirse de manera simplificada en una relación dosis-respuesta con anotaciones (véase la sección 7.4.1).

7.4.1 La relación dosis-respuesta

La relación entre las dosis de radiación recibidas por las personas y la probabilidad de que se produzcan efectos en la salud (denominada *relación dosis-respuesta*), que puede derivarse de las estimaciones del UNSCEAR, ha sido sintetizada por el PNUMA en el gráfico de la figura 7.1.³³

Las dosis se expresan como:

- *dosis altas* (dosis efectiva de aproximadamente 1 *sievert* [tégase en cuenta que la dosis media de fondo natural es de 0,0024 sieverts al año; por lo tanto, un sievert es 1000 veces mayor que los niveles anuales de radiación de fondo natural]);
- *dosis moderadas* (aproximadamente cientos de milésimas de sievert [una milésima de sievert se denomina *millisievert*]);
- *dosis bajas* (unas decenas de milisieverts), y
- *dosis muy bajas* (aproximadamente 1 milisievert).

Las probabilidades se expresan en porcentajes que van del 0 al 100 %, donde:

- el 100 % corresponde a la certeza de que *el efecto se producirá*;
- el 0 % corresponde a la certeza de que *el efecto no se producirá*.

Cabe señalar que, según las estimaciones del UNSCEAR, se distinguen dos tipos de probabilidades:

- las *probabilidades frecuentistas*, correspondientes a la franja de dosis altas, basadas en la existencia verdadera y verificable de efectos de la radiación en

³² OIEA 2014; ICRP (2007) 2010.

³³ PNUMA 2016, pág. 25.

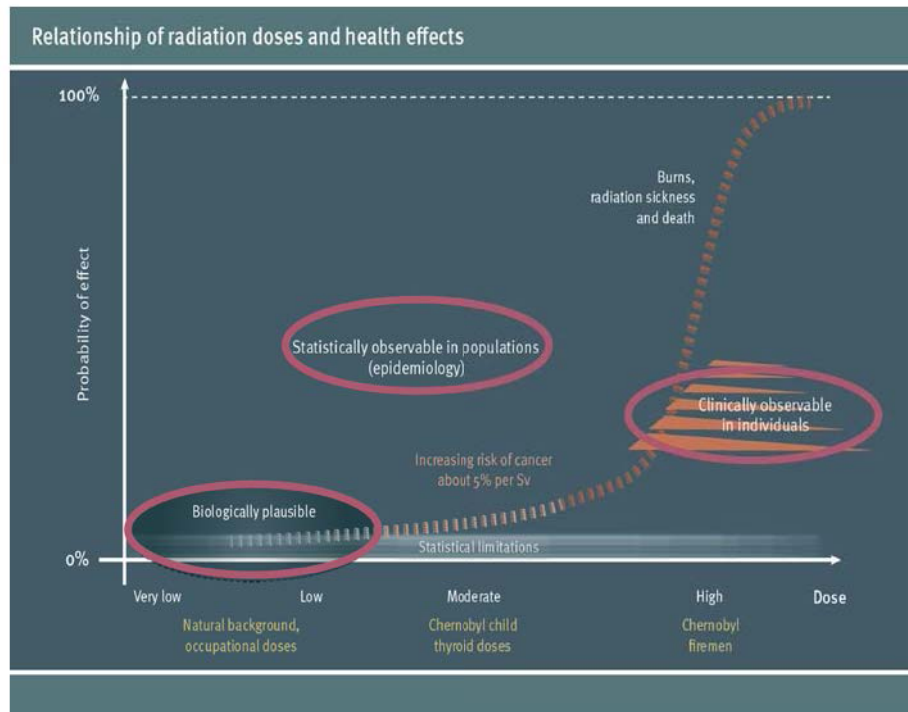


Fig. 7.1 La relación dosis-respuesta. Fuente: PNUMA 2016, página 25

la salud, que se definen como el límite de la frecuencia relativa de incidencia del efecto en una serie de estudios epidemiológicos certificables;

- las *probabilidades subjetivas* (también denominadas *bayesianas*), correspondientes a la franja de dosis bajas, que se expresan como una posible expectativa de que se manifiesten efectos de la radiación en la salud, y se cuantifican según una creencia personal o la opinión un experto que no se sustenta en la frecuencia con que realmente se producen esos efectos o la predisposición a que efectivamente tengan lugar.

Tanto las probabilidades frecuentistas como las subjetivas son matemáticamente compatibles, pero epistemológicamente muy diferentes: las primeras se basan en *hechos* y las segundas en *conjeturas*.

El UNSCEAR ha puesto de relieve la importancia de distinguir entre:

- la *observación comprobada de efectos en la salud* en personas y poblaciones expuestas, que permite atribuir inequívocamente esos efectos a situaciones de exposición que los generaron;

- los *pronósticos teóricos de efectos en la salud*, cuya manifestación es posible, pero no comprobable; es decir, los pronósticos que solo permiten inferir los riesgos en cierta medida.

En ambos casos, es importante tener en cuenta tanto la incertidumbre como la inexactitud asociada a las estimaciones.

Sobre la base de los conocimientos actuales, algunos efectos en la salud de personas concretas expuestas a la radiación, los *efectos deterministas*, pueden atribuirse con seguridad si fueron diagnosticados por un especialista. Estos efectos suelen ser agudos y se presentan de manera temprana en las personas expuestas a dosis altas de radiación. Se denominan deterministas porque está determinado que se producen si la dosis excede un valor umbral concreto que ya se ha considerado como una dosis alta.

También es posible atribuir a la radiación el aumento de la incidencia normal de determinados efectos en las poblaciones, los *efectos estocásticos* (por ejemplo, el aumento de la incidencia del cáncer, que se ha observado en poblaciones expuestas a dosis altas). Estos efectos pueden manifestarse en determinadas cohortes expuestas a dosis moderadas y altas de radiación, y se presentan tras períodos prolongados de latencia. Pueden atribuirse a la exposición al observarse su incidencia en las poblaciones afectadas, pero solo si el cambio observado en la incidencia de base de los efectos es lo suficientemente elevado como para superar las incertidumbres estadísticas y epistémicas. Debido a la aleatoriedad con la que se presentan, se denominan *efectos estocásticos*. La probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos se calcula en función de la frecuencia medida de los efectos, y se denomina de forma genérica *riesgo de la radiación*, o simplemente *riesgo*; ese riesgo suele expresarse como un número adimensional por dosis unitaria de radiación recibida.

En la actualidad no se dispone de biomarcadores para distinguir si un efecto estocástico en una persona ha sido ocasionado por la exposición a la radiación o por otra causa, o simplemente se ha dado de manera natural. Es decir, no existen patrones para los especímenes biológicos que permitan hacer un diagnóstico específico de los efectos estocásticos en las personas. Por este motivo, los efectos estocásticos no son atribuibles a la exposición sufrida por una persona en concreto, sino más bien únicamente a la exposición colectiva sufrida por una población. En el presente capítulo se expresan como un cambio en la incidencia de base del efecto.

No se han confirmado cambios en la incidencia de los efectos en la salud en situaciones en las que el nivel de exposición radiológica es bajo o muy bajo (por ejemplo, en situaciones típicas de exposición radiológica ambiental y ocupacional). Dadas las incertidumbres estadísticas y epistémicas de los estudios

epidemiológicos a dosis bajas y muy bajas, entre otros motivos, es imposible confirmar estos cambios.

No obstante, en principio, no puede descartarse la manifestación silenciosa de estos efectos y podría asignarse una probabilidad a esa manifestación hipotética. Así pues, *la probabilidad de que se produzcan efectos estocásticos a dosis bajas y muy bajas solo puede inferirse subjetivamente a partir del juicio de expertos*. Por lo tanto, a dosis bajas y muy bajas, es necesario formular hipótesis y utilizar modelos matemáticos para estimar la probabilidad subjetiva de que se produzcan efectos en la salud, lo que da lugar a resultados inciertos. Esta probabilidad subjetiva también suele denominarse *riesgo*.

En consecuencia, en el caso de dosis de radiación bajas y muy bajas, el UNSCEAR ha optado por no utilizar esos modelos matemáticos en sus evaluaciones para estimar cifras relativas a los efectos de la radiación en la salud (o incluso muertes) ante las incertidumbres inaceptables, inherentes a las predicciones, que se derivan de dichos modelos. Sin embargo, el UNSCEAR estima que estos cálculos pueden ser útiles para hacer suposiciones que pueden utilizarse en comparaciones en el ámbito de la salud pública o con fines de protección radiológica, siempre y cuando, como ha advertido el UNSCEAR, se tengan en cuenta las incertidumbres y se expliquen con claridad las limitaciones.

En resumen, tal y como se señala con óvalos en la figura 7.1, el UNSCEAR hizo una clara distinción entre tres regiones diferentes de la relación dosis-respuesta, en función de la posibilidad de observar efectos, a saber:

- la región en la que los efectos son clínicamente observables en las personas, por medio de un diagnóstico radiopatológico y una atestación mediante certificado;
- la región en la que los efectos son solo estadísticamente observables en las poblaciones (pero no son reconocibles en las personas), a través de estimaciones radioepidemiológicas y una atestación o certificación;
- (en ambas situaciones las probabilidades que pueden darse son frecuentistas);
- la región en la que los efectos no son observables, pero pueden ser biológicamente factibles, y solo pueden inferirse sobre la base de la opinión subjetiva de expertos (es decir, en este caso solo pueden darse probabilidades subjetivas).

7.5. HECHOS VERIFICABLES FRENTE A CONJETURAS SUBJETIVAS

Del examen anterior del paradigma se desprende que la abscisa de la relación dosis-respuesta, que cuantifica la dosis, puede dividirse en dos zonas diferenciadas, como se muestra en la figura 7.2 y se describe en esta sección:

- dosis que producen efectos resultantes de hechos objetivamente verificables, es decir, sucesos verdaderos en lugar de interpretables, que se manifiestan sin lugar a dudas y en los que no influyen sentimientos ni opiniones personales;
- dosis que solo dan lugar a inferencias subjetivas basadas en conjeturas, es decir, en opiniones o conclusiones basadas en información incompleta, no comprobada y, quizás, influida por sentimientos u opiniones personales.

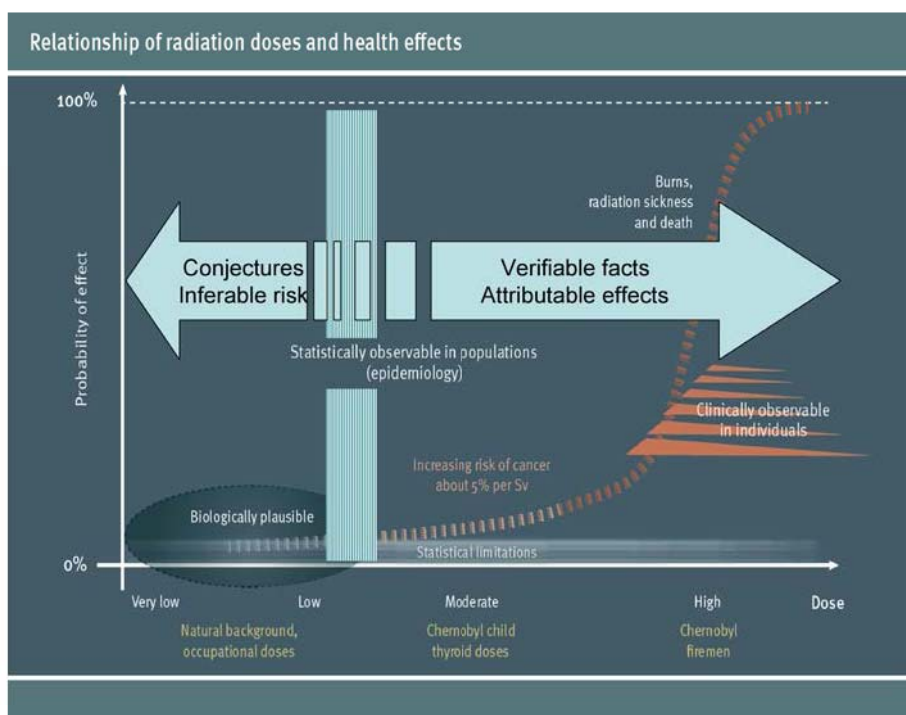


Fig. 7.2 La abscisa de la relación dosis-respuesta dividida en dos zonas diferenciadas. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

De ello se desprende que las dos zonas diferenciadas son:

- la zona en la que es posible atribuir objetivamente los efectos a situaciones de exposición radiológica;
- la zona en la que no es posible atribuir objetivamente los efectos, aunque cabe la posibilidad de inferir los riesgos de manera subjetiva.

7.6. ATESTACIÓN

Como se ha expuesto anteriormente, la manifestación de efectos de la radiación puede ser atestada por radiopatólogos en el caso de los efectos deterministas en las personas y por radioepidemiólogos en el de los efectos estocásticos en las poblaciones. Esta atestación no es posible únicamente sobre la base de un juicio experto.

La zona de la relación dosis-respuesta en la que los efectos son atribuibles puede dividirse, a su vez, como se muestra en la figura 7.3, en las dos subzonas siguientes:

- en la región correspondiente a las dosis altas, puede *diagnosticarse* la manifestación de efectos en las personas expuestas;
- en la región correspondiente a las dosis moderadas, solo pueden evaluarse los cambios en la incidencia de los efectos en las poblaciones expuestas, por lo general mediante cálculos estadísticos, es decir, estimados a través de estudios *epidemiológicos*;
- en la región correspondiente a las dosis bajas y muy bajas, solo cabe la posibilidad de obtener un *juicio experto* y extrapolar los conocimientos, pero no se puede hacer un diagnóstico individual de la persona expuesta ni se pueden determinar cambios en la incidencia colectiva de los efectos en las poblaciones expuestas mediante estudios epidemiológicos.

Por lo tanto, es posible hacer otra distinción en la atribución de los efectos, como se indica en la figura 7.3:

- en la zona correspondiente a la región de las dosis altas, los efectos pueden atribuirse individualmente, es decir, es posible diagnosticar y atestar mediante procedimientos de diagnóstico patológico que el efecto se ha manifestado en una persona expuesta;
- en la zona correspondiente a la región de las dosis moderadas, los efectos pueden estimarse colectivamente, es decir, es posible evaluar si se produce

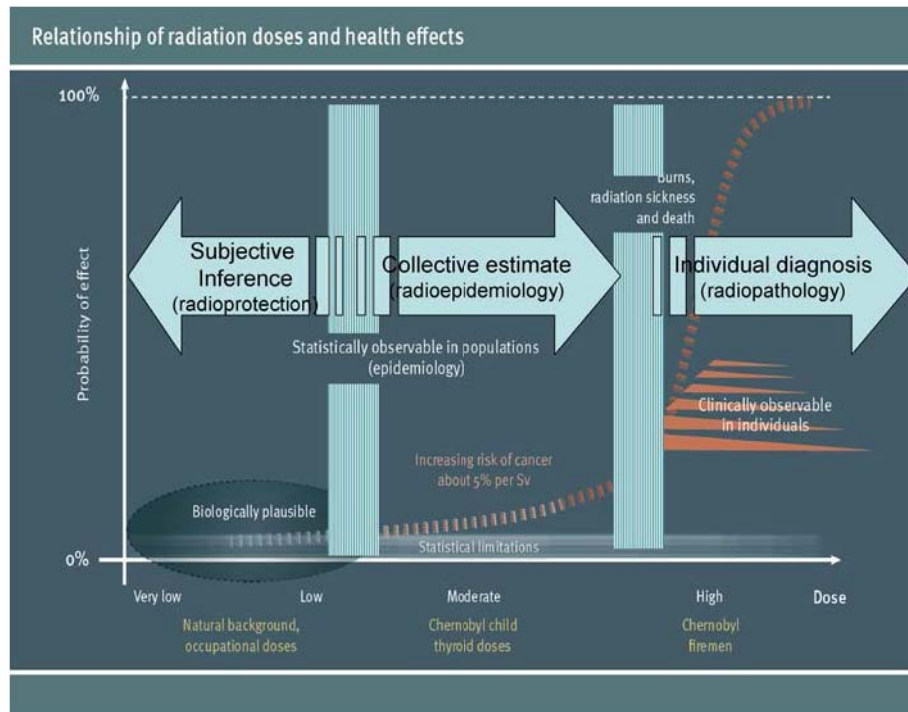


Fig. 7.3 Subzonas de la relación dosis-respuesta en las que los efectos son atribuibles. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

un aumento en la incidencia de los efectos en una población expuesta, aunque estos efectos no pueden diagnosticarse de forma individual;

- en la zona restante correspondiente a la región de las dosis bajas, no pueden atribuirse los efectos, ni individual ni colectivamente, aunque se puede inferir un *riesgo* expresado como una probabilidad subjetiva que no se basa en frecuencias medibles, sino en opiniones personales de expertos o en decisiones reglamentarias.

Como se muestra en la figura 7.3, el proceso exige diferentes atestaciones profesionales, según se indica a continuación:

- la atribución individual de los efectos solo puede hacerse por medio de un diagnóstico, seguido de un certificado de atestación oficial expedido por un *radiopatólogo* cualificado;

- la atribución colectiva de los efectos solo puede hacerse por medio de una estimación estadística, seguida de un certificado de atestación oficial expedido por un *radioepidemiólogo* cualificado;
- la inferencia subjetiva de los efectos podría requerir la opinión consensuada de un órgano profesional de especialistas pertinentes, fundamentalmente radiobiólogos y radioepidemiólogos que actúen en calidad de radioproteccionistas, que deben expresar su *juicio experto* sobre los riesgos, si los hubiere, así como sus incertidumbres y limitaciones. Dicho juicio debería ser validado por decisiones reglamentarias.

7.7. CONSECUENCIAS JURÍDICAS

La capacidad de atribuir los efectos en la salud a situaciones de exposición concretas puede influir en la capacidad de imputar legalmente los daños de quienes sufrieron los efectos. La imputación puede incluir la asignación, a los causantes de la exposición, de la responsabilidad por lesiones físicas o efectos nocivos infligidos deliberadamente. Por ejemplo, los trabajadores pueden imputar a sus empleadores y los miembros de la población pueden imputar a los licenciarios de las instalaciones que efectúan operaciones en su hábitat. Sin embargo, la legislación relativa a la atribución de los efectos de la radiación en la salud, la inferencia de los riesgos radiológicos y, en particular, la imputación de los daños, es heterogénea, incoherente y varía tanto de un país a otro como en los casos juzgados en las jurisdicciones de un mismo país. De la comparación de la legislación jurisprudencial con la legislación codificada se desprende una distinción importante.

El sustantivo *imputación*, el verbo *imputar* y su gerundio *imputando* son de uso muy frecuente en muchas jurisdicciones legales (por ejemplo, en regiones jurisdiccionales de Iberoamérica). Pero el uso de *imputación* no es tan común en algunas culturas jurídicas (por ejemplo, en algunas jurisdicciones anglosajonas). La palabra *imputación* y sus derivados son gramaticalmente correctos, ya que significan atribuir algo negativo (en este caso, algo negativo causado por la exposición radiológica) a alguien (por ejemplo, los empleados expuestos a la radiación pueden atribuir algo negativo a los empleadores; los miembros de la población afectados, a los operadores de instalaciones relacionadas con la radiación). En definitiva, *imputar* significa atribuir la culpa a alguien, ya sea una persona física o una persona jurídica.³⁴ Existen otros términos conexos que se utilizan con fines jurídicos similares, entre ellos, *incoar* y *enjuiciar*, que se refieren a la iniciación de procedimientos judiciales tras la exposición

³⁴ El término deriva del latín *imputare*, que significa “computar, contabilizar”.

radiológica; *presentar cargos*, que se refiere a la acusación formal de un delito (por ejemplo, infringir los reglamentos de protección radiológica); *acusar*, que se utiliza para referirse a la acusación formal de un delito grave (por ejemplo, matar a una persona con radiación); y, por supuesto, *juzgar*, que se utiliza para referirse al veredicto que da un funcionario público designado para pronunciarse sobre los casos sometidos a un tribunal de justicia. Cabe destacar que las descripciones del presente capítulo son aplicables *mutatis mutandis* a cualquiera de estos conceptos.

7.7.1. Legislación jurisprudencial (“caso por caso”)

La legislación “caso por caso” basada en la hermenéutica jurisprudencial se distingue de la legislación codificada por su flexibilidad. Esta legislación permite ocuparse fácilmente de las situaciones en las que se presentan efectos deterministas y es maleable a la hora de interpretar situaciones probabilísticas, como el daño atribuible o inferible tras la exposición radiológica a dosis moderadas, bajas y muy bajas.

Por ejemplo, en algunos países donde prevalece este tipo de legislación, se ha aplicado el concepto de *fracción asignada*³⁵ para resolver casos de imputación de daños por radiación debidos a efectos estocásticos.

La *fracción asignada* equivale a la fracción correspondiente al número total de casos de un tipo específico de cáncer diagnosticado entre las personas que supera el número de casos de referencia de personas que comparten las mismas características, como la dosis absorbida en un órgano, la edad, el tiempo transcurrido desde la última exposición, el sexo y los hábitos tabáquicos). La fracción asignada se cuantifica como la relación entre el *riesgo añadido relativo* y el *riesgo relativo*.³⁶ La *fracción asignada* suele denominarse *fracción atribuible* o *probabilidad de causalidad*, suponiendo que el riesgo añadido

³⁵ Por *fracción asignada* se entiende la probabilidad de que un efecto en la salud (ya sea determinista o estocástico) observado en una persona haya sido causado por una situación de exposición radiológica concreta.

³⁶ Por *riesgo relativo* se entiende el cociente entre las tasas de enfermedad en distintos grupos (por ejemplo, en un grupo expuesto y en uno no expuesto) o por diferentes condiciones de exposición (por ejemplo, personas expuestas a altas tasas de dosis y personas expuestas a bajas tasas de dosis); con frecuencia es útil considerar el riesgo relativo como una función de variables, entre ellas, la dosis, el sexo o la edad (cabe señalar que, si bien este cociente suele denominarse riesgo relativo, este término es erróneo; se trata en realidad de un cociente entre tasas, al igual que las estadísticas derivadas de este cociente). En rigor, aunque los cocientes en cuestión se calculan estadísticamente en función de las frecuencias/tasas observadas, el riesgo añadido relativo es una estimación prospectiva que se deduce de datos y razonamientos. Por *riesgo añadido relativo* se entiende el *riesgo relativo* menos uno, y a menudo se considera como una función de la dosis y otros factores.

relativo calculado representa las consecuencias netas de los mecanismos de manifestación de la enfermedad en una persona concreta a la que se le ha diagnosticado tal enfermedad.

7.7.2. Legislación codificada

Muchos sistemas jurídicos de regiones extensas (por ejemplo, Iberoamérica) tienen una legislación “codificada”, es decir, legislación que resulta del proceso de recopilar y reformular la legislación, generalmente por tema, que conforma un código legal, esto es, una compilación de leyes. La tendencia a la codificación cobró impulso durante la Ilustración y se extendió tras promulgarse el Código napoleónico.

El sistema jurídico codificado evita la arbitrariedad y la discriminación, que años atrás eran relativamente comunes en los regímenes monárquicos autoritarios. Sin embargo, hay que reconocer que un sistema jurídico codificado es, en esencia, un sistema determinista: un sistema predeterminado por la codificación.

Por lo tanto, el sistema jurídico codificado está adaptado para ocuparse de las situaciones de exposición que producen efectos deterministas, dada la existencia de umbrales de dosis a partir de los cuales está determinado que un efecto se produce o no, es decir, si es o no atribuible. Un experto competente facultado para ejercer la radiopatología puede atestar inequívocamente la aparición de efectos y, dado que las sanciones pueden codificarse, la imputación resulta sencilla. No obstante, el sistema no se adapta totalmente a las situaciones probabilísticas, en especial en situaciones de baja probabilidad, como las relacionadas con los posibles daños a raíz de la exposición radiológica cuando las probabilidades ni siquiera se sustentan en frecuencias objetivas de manifestación, sino que son solo la “opinión subjetiva de expertos”, que no se presta a la codificación. Por ello, la legislación codificada resulta problemática para resolver casos de imputación de efectos estocásticos.

7.7.3. Imputación individual frente a imputación colectiva frente a imputación ficticia

La imputación de los daños asociados a la exposición radiológica sigue siendo un gran interrogante jurídico. Esta cuestión podría ser más sencilla de resolver en sistemas jurídicos jurisprudenciales, “caso por caso”, pero resulta especialmente engorrosa para la legislación codificada, en la que no es viable adoptar un enfoque “caso por caso”. Como se indica en la figura 7.4, pueden darse las siguientes situaciones:

- En la región correspondiente a las dosis altas, la imputación se da directamente de la persona afectada al causante.
- En la región correspondiente a las dosis moderadas, al parecer, solo es posible la imputación colectiva o de grupo.
- En la región correspondiente a las dosis bajas, la situación es, cuando menos, cuestionable. ¿Es posible imputar las consecuencias percibidas de los riesgos radiológicos sobre la base de opiniones subjetivas?

En la región correspondiente a las dosis altas, los efectos individuales en la salud son clínicamente atribuibles y atestables y, por lo tanto, la persona afectada puede imputar los daños. En la región correspondiente a las dosis moderadas, la mayor incidencia de los efectos nocivos en los grupos de población es epidemiológicamente atribuible y atestable y, por lo tanto, el grupo afectado puede imputar los daños. En la región correspondiente a las dosis bajas, en la que el daño por radiación no es atribuible ni atestable, ni individual ni colectivamente, pero puede inferirse el riesgo radiológico, la situación parece estar en un limbo jurídico.

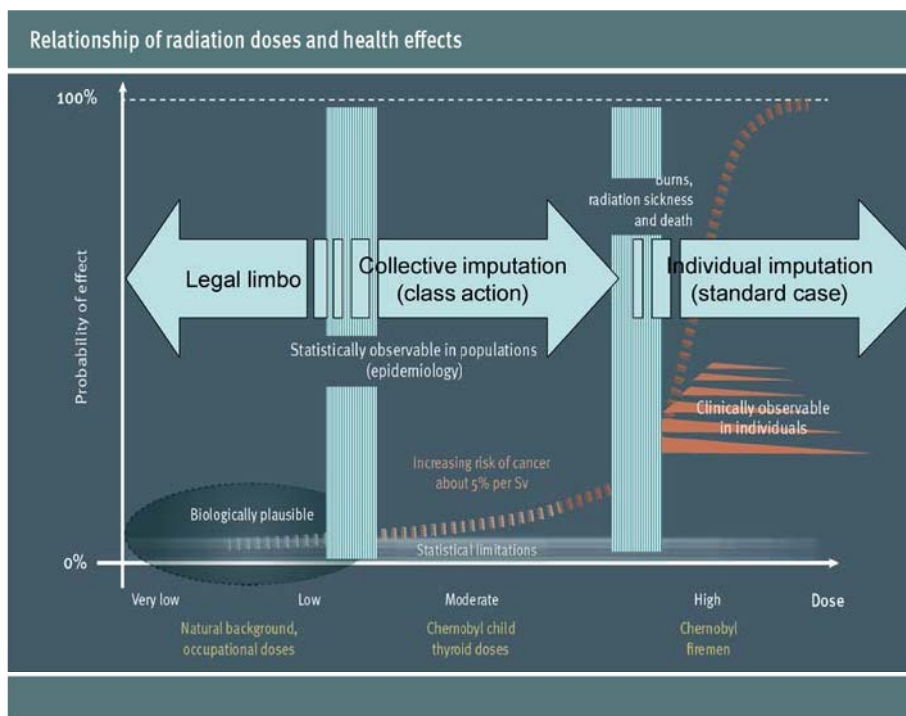


Fig. 7.4 Representación esquemática de la capacidad de imputación tras recibir diferentes dosis de radiación. Fuente: PNUMA 2016, página 25 (versión adaptada)

7.8. CONCLUSIÓN

Tras un largo periplo, parece que la comunidad científica ha alcanzado, gracias a la orientación del UNSCEAR, un consenso sobre la atribuibilidad de los daños en situaciones de exposición radiológica. Este importante consenso científico debería traducirse en instrumentos jurídicos en los que se trate la cuestión de la imputación legal, así como los conceptos conexos de incoación, enjuiciamiento, presentación de cargos, acusación y decisión judicial, tras situaciones de exposición radiológica. Si bien a raíz de estos avances se ha examinado de manera preliminar la cuestión de cómo pasar de la atribución y la inferencia científicas a la imputación legal,³⁷ esto aún no se ha materializado en enfoques universales.

Parece que ha llegado el momento de que los expertos jurídicos recojan en orientaciones legales los avances científicos sobre la atribución de los efectos de la radiación y la inferencia de los riesgos radiológicos tras situaciones de exposición radiológica.

Dadas las diferencias culturales, reglamentarias y legislativas que existen entre los países, se considera prudente y necesario examinar esta cuestión jurídica a escala internacional con dos objetivos fundamentales:

- a) fomentar un entendimiento jurídico común de la política relativa a los daños por radiación atribuidos a situaciones de exposición radiológica, y
- b) examinar la posibilidad de una interpretación universal de la legislación por la que se rija la aplicación de la ley en estas situaciones, que podría servir de base a las diferentes legislaciones nacionales.

La responsabilidad recae ahora en los juristas expertos en derecho nuclear.

REFERENCIAS

- Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby S C, Gilbert E S, Akiba S, Benichou J, Ferlay F, Gandini S, Hill C, Howe G, Kesminiene A, Moser M, Sanchez M, Storm H, Voisin L, Boyle P (2006) Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident, *International Journal of Cancer* 119:1224-35.
- González A J (1993) The Radiological Health Consequences of Chernobyl: The Dilemma of Causation. In: *Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees*, OECD/NEA, Paris.
- González A J (2002) The debate on the health effects attributable to low radiation exposure, *Pierce Law Review* 1:39-67.
- González A J (2011) Epistemology on the Attribution of Radiation Risks and Effects to Low Radiation Dose Exposure Situations, *International Journal of Low Radiation* 8.

³⁷ González 2014a.

- González A J (2014a) Key Note Address: Imputability of Health Effects to Low-Dose Radiation Exposure Situations. In: Manóvil R M (ed) Nuclear Law in Progress, Legis Argentina S.A., Buenos Aires.
- González A J (2014b) Clarifying the Paradigm on Radiation Effects & Safety Management: UNSCEAR Report on Attribution of Effects and Inference of Risks, Nuclear Engineering and Technology 46:467-474.
- González A J (2014c) Clarifying the Paradigm for Protection Against Low Radiation Doses: Retrospective Attribution of Effects Vis-à-Vis Prospective Inference of Risk, Radiation Protection in Australasia 31:2-12.
- González A J, Akashi M, Boice Jr J D, Chino M, Homma T, Ishigure N, Kai M, Kusumi S, Lee J-K, Menzel H-G, Niwa O, Sakai K, Weiss W, Yamashita S, Yonekura Y (2013) Radiological Protection Issues Arising During and After the Fukushima Nuclear Reactor Accident, Journal of Radiological Protection 33:497-571.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1996) One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, IAEA, Vienna.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2014) *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad*, patrocinada conjuntamente por: Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, Comisión Europea, Organismo Internacional de Energía Atómica, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Internacional del Trabajo, Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GSR Part 3, OIEA, Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2015) *El accidente de Fukushima Daiichi*, OIEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Report of the 2018 International Symposium on Communicating Nuclear and Radiological Emergencies to the Public. <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/01/cn-265-report.pdf>. Accessed 3 October 2021
- International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2005) Low dose Extrapolation of Radiation-Related Cancer Risk, Elsevier, Amsterdam.
- Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) (2007) *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*, Senda Editorial, Madrid.
- International Labour Organization (ILO), International Atomic Energy Agency (IAEA), World Health Organization (WHO) (2010) Approaches to Attribution of Detrimental Health Effects to Occupational Ionizing Radiation Exposure and Their Application in Compensation Programmes for Cancer: A Practical Guide, ILO, Geneva.
- OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (1993) Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees, OECD/NEA, Paris.
- Ten Hoeve J E, Jacobson M Z (2012) Worldwide Health Effects of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, Energy & Environmental Science 5:8743-57.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2016) *Radiación: efectos y fuentes*, Nairobi, Kenya.
- Asamblea General de las Naciones Unidas (2012), *Efectos de las radiaciones atómicas*, A/RES/67/112.

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2008) Sources and Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.II.pdf. Accessed 3 October 2021
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2012) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf. Accessed 3 October 2021
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2013) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.II.pdf. Accessed 3 October 2021
- Waltar A E, Brooks A L, Cuttler J M, Feinendegen L E, González A J, Morgan W F (2016) The High Price of Public Fear of Low-Dose Radiation, *Journal of Radiological Protection* 36:387.
- Yablokov A V, Nesterenko V B, Nesterenko A V (2010) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. In: Sherman-Nevinger J D (ed) *Annals of the New York Academy of Sciences*, Blackwell, Boston.

Las opiniones expresadas en el presente capítulo son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones del OIEA, es decir, el Organismo Internacional de Energía Atómica, su Junta de Gobernadores o los países que representan.