



# Imagen diagnóstica

www.elsevier.es/imagendiagnostica



## EDITORIAL

### Radiología y radiactividad, dos manifestaciones diferentes aunque equivalentes del riesgo radiológico

### Radiology and radioactivity, two different manifestations but with the same radiological risks

**“En la exposición a los rayos X no existen límites que nos marquen una seguridad. Cada exposición comporta para la salud un aumento del riesgo”**

**Joel E. Gray, físico médico, Mayo Medical School. Testimonio manifestado ante la Comisión para la Prevención de la Salud en Minnesota, 18 de junio de 1997.**

Las radiaciones ionizantes están constituidas por flujos de partículas que se mueven con rapidez, de naturaleza y energía cinética variables, cuyo origen se halla en fenómenos espontáneos —desintegración de átomos radiactivos (naturales o creados por el hombre)—o bien en la aceleración artificial de partículas o electrones para provocar interacciones con la materia o para generar rayos X.

La radiación ionizante encuentra numerosas aplicaciones en el ámbito de la medicina, la industria y la biología. De ellas, la más frecuente es el uso de los rayos X en medicina y en la industria. La generación de energía nuclear produce radiactividad que resulta importante en la aplicación de isótopos radiactivos en numerosos ámbitos de la industria, de la geología, de la sanidad, etc.

En la interacción con los átomos de la materia, las radiaciones ionizantes crean iones u otros elementos derivados de la misma interacción. El efecto tóxico de la radiación ionizante está relacionado con la ionización de átomos y moléculas en el seno de las células del tejido biológico.

Según su masa y forma de propagación, podemos diferenciar dos clases de radiación ionizante: a) partículas (corpúsculos) y b) fotones u ondas electromagnéticas de muy alta energía. Ejemplos de ellos son la radiación gamma de origen nuclear y los rayos X.

El nivel de toxicidad y penetración de las distintas radiaciones difiere en función de su masa y energía. La transferencia lineal de energía (LET, en sus siglas en inglés) es el parámetro de referencia. La dimensión del daño biológico está relacionado con la densidad de ionización por unidad de volumen que producen las diferentes clases de radiación

en el tejido. Las partículas generan más iones por unidad de volumen que los fotones de la radiación electromagnética, y, por tanto, son conceptuadas como LET elevada, equivalente a toxicidad elevada. Una dosis física de partículas alfa o neutrones provoca un efecto biológico superior a la misma dosis de radiación beta, gamma o rayos X.

La interacción ionizante en la materia genera alteración, modificación o transformación molecular y celular en el organismo, que éste podrá restablecer con mayor o menor eficiencia, según la dosis recibida y el espacio de tiempo entre exposiciones. Sin embargo, el daño residual restante es acumulativo y da lugar a lo que entendemos por *riesgo radiológico*. Las consecuencias para el individuo irán en función de la dosis absorbida, pero también del tejido u órgano dañado, es decir, de la *dosis efectiva*. Debido a su carácter aleatorio (probabilidad estocástica), el efecto tóxico puede producirse a partir de dosis relativamente bajas, el cual se incrementará proporcionalmente con la dosis absorbida. La radiación puede inducir *efectos somáticos*, como el cáncer o la leucemia, y *efectos genéticos* de relativa importancia, a partir de dosis propias del radiodiagnóstico: la respuesta biológica dependerá de la dosis efectiva total acumulada, así como de la distribución espacial de las exposiciones experimentadas.

Aunque de forma inexacta, la transferencia lineal de energía expresa estos conceptos, la eficiencia biológica relativa es también un concepto de referencia indicador de la relación entre la respuesta biológica específica y la clase de radiación. Estos valores y conceptos radiológicos forman parte del estudio de la microdosimetría.

Cuando se habla de rayos X, el riesgo biológico asociado a la dosis absorbida hay que interpretarlo de forma diferente a la dosis que pueda provocar la incorporación de sustancias radiactivas.

En este caso, se trataría de materia, de elementos radiactivos, isótopos de elementos estables o de sustancias extrañas al organismo humano creadas por el hombre, como el plutonio, los actínidos o “transuránicos”, formados a través del proceso de activación neutrónica (absorción de neutrones) del uranio.

Asimismo, los productos de desintegración del núcleo se generan a partir del proceso de fisión, con una variación posible de nuevos elementos radiactivos de hasta 200, todos ellos diferentes —algunos de ellos son isótopos de elementos estables propios del organismo—, por lo que resultan químicamente afines a sustancias orgánicas elementales, que pueden sustituirse y, de esta forma, incorporarse en organismos vivos. Este es el principio de la contaminación orgánica, es decir, de la toxicidad radiactiva.

De este modo, la materia radiactiva induce radiotoxicidad en los tejidos donde se deposita y se concentra. Según sea su afinidad orgánica y sus características físico-químicas, el grado de toxicidad es diferente. Puede tratarse de un foco de contaminación local en un órgano vital, o bien de una dispersión orgánica, por ello la respuesta biológica será distinta, de acuerdo con la criticidad (sensibilidad radiológica) del órgano expuesto y características de la sustancia contaminante. Ejemplos del pasado y del presente (Harrisburg 1979, Chernobyl 1986, Fukushima 2011, y otros muchos, aunque silenciados por los medios) forman las importantes emisiones de yodo ( $^{129}+^{131}$ ), cesio ( $^{137}+^{134}$ ), estroncio 90/itrio 90 y muchos otros que se fijan en las plantas, se concentran en el organismo animal y, finalmente, en el organismo humano, como último eslabón de la cadena alimentaria. La materia radiactiva se concentrará en mayor o menor eficiencia según cuál haya sido la vía de penetración en el organismo.

Tampoco la radiactividad natural es inocua. En su interacción con el organismo vivo, depende de los mismos parámetros físico-químicos y biológicos que la radiactividad artificial. Algunos elementos radiactivos que se forman a partir de la desintegración de la serie radiactiva del uranio 238 son muy tóxicos y presentes en nuestro ambiente. La radiactividad natural es corresponsable de la incidencia “natural” en leucemia infantil, síndrome de Down y algunas formas de cáncer que acontecen de manera espontánea.

Las series radiactivas del uranio y del torio tienen su origen en capas profundas de la corteza de la Tierra. Como ejemplo de elementos de gran toxicidad tenemos el radio 226, el radón 222, el plomo/polonio 210 y otros derivados de ellos.

El espectro de la radiación electromagnética ionizante lo forman frecuencias de energías muy dispares, desde los rayos X—fotones generados a partir de la aceleración de electrones—, hasta los rayos gamma. La radiación gamma es una emisión del núcleo atómico radiactivo y acompaña generalmente (no siempre) la emisión de partículas, es altamente energética y penetrante. Sustancias radiactivas incorporadas emiten partículas y compensan su inestabilidad energética con la emisión de radiación gamma. En este caso, estaríamos hablando de un foco puntual activo en el organismo

que crearía radiotoxicidad local, además de emitir radiación gamma, la cual irradiaría el mismo organismo en su totalidad, pudiéndose detectar o registrar la radiación desde el exterior. Ejemplos de su aplicación médica serían la gammagrafía y la tomografía por emisión de positrones, entre muchos otros.

La medida de zonas contaminadas se realiza in situ mediante el estudio del espectro gamma con la ayuda de un equipo, relativamente simple, llamado Geiger Müller. Posteriormente, se procede a un análisis muestral en el laboratorio.

El espectro de los rayos X está asociado a la energía aplicada en la aceleración de electrones. En función de la energía aplicada es radiación más o menos penetrante.

La utilización médica de esta radiación da lugar a una cierta controversia, ya que en su interacción con el organismo puede provocar daños biológicos no siempre posibles de restablecer y de detectar. Por esta razón, cuando se aplica la radiación ionizante en el organismo humano, el beneficio a obtener debe siempre superar el daño que (en teoría) se induce.

Debido a que la radiación electromagnética —independiente de la energía de emisión— no contiene materia (masa cero), no implica sustancia radiactiva que pueda ser incorporada o concentrada en el organismo; por lo tanto, no es acumulable y, definitivamente, no contamina. Es radiación ionizante con una interacción radiobiológica equivalente (acción de cuantos de energía o fotones) a la acción de partículas de origen nuclear, aunque de bajo LET. El factor acumulativo, la dosis efectiva, sería la totalidad de los efectos residuales, después de que el organismo restableciera una parte (rara vez la totalidad) de los daños provocados.

En cuanto a la irradiación por rayos X, nos interesa la dosis efectiva absorbida, es decir, la dosis que puede estar asociada a un efecto biológico como consecuencia de su interacción con el organismo. Es la dosis (en mSv) o dosis equivalente absorbida por un organismo, en su totalidad o en parte, que implica un órgano específico o varios. Estos son aspectos que requieren una revisión permanente del conocimiento científico que tenemos del riesgo radiológico. El estudio de los efectos de la radiación ionizante con dosis relativamente bajas, propias del radiodiagnóstico, aporta día a día nuevos datos sobre la eficiencia biológica relativa de los rayos X de energía baja. Hoy sabemos que hay una relación entre la dosis administrada en la zona pélvica y el cáncer de próstata que se manifestará clínicamente después de años de latencia. También nos informan de la relación entre la irradiación repetitiva de cabeza (cráneo) y cuello en la infancia con la aparición posterior de meningiomas.

De hecho, no hay una dosis segura sin efecto. Tan sólo después de años de seguimiento epidemiológico, se puede afirmar que existe o no manifestación clínica, condicionada a causa del tiempo de latencia que comporta la formación y posterior aparición de un efecto somático (tumor o equivalente) o genético. En función de una dosis absorbida, sí podemos decir, e incluso cuantificar, que hay un riesgo mayor o menor a partir de la probabilidad subyacente.

En cuanto a la utilización a menudo repetitiva de la tomografía computarizada (TC) en la infancia y la adolescen-

cia, y en mujeres en edad de riesgo, debido a la sensibilidad radiológica de algunos órganos —concretamente en exposiciones que repercuten en cabeza y cuello, tórax, abdomen, que implican la irradiación de órganos críticos—, la dosis total acumulada puede significar una exposición elevada. Según el informe del comité internacional que estudia los efectos biológicos de la radiación ionizante (BEIR-Report VII; Phase 2; 2005), el riesgo radiológico imputable a los exámenes por TC resulta preocupante por su tendencia creciente, concretamente cuando el sistema habitual establecido en los centros hospitalarios desestima de forma sistemática considerar la relación riesgo-beneficio.

¿Cuál es el riesgo asociado a la radiación ionizante en dosis relativamente bajas? (radiodiagnóstico, no radioterapia, donde las dosis de radiación que se administran pretenden un efecto curativo y tienen carácter determinístico, no estocástico). El riesgo de desarrollar dentro de un tiempo de latencia relativamente largo (entre 5 y 30 años) una enfermedad somática, cáncer o un efecto genético tiene carácter estocástico y, por tanto, asociado a una probabilidad.

La aparición de un cáncer está relacionada con la dosis efectiva, cuanto más intensidad radiológica, mayor es el riesgo. La relación dosis-efecto crece de forma proporcional a partir de la dosis cero. Esta relación es válida también para el efecto genético atribuido a la radiación ionizante. En los humanos, el riesgo se reduce a partir de edades adultas, aunque dependiendo de la sensibilidad radiológica del órgano irradiado.

El informe BEIR estima el riesgo de una formación cancerosa en  $\geq 1$  efecto/ 1.000 personas/ 10 mSv, es decir, que de cada 1.000 personas que reciban una dosis efectiva de 10 mSv (sometidas a una exposición con una dosis efectiva de este orden), una de ellas desarrollará un cáncer mortal.

En pediatría, y debido a la mayor sensibilidad a la radiación, el informe BEIR estima el riesgo en 1,8 casos/ 1.000 personas/ 10 mSv de dosis efectiva. Estos valores han sido discutidos, pero no rebatidos.

¿Qué significa una dosis de 10 mSv? Esta es la dosis aproximada que se administraba a un paciente en un solo estudio de TC en la región torácica, abdominal o pélvica, teniendo siempre en cuenta que puede ser más elevada y que puede ser repetitiva.

La radiología convencional suma dosis importantes y de este orden, a causa de las múltiples repeticiones.

La recomendación a la que nos obliga la referencia del informe BEIR y otros es aplicar el concepto ALARA (*as low as reasonably achievable*) de manera profesional y que, también de manera profesional, los facultativos no radiólogos consulten a los compañeros radiólogos antes de solicitar un estudio radiológico.

Pere Carbonell

*Doctor en Ciencias Físicas, experto en Física Médica y PR por el CSN*

*Correo electrónico: carbonell.mitjans@gmail.com*