

## RADIACIONES IONIZANTES

La emisión de radiaciones ionizantes es una característica común de los átomos denominados **inestables**. Estos átomos buscan permanentemente la estabilidad para lo cual necesitan liberar energía. Así pues, puede describirse la radiación como pequeños paquetes de energía en movimiento, que se liberan de su fuente originaria y viajan en el espacio hasta que impactan contra un cuerpo, al cual transfieren su energía (al impactar dicho cuerpo queda irradiado). Es esta transferencia de energía la que provoca daños en las células de los seres vivos (en muchos casos la célula se recupera y no sucede nada, pero en otros casos se puede producir la muerte celular o una alteración en su división celular, lo que conduciría al desarrollo de un cáncer).

### **Pero, ¿de dónde proceden esos átomos inestables o radiactivos?**

Tienen dos orígenes, unos naturales y otros artificiales. Las fuentes de átomos radiactivos **naturales** son a las que estamos expuestos todos los seres vivos que pueblan la Tierra desde el principio de los tiempos, y que proceden tanto de fuentes terrestres como cósmicas.

La **radiación terrestre** procede de los minerales radiactivos presentes en el subsuelo (por ejemplo, uranio). De ahí que ciertas actividades como la minería tengan mucho más contacto con estas fuentes (por ejemplo, desde mediados del siglo XIX los mineros de las montañas de Harz, en Alemania, tenían una gran incidencia de una enfermedad denominada “enfermedad de la montaña”, que en realidad era cáncer de pulmón, provocado por los altos niveles de gas radón, un gas radiactivo procedente del uranio de las minas).

La **radiación cósmica** procede del Sol, y una vez que impacta con los átomos de nitrógeno y oxígeno de la atmósfera produce grandes cantidades de rayos gamma. Afortunadamente, la atmósfera es una enorme protección contra dicha radiación (se calcula que la totalidad de la atmósfera es similar a la protección que ofrecería una capa de plomo de 90 cm de espesor), por lo que la radiación cósmica que llega a la superficie de la tierra es mínima. Puesto que la radiación aumenta con la altura, debemos controlar a un sector laboral muy concreto, el personal de vuelo de los aviones y los astronautas. Estos grupos laborales están expuestos a una elevada radiación cósmica y su actividad profesional podemos compararla con la de una persona que trabaja en medicina nuclear. Como curiosidad con respecto este tipo de radiación, decir que habitualmente es constante, pero se dispara ocasionalmente por acción de un fenómeno conocido como tormentas o llamaradas solares (eso sí, las tormentas solares generan un espectáculo maravilloso, las auroras boreales, de las que os remito una foto).

Los otros tipos de fuentes de radiación son las **artificiales**, que proceden de la actividad humana y que las podemos dividir en:

Fuentes médicas de diagnóstico y tratamiento: Por ejemplo la técnica de diagnóstico PET (tomografía por emisión de positrones), en la cual se administra al paciente un isótopo radiactivo (Fluor-18). Es cierto que dura poco tiempo en nuestro organismo (unas horas) y que cuando lo hacemos es para un diagnóstico, pero obviamente nos radiamos.

Fuentes de aplicación industrial: estamos rodeados de fuentes artificiales de isótopos radiactivos que nos facilitan la vida y que no plantean ningún problema mientras la fuente se encuentre perfectamente encapsulada (por ej. para medir las fugas de gas en las conducciones de una ciudad se utilizan equipos con una fuente radiactiva

[Americio-241] y así no tener que levantar la calle para detectar dicha fuga ¡aunque quizá no las emplean en todos los sitios!).

Fuentes de generación de energía eléctrica (centrales nucleares): es en la que todos pensamos instintivamente cuando hablamos de radiación. Efectivamente, para generar electricidad de forma muy económica se utilizan fuentes radiactivas (uranio-235 y plutonio-239) que como todos los isótopos radiactivos emiten calor ¡en este caso muchísimo!. En la central se introduce agua fría y el calor de esos isótopos lo que hace es generar vapor que a su vez mueve una inmensa turbina que, finalmente, genera energía eléctrica.

### **Pero ¿cómo son capaces de dañarnos esos átomos radiactivos?**

Unos necesitan entrar en nuestro organismo por vía digestiva o respiratoria para causar daño (radiación interna), y a otros les basta con estar lo suficientemente cerca del organismo para causar daño, sin que tengan necesariamente que entrar en él (radiación externa). Los átomos que no necesitan entrar en el interior del organismo para causar daño son aquellos que emiten radiación X y gamma, ya que este tipo de radiaciones electromagnéticas tiene un gran poder de penetración y la piel no representa ningún problema para atravesarla. Por ejemplo, si uno está cerca de un foco que contiene Cesio 137 está radiándose a menos que tenga una protección de plomo que lo proteja. Por el contrario si uno está cerca de Polonio-210 (que emite radiación alfa y beta, con muy poco poder de penetración), basta con poner un papel de fumar como protección (esa es la razón por la que cuando asesinaron en Londres al espía ruso Litvinenko, le introdujeron el Polonio-210 en la comida, para que fuese una irradiación interna).

## **Pero, si ya han entrado los isotopos radiactivos (sea por vía externa o interna) ¿qué va a pasar?**

Existen dos tipos de efectos, unos denominados **deterministas** y otros denominados **estocásticos**.

**Efectos deterministas o inmediatos:** están en función exclusivamente de la dosis recibida; si tienes suerte de recibir poca radiación tendrás poco síntomas, si tienes mala suerte y recibes más de 6000 mSv estás muerto. Como decía Paracelso “todo depende de la dosis”. Podemos establecer un esquema de menor a mayor dosis recibida y sus efectos (la unidad que utilizamos actualmente es el milisievert (mSv)).

**Dosis inferiores a 250 mSV** no causan ningún problema inmediato.

**De 250 a 1000 mSv:** Se van a afectar las células muy sensibles (ovarios y testículos), de ahí que pueda producirse esterilidad. Otro de los daños es la opacidad del cristalino (muchos astronautas de las primeras misiones Apolo han sido operados de cataratas como consecuencia de la radiación cósmica recibida).

**De 1000 a 2000 mSv:** Se empieza a dañar la piel; aparecen eritemas y quemaduras por radiación (radiodermatitis). Algunos trabajadores de la central nuclear de Fukushima, Japón (2011), fueron ingresados por quemaduras en los pies al entrarle agua con elevados niveles de radiactividad. Aunque con estas dosis no se afecta la esperanza de vida inmediata, muchos, sin embargo, desarrollarán cáncer de piel en el futuro.

**De 2000 a 3000 mSv:** Se afectan las células del sistema digestivo (que es muy sensible) y empiezan a aparecer úlceras digestivas (los paciente tienen náuseas, vómitos, anorexia y hemorragias digestivas). Muchos trabajadores

de la central de Chernobyl, Ucrania, 1986 (desgraciadamente gente olvidada, que se comportaron con auténtica heroicidad), fueron sometidos durante breves minutos -cada trabajador sólo podía estar 4 minutos- a dosis muy elevadas cuando limpiaban el grafito contaminado con uranio radiactivo que había quedado esparcido por toda la central y sufrieron síntomas digestivos a las pocas horas. Las células del sistema gastrointestinal se mueren y se producen trastornos gravísimos al no poder absorberse los fluidos –diarrea intensa con pérdida de electrolitos-. Los pacientes que sobreviven quedan con muchísimas alteraciones digestivas y endocrinas.

**De 3000 a 6000 mSv:** comienzan los graves problemas al afectarse la médula ósea (dejan de producirse leucocitos, especialmente linfocitos, con lo que empiezan las infecciones severas; se detiene la producción de plaquetas, comenzando los sangrados espontáneos (sobre todo por las encías) y, finalmente, se para la producción de hematíes, con lo que el paciente se encuentra agotado por la severa anemia). Al final se llega a una aplasia medular con falta de producción de las tres series. Los pocos pacientes que sobreviven terminan evolucionando a una leucemia mieloide crónica en poco tiempo. De los 900.000 trabajadores que trabajaron en el sarcófago de cemento de la central de Chernobyl, se calcula que han fallecido alrededor de 50.000 -y son cálculos a la baja-).

**Mayor de 6000 mSv:** A partir de esta dosis se instaura afectación del sistema nervioso central (encefalitis y mielitis). No existe ninguna posibilidad de supervivencia desde que se instauran los síntomas (confusión, ataxia, coma); el paciente fallecerá en 48 horas. Los primeros días del accidente de Chernobyl se realizaron numerosísimos vuelos en helicóptero arrojando tierra y boro para disminuir la temperatura del núcleo del reactor expuesto. Murieron

600 pilotos de los helicópteros en muy poco tiempo a causa de las ingentes dosis recibidas.

En resumen: las células más radiosensibles son las que se reproducen menos (sistema nervioso); por el contrario, las más radiosensibles, son las que se reproducen más (piel, mucosas digestiva, células de la sangre, etc.)

**Efectos estocásticos o tardíos:** es un efecto que no depende de la dosis, y es un efecto probabilístico o aleatorio. Quiere decir que cualquier exposición, por pequeña que sea, aumenta la probabilidad de que se produzca un cáncer o un defecto a la descendencia, pero nadie puede asegurar que se vaya a producir o no. Esta es la razón por la que ninguna dosis de radiación se considera segura. Así pues existen dos efectos estocásticos: cáncer y defectos hereditarios.

Los cánceres más frecuentes son el de piel (especialmente melanomas y carcinomas espinocelulares), leucemias mieloides, osteosarcomas, cáncer de tiroides y cáncer de pulmón. Cada uno de estos cánceres tendrá, en general, relación con el tipo de átomo radiactivo al que se ha estado expuesto: por ejemplo, si fue el I-131, existen más probabilidades de cáncer de tiroides; si fue el estroncio-90 o el cesio-137, dado que se acumulan en hueso, será más frecuentes el osteosarcoma; si fue el radón-222 (un gas que se encuentra en muchos sótanos de casas, y que deriva de la desintegración natural del uranio) habrá más riesgo de cáncer de pulmón.

El otro efecto estocástico son los defectos hereditarios. Tras el accidente de Chernobyl se ha producido un enorme número de malformaciones, especialmente labio leporino y espina bífida.

## **Pero, ¿cómo podemos tratar a un paciente afectado?**

Si existe **contaminación radiactiva externa** el material radiactivo se deposita sobre la superficie del cuerpo. Para eliminarlo debemos lavarnos todo el cuerpo utilizando un jabón común, pH 5, especialmente el pelo (pero sin frotar en exceso, ya que llevados de la angustia podemos provocar escoriaciones de la piel que faciliten la introducción de partículas radiactivas). Al ducharnos eliminamos los isótopos radiactivos, evitando que nos irradiemos externamente y además los inhalamos e ingerimos.

Pero si el isótopo radiactivo ya ha entrado por inhalación o ingestión (**contaminación radiactiva interna**) la ducha no tiene sentido y se debe realizar un tratamiento específico con quelantes para tratar de eliminarlo tanto por heces como por orina. Entre los quelantes debemos destacar el azul de prusia, utilizado en el accidente de Goiana, Brasil, 1987. Este fue el mayor accidente radiactivo después de Chernobyl, provocado al robar y abrir una fuente de Cesio 137 de un centro de radioterapia abandonado y sin control por el consejo de seguridad nuclear brasileño. El tratamiento con azul de prusia redujo a la mitad la dosis de Cesio-137 recibida. Otros quelantes son el Zn-DTPA, e incluso antiácidos como el simple alginato de sodio, que contribuye a disminuir la absorción.

Una particularidad con respecto al tratamiento es el caso del isótopo iodo-131 (uno de los isótopos más importantes liberado tras la fuga de la central nuclear de Fukushima). Dado que tiene tendencia a concentrarse en la glándula tiroides e incrementar el riesgo de cáncer de tiroides, debemos contrarrestarlo rápidamente tomando una pastilla de yoduro potásico (es fundamental tomarla rápido con la intención de saturar el tiroides, para evitar que sea el I-131 radiactivo el que se acumule). En Francia, todos los habitantes de pueblos cercanos a una central nuclear

deben tener una pastilla de yoduro potásico preparada para una situación de emergencia. Desgraciadamente, en Chernobyl esto no sucedió. La elevada incidencia de cáncer de tiroides en niños es su consecuencia.

### **Pero, ¿qué dosis de radiación es la tolerada en el ambiente de trabajo?**

Normalmente se habla de dos límites de exposición según se refiera a la población general (**1 mSv/año promediado en 5 años**) o a los trabajadores profesionalmente expuestos, como son los trabajadores de las centrales nucleares, los de unidades de radiología, o los tripulantes de aviones de líneas aéreas. La guía de la ACGIH americana considera los límites máximos de exposición en trabajadores profesionalmente expuestos:

**20 mSv/año (aplicado al promedio de 5 años)**

**50 mSv aplicado a un solo año (máximo anual)**