



## INFORMACIÓN GENERAL

### 1. ¿Qué son las radiaciones?

Las radiaciones son un tipo de energía que forman parte de la naturaleza. Por ejemplo, las estrellas y el sol también emiten radiación,

Al hablar de radiación nos referimos, en general, a la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. Son ondas electromagnéticas: las ondas de radio, las microondas, la radiación ultravioleta, los rayos X, los rayos  $\gamma$  y la luz visible. Todas ellas se propagan a la velocidad de la luz (300.000 Km/s) y de todas ellas, el hombre solo puede percibir la luz visible. Para detectar la presencia de las demás se necesitan instrumentos especiales (detectores de radiación).

También usamos la palabra “radiación” para designar a algunas partículas que se mueven a gran velocidad, como electrones, protones y neutrones. Estas partículas se encuentran en el átomo, que es la parte más pequeña en que podemos dividir una sustancia.

### 2. ¿Qué son las radiaciones ionizantes?

Cuando la energía de la radiación es muy grande puede arrancar electrones de los átomos de una sustancia y por eso se llama “**radiación ionizante**”. Algunas ondas electromagnéticas, como Rayos X y radiación gamma, son radiaciones ionizantes y también partículas, como electrones, neutrones, partículas alfa...

### 3. ¿Dónde se encuentran las radiaciones ionizantes?

El ser humano vive en un mundo con radiactividad natural: el propio cuerpo humano contiene pequeñas cantidades de sustancias radiactivas: polonio en los huesos, etc. También está expuesto a la radiación cósmica, procedente del espacio y la radiación del radón, procedente de la tierra. La invención del tubo de RX en 1895 abrió paso a las aplicaciones artificiales de las radiaciones ionizantes.

### 4. ¿Cómo se miden las radiaciones ionizantes?

Para detectar la presencia de radiaciones y medir su cantidad, se utilizan unos instrumentos específicos llamados “detectores” y/o “dosímetros”. La magnitud que define la “cantidad” de radiación recibida se llama dosis absorbida y su unidad es el gray (Gy) que representa la energía absorbida por unidad de masa. Dependiendo del tipo de radiación, una misma dosis absorbida puede dar lugar a diferentes efectos biológicos en los seres vivos, por lo cual definimos otra magnitud llamada dosis equivalente, cuya unidad es el sievert (Sv).



## **5. ¿Cómo interaccionan las radiaciones ionizantes con los seres vivos?**

Hay muchos tipos de partículas en las radiaciones, pero las que más abundan son las de tipo gamma, que atraviesan sin dificultad los tejidos e impactan en el ADN de las células, precisamente donde se produce el efecto más importante, ya que puede provocar mutaciones celulares y dar lugar a diversos tipos de cáncer.

La radiación también se puede inhalar. Esta vía tiene un agravante, porque el elemento químico entra en el cuerpo, puede metabolizarse y permanecer durante mucho tiempo descargando radiaciones. El plutonio, por ejemplo, se puede fijar en los huesos y los pulmones, llegando a originar diferentes tumores.

## **6. ¿Qué riesgos suponen las radiaciones ionizantes para la salud?**

La radiación controlada no representa ningún riesgo. De hecho, las radiaciones conviven con nosotros, en hospitales, en industrias, en ciertos gases que se encuentran en el terreno... Sirven para tratar el cáncer (radioterapia) y para diagnosticar muchas enfermedades (a través de radiografías, por ejemplo).

## **7. ¿Cómo se explica que las radiaciones ionizantes sean capaces de dañar el ADN celular? ¿Por qué tienen tanto poder para destruir el ADN?**

Las radiaciones ionizantes, son aquellas que poseen suficiente energía como para producir ionizaciones, es decir “arrancar” electrones de los átomos, de ahí su nombre. Estas ionizaciones producen alteraciones en los componentes de las células, que pueden acabar dando lugar a un efecto en la salud de la persona que recibe la irradiación.

La interacción de la radiación con los distintos componentes de la célula es aleatoria, es decir tiene lugar al azar, por lo que cualquier parte de la célula puede verse dañada. Sin embargo, dado que el ADN es la molécula que contiene información vital para la célula, se sabe que en gran medida los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se deben al daño que éstas producen en el ADN.

## **8. Los niveles de radiación ionizante no afectan a todo el mundo por igual, cuanto más jóvenes, más sensibles. Pero, ¿de qué depende la sensibilidad individual? ¿La genética influye?**

Desde hace muchos años se sabe que las células que se dividen muy activamente son más sensibles a las radiaciones ionizantes. Esta propiedad es la que permite la aplicación médica de las radiaciones ionizantes para eliminar células tumorales (radioterapia), las cuales se caracterizan por un crecimiento descontrolado.

En las personas de menor edad, las células se están dividiendo más activamente que en los adultos, y por ello suelen mostrar mayor sensibilidad a la radiación. La edad es el factor que más influye en la sensibilidad a la radiación. También puede haber diferencias, aunque muy pequeñas, entre sexos o grupos étnicos.

Existen enfermedades genéticas que llevan asociadas una mayor sensibilidad a la radiación ionizante pero son muy poco frecuentes en la población.

## 9. ¿Qué efectos tienen las radiaciones ionizantes en la salud a medida que aumentan los niveles de radiación?

Efectos agudos a corto-medio plazo (Efectos deterministas): Estos efectos sólo se producen si se supera una dosis umbral de radiación. Una vez superada la dosis umbral, la gravedad del efecto aumenta de forma proporcional con el aumento en la dosis recibida.

Efectos a largo plazo. El principal efecto a largo plazo de las radiaciones ionizantes es un aumento en la incidencia de cáncer. La información disponible hasta el momento permite estimar que el riesgo de desarrollar cáncer tras una exposición a radiación aumenta aproximadamente un 5% por cada Sv recibido.

<i>DOSIS (MSV)</i>	<i>EFECTOS SOBRE LA SALUD O VALOR TÍPICO</i>
10.000	Muerte en días o semanas (100% de los casos).
4.000	Muerte en días o semanas (50% de los casos).
250	No produce efectos observables de tipo inmediato.
100	No hay evidencia de efectos sanitarios en humanos.
3,5	Dosis media anual por persona en España.
2,4	Dosis media anual de fondo mundial.
3	Una explor. de RX del aparato digestivo o TC cabeza.
0,02	Una radiografía de tórax.
0,002	3 horas en avión. Dosis media anual por industria nuclear.

A partir de los 500 mSv pueden aparecer algunos daños en la piel, náuseas, vómitos, problemas respiratorios y, si afecta a mujeres embarazadas, puede ocasionarle al futuro bebé algún tipo de retraso en el desarrollo cerebral. A mayores dosis, mayores repercusiones en la salud: destruyen el sistema nervioso central y los glóbulos blancos y rojos, lo que compromete el sistema inmunológico y deja a la víctima vulnerable ante las infecciones.

Si se reciben varios miles de milisieverts, se pueden producir casos de Síndrome de Radiación Aguda. Ocurre cuando grandes cantidades de radiactividad entran en el cuerpo en muy poco tiempo. En circunstancias semejantes, la radiactividad afecta a todos los órganos y cualquiera de ellos puede tener un fallo fulminante. Por ejemplo, una única dosis de 5.000 milisieverts mataría aproximadamente a la mitad de las personas expuestas en un mes.

## 10. ¿Cómo se clasifican los efectos de las radiaciones ionizantes en la salud?

Si los daños celulares producidos por las radiaciones ionizantes no se reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o vean impedida su reproducción, o bien que se origine una célula viable, pero modificada. De ambos sucesos se derivan efectos biológicos absolutamente distintos, que se clasifican respectivamente como **efectos deterministas** y **efectos estocásticos (probabilísticos)**.

### A. Efectos deterministas.

- Son debidos a muertes celulares.
- Si la pérdida de células de un determinado órgano o tejido es lo suficientemente elevada se producirá un daño susceptible de ser observado, que será el reflejo de una pérdida de funcionalidad del tejido. Si el tejido es vital y sufre daños importantes el resultado final puede llegar a ser la muerte del individuo expuesto.
- Existe un **umbral de dosis** propio de cada efecto, de manera que la probabilidad de que se produzcan tales daños es cero a dosis bajas pero aumenta rápidamente a la unidad (100%) por encima del umbral.
- La gravedad del daño aumenta con la dosis recibida, es decir con el número de células afectadas. Cuanto mayor sea la dosis por encima del umbral, tanto mayor será el daño.
- Son efectos somáticos que se manifiestan en el individuo expuesto.
- Habitualmente, su periodo de latencia es corto.

La radiosensibilidad de los tejidos a las RI depende de las células que lo componen. Las células más diferenciadas, como las nerviosas o musculares, son menos radiosensibles mientras que las menos diferenciadas, como células hematopoyéticas, mucosa intestinal, etc... son más radiosensibles.

**Tabla. Estimaciones, para el adulto, de los umbrales para efectos deterministas en testículos, ovarios, cristalino y médula ósea (ICRP 60)**

<i>Tejido y efecto</i>	<b>Umbral</b>		
	Dosis equivalente recibida en una exposición única y corta (Sv)	Dosis equivalente recibida en exposiciones fraccionadas o prolongadas (Sv)	Tasa de dosis anual si se recibe anualmente exposiciones altamente fraccionadas durante muchos años (Sv año)
<b>Testículos</b>			
Esterilidad temporal	0 - 15	NA <sup>2</sup>	0,4
Esterilidad permanente	3,5 - 6,0 <sup>3</sup>	NA	2,0
<b>Ovarios</b>			
Esterilidad	2,5 - 6,0	6	> 0,2
<b>Cristalinos</b>			
Opacidad detectable	0,5 - 2,0	5	>0,1
Cataratas	5,0 <sup>4</sup>	> 8	>0,15
<b>Médula ósea</b>			
Depresión de hematopoyesis	0,5	NA	>0,4

<sup>1</sup> Para mas detalles, consultar Publicación 41 de la ICRP (ICRP, 1984)

<sup>2</sup> NA indica No Aplicable, ya que el umbral depende más de la tasa de dosis que de la dosis total.

<sup>3</sup> Ver UNSCEAR, 1988<sup>a</sup>.

<sup>4</sup> Dado como 2 - 10 Sv (NCRP, 1989<sup>a</sup>).

En función del órgano o tejido afectado nos podemos encontrar:

- **Piel:** eritema, depilación, necrosis del tejido celular subcutáneo
- **Hueso y cartílago:** destrucción del cartílago de crecimiento
- **Ojo:** conjuntivitis, queratitis, cataratas
- **Gónadas:** esterilidad
- **Sangre y sistema hematopoyético:** anemia, leucopenia, trombopenia, linfocitosis
- **Sistema urinario:** nefritis



- **Sistema respiratorio:** neumonitis
- **Aparato digestivo:** el intestino delgado es el más radiosensible (diarrea, hemorragia digestiva, déficit nutricional...)
- **Sistema cardiovascular, muscular y sistema nervioso central** generalmente son radiorresistentes

Los efectos tras la exposición de todo el organismo a altas dosis en un corto periodo de tiempo, (accidentes) suceden en diferentes fases:

- Pródromos: Inmediatamente tras la exposición, manifestándose con náuseas, vómitos, mareos, cefaleas, irritabilidad, etc.
- Periodo de latencia o de bienestar aparente: Dura de horas a días.
- Enfermedad manifiesta o fase de estado: se presentan síntomas específicos de los sistemas u órganos afectados (forma hematológica, cerebral, gastrointestinal, etc.)
- Periodo de recuperación o muerte.

**Tabla. Rango de dosis asociado a la muerte y síndromes inducidos, en seres humanos expuestos a una radiación aguda uniforme en todo el cuerpo, (ICRP 60)**

<i>Dosis absorbida en todo el cuerpo (Gy)</i>	<b>Principal efecto que contribuye a la muerte</b>	<b>Tiempo en morir tras la exposición (Días)</b>
3 - 5	Daño a la médula ósea (DL <sub>50/60</sub> ) <sup>1</sup>	30 - 60
5 - 15	Daño al tracto gastrointestinal y pulmones <sup>2</sup>	10 - 20
> 15	Daño al sistema nervioso	1 - 5

<sup>1</sup> Dosis para la que se espera que muera la mitad de individuos expuestos en 60 días.

<sup>2</sup> El daño a las membranas celulares y vasculares es importante, especialmente a altas dosis.

## **B. Efectos estocásticos o probabilísticos.**

- A pesar de la existencia de mecanismos de defensa altamente efectivos en el organismo, una célula modificada pero viable puede, tras un periodo de tiempo de latencia, reproducirse en un clon de células potencialmente malignas, que puedan llegar a desarrollar un cáncer radioinducido.
- La probabilidad de aparición del efecto aumenta con la dosis, probablemente sin un umbral y de forma aproximadamente proporcional, al menos para dosis muy bajas. Es decir presentan un carácter probabilístico o aleatorio de aparición.
- Anualmente se producen varios billones de pares iónicos en la masa total de ADN del ser humano como consecuencia de la exposición a fuentes de RI naturales, pasar de este suceso a la manifestación de un cáncer es un proceso que raras veces llega a completarse. Un pequeño aumento de exposición por encima del fondo natural, supondría una probabilidad de que se induzca un cáncer adicional ciertamente reducida.
- La gravedad del daño es independiente de la dosis recibida.
- Periodo largo de latencia (puede tardar años en manifestarse).
- Pueden manifestarse en el individuo expuesto, efectos somáticos, o transmitirse a su descendencia, efectos genéticos, cuando la célula afectada tiene como función la transmisión de información genética a generaciones posteriores.

- En la publicación de UNSCEAR (2000), basándose en diferentes estudios epidemiológicos, deriva una estimación de la probabilidad de mortalidad a lo largo de la vida por cáncer sólido radioinducido de un 9% para hombres y de un 13% para mujeres, para una población expuesta de todas edades a una dosis aguda de 1 Sv en todo el cuerpo (radiación de baja LET, como las utilizadas en sanidad). La incertidumbre de esta estimación se puede tomar como un factor de aproximadamente 2, mayor o menor. La estimación se puede reducir en un 50% para el caso de exposición prolongada a baja tasa de dosis. La incidencia de cáncer sólido radioinducido, puede tomarse el doble de la de mortalidad. La estimación de la probabilidad en niños puede ser el doble que la dada para la población de todas las edades, debido a su mayor esperanza de vida. Como primera aproximación puede asumirse una extrapolación lineal en la estimación de probabilidades para dosis menores, es decir la reducción de dosis en un factor dado supondrá una reducción en el mismo factor de la probabilidad.
- En la misma publicación se indica una estimación de probabilidad de leucemia radioinducida de un 1% para ambos sexos tras una dosis aguda de 1 Sv en todo el cuerpo, con una incertidumbre de un factor 2. Presenta un comportamiento no lineal con la dosis, de tal manera que una reducción de la dosis en un factor 10 (de 1 Sv a 0,1 Sv por ejemplo) implica una reducción de la probabilidad en un factor 20.

### ***Alteraciones hereditarias***

Cuando la radiación afecta directamente a células germinales (óvulo y espermatozoide), la mutación en el código genético no produce alteraciones en el trabajador afectado pero se transmite, pudiendo manifestarse o no en su descendencia. Son efectos de tipo estocástico.

### ***Efectos sobre el embrión o feto***

El embrión, al estar constituido por células indiferenciadas y en división, tiene una radiosensibilidad relativamente alta.

Los efectos derivados de una radiación intraútero dependen de la fase evolutiva del embrión o feto en el momento de la exposición pudiendo variar desde aborto hasta malformaciones o alteraciones funcionales.

En la tabla se muestra la probabilidad de tener un hijo sano en función de la dosis en feto, tomada de la publicación 84 de la ICRP “Embarazo e irradiación médica”.



**Tabla . Probabilidad de tener un hijo sano en función de la dosis de radiación recibida durante el embarazo (ICRP 84)**

<b>Dosis absorbida por el feto, mGy, por encima del fondo natural</b>	<b>Probabilidad de que el niño <u>no</u> tenga malformaciones (%)</b>	<b>Probabilidad de que el niño <u>no</u> desarrolle un cáncer entre 0-19 años, (%)<sup>1)</sup></b>
0	97	99.7
0.5	97	99.7
1.0	97	99.7
2.5	97	99.7
5	97	99.7
10	97	99.6
50	97	99.4
100	(Cerca al 97) <sup>2)</sup>	99.1

<sup>1)</sup> Valores redondeados, el riesgo radioinducido de cáncer fatal se asume, conservativamente, ser 0.6% para una dosis fetal de 100 mGy, que corresponde a aproximadamente a 1/17.000 por mGy, suponiendo una respuesta lineal. Muchos estudios epidemiológicos sugieren que el riesgo es menor.

<sup>2)</sup> Aunque el riesgo exacto con humanos no se conoce con certeza, datos obtenidos con animales sugieren que las malformaciones radioinducidas raramente se presentan con dosis menores a 100-200 mGy, Por encima sólo se observan malformaciones si la exposición tiene lugar entre la 3ª y 25ª semana de gestación. El riesgo se incrementa al aumentar la dosis. La disminución del CI y la posibilidad de retraso mental, sólo son observables cuando la dosis fetal es mayor de 100 mGy entre la 8ª y 25ª semana de gestación.

## **11. Aparte de la producción energética, ¿que otras aplicaciones tienen las radiaciones ionizantes?**

Quizás las mas conocidas sean las aplicaciones médicas, pero también se utilizan mucho en industria (esterilizar materiales de laboratorio o médicos, radiografía industrial), medio ambiente (erradicar plagas de insectos), y agroalimentación (para aumentar la producción de alimentos y para su conservación).