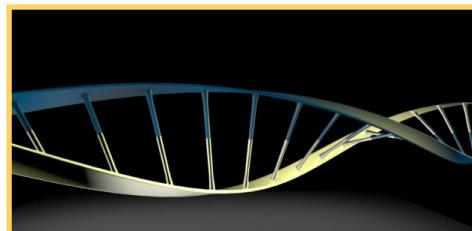


Radiaciones ionizantes y salud

Cuando la radiación interacciona con el tejido vivo lo hace modificando el material celular. Como la radiación posee energía y esta puede ser transmitida a la célula, ya sea ionizando a sus átomos o moléculas o produciendo, por ejemplo, un aumento en la temperatura del material celular, modifica su condición natural.

Las células están constituidas en un 80% por moléculas de agua. Ante el paso de la radiación estas moléculas son susceptibles de disociarse y generar los llamados *radicales libres*, que son compuestos químicos muy reactivos capaces de alterar de manera irreversible las restantes moléculas, lo que tiene importantes efectos relacionados con la salud.

La más importante de estas moléculas es el ADN, que se encuentra en cada célula y es la que contiene toda la información que le permite funcionar, crecer y reproducirse. Esta molécula también podría ser dañada directamente por la radiación, por ejemplo por ionización. Cuando el ADN ha sido modificado y la célula no lo repara o lo repara incorrectamente, se pueden producir daños irreversibles.



Molécula de ADN

Estos daños pueden interferir en los procesos celulares, impedir su reproducción o provocar una división celular sin control que podría derivar en las enfermedades que llamamos *cáncer*. También pueden generarse defectos genéticos que se transmitan a las futuras generaciones. Además, si un número importante de células son afectadas o aniquiladas en un órgano en particular, este puede dejar de funcionar normalmente, o seguir cumpliendo sus funciones si esas células no son cruciales para el órgano al que pertenecen.

Una dosis de 3 Sv provoca la muerte a corto plazo en el 50% de los casos. Se denomina a este valor *LD50* (dosis letal al 50%).

En cualquier caso el efecto producido por la exposición a la radiación dependerá de varios factores: de la dosis recibida, de si fue recibida en etapas o en una sola vez, del tiempo de exposición a la radiación, de si fue aplicada en todo el cuerpo o en una parte de él, de si fue aplicada interna o externamente. También los efectos dependerán de la etapa del crecimiento en que fue recibida, ya que son diferentes en la etapa embrionaria, la etapa fetal, la infancia y la adultez. Son importantes además los factores genéticos de cada persona.

La clasificación más utilizada divide los efectos en dos clases: los *determinísticos* y los *estocásticos*. Los efectos determinísticos son aquellos que se producirán siempre que la dosis recibida por el órgano en cuestión supere cierto valor mínimo. Casi siempre se presentan rápidamente luego de la exposición, por lo general no son fatales y la severidad aumenta según la dosis recibida.

Los efectos estocásticos son de tipo probabilístico o al azar. La probabilidad de su aparición —no su gravedad— depende de la dosis recibida, y no requieren una dosis mínima. Son efectos vinculados a la acumulación de dosis a lo largo del tiempo y tal vez puedan pasar décadas sin detectarse, o incluso no ser detectados en la propia persona sino en sus descendientes.

Una dosis de 2 Sv puede provocar a corto plazo hemorragias, deshidratación, cansancio intenso, náuseas y diarreas, seguidos de pérdida de cabello, síntomas denominados *envenenamiento por radiación* o *enfermedad por radiación*.

Las cataratas, el enrojecimiento de la piel y la esterilidad son ejemplos de efectos determinísticos.

El cáncer es el ejemplo más conocido de efecto estocástico.

Radiación y cáncer

El cáncer es la segunda causa de muerte en el mundo. Aproximadamente el 13% de los decesos son debidos a esta enfermedad.

El cáncer es una de las enfermedades más temidas por la población en general. Aproximadamente el 40% de la población desarrolla algún cáncer a lo largo de su vida. No se sabe con certeza si ello se debe a factores del medio ambiente, alimentación u otros.

Desde hace algunos años el avance en las técnicas para combatir el cáncer ha cambiado la forma de considerarlo: pasó de ser una enfermedad incurable a una enfermedad que en el 50% de los casos es curable y en otro gran porcentaje es más bien una dolencia crónica.

Esta enfermedad está relacionada con una reproducción celular descontrolada, a pesar de que existen varios mecanismos biológicos destinados a impedir que esto ocurra. Si se producen suficientes mutaciones en el ADN de forma que estos mecanismos sean anulados, entonces la multiplicación celular puede descontrolarse y dar lugar a la formación de cáncer. Este crecimiento sin límite puede llegar a comprometer diversos órganos, interferir con funciones vitales y eventualmente provocar la muerte.



Daño al ADN por radiación

¿Pueden las radiaciones ionizantes causarlo? Hasta el momento no se ha determinado claramente qué lo origina, pero sí se ha demostrado que varios factores contribuyen al riesgo de desarrollarlo. Estos factores de riesgo, que aumentan la probabilidad de contraer cáncer por encima de ese 45% de la población que mencionamos, son la exposición a varios agentes ambientales, así como el consumo de tabaco y el consumo de alcohol, entre otros, y también las radiaciones ionizantes, particularmente en altas dosis.

El desarrollo de la enfermedad es complejo y se cree que la exposición a la radiación tiene un papel importante en las etapas tempranas. El cáncer puede desencadenarse inmediatamente o bien tardar varios años en desarrollarse, debido a que en general son necesarias varias mutaciones para que la célula pierda el control de su reproducción.

Ya que no es posible, salvo en casos específicos, discriminar un cáncer producido por la exposición a las radiaciones ionizantes de aquellos que ocurren normalmente, se recurre a la estadística para estimar el riesgo de contraer la enfermedad como consecuencia de la exposición a la radiación. Por ejemplo, en una población que haya sido irradiada, como la de Hiroshima, Nagasaki o Chernobyl, se puede cuantificar la cantidad de casos de cáncer y compararlos con una población que no estuvo expuesta a la radiación, y así se determina el factor de riesgo de contraer la enfermedad por la exposición a fuentes radioactivas.

Los principales tratamientos para curar la enfermedad están basados en el poder destructor que tienen las radiaciones ionizantes a nivel celular, y ese mismo poder es utilizado para destruir las células cancerígenas. Ocurre además que estas células son más sensibles a las radiaciones ionizantes debido a que todas sus funciones están dedicadas a la reproducción y no a intentar reparar los daños genéticos que se puedan producir, como lo haría una célula sana. Si el tratamiento radiante es efectivo, estas células mueren y el cáncer no progresa.

El temor a la radioactividad está asociado probablemente a su carácter invisible y al hecho de que el cáncer, que puede eventualmente ser producido por mutaciones también invisibles, no muestre ningún signo hasta que la enfermedad está declarada. Además de provocar distintos trastornos de salud, algunos a corto plazo y otros a más largo

Debido al consumo de tabaco y la consiguiente introducción de diversas sustancias agresivas para los pulmones, los fumadores que reciben radiaciones tienen un incremento adicional del riesgo de contraer cáncer.

Las radiaciones ionizantes tienen una singular relación con el cáncer, ya que, si bien son causa de riesgo adicional, a la vez constituyen una de las herramientas más eficientes para combatirlo.

Riesgo de cáncer por radiación

Fuente de radiación	Probabilidad de contraer cáncer
Rayos X de tórax o dental	
Habitantes cercanos a central nuclear	1 en 60.000
Rayos X de abdomen o columna	
Mamografía	1 en 6.000
Tomografía de cráneo	
Dosis anual	1 en 1.200
Diagnóstico en medicina nuclear	
Tomografía de tórax o abdomen	1 en 600
Cateterismo cardíaco	1 en 120

plazo, dosis altas de radiación también pueden inducir cáncer con alta probabilidad.

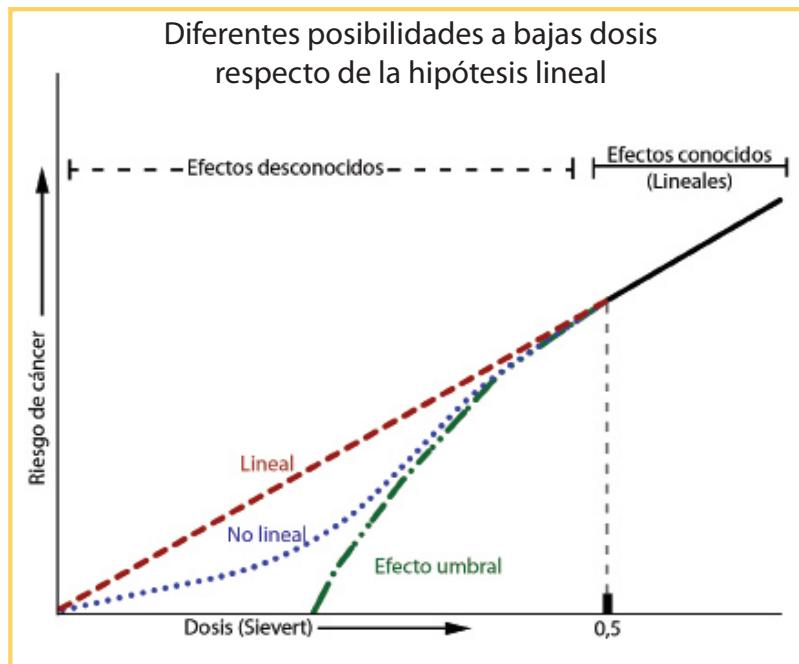
Podemos considerar altas las dosis del orden de algunos sievert, que implican cientos de veces la dosis anual a la que estamos corrientemente sometidos. Dosis menores que 1 Sv no suelen provocar síntomas y en general no son advertidas, aunque pueden eventualmente aumentar el riesgo de contraer cáncer y fallecer por ese motivo en un plazo de años.

Por ejemplo, una dosis de 0,25 Sv provoca un 1% de probabilidad de exceso de muerte por cáncer. Esto significa que, en una población de 100 personas en la que cada una de ellas reciba una dosis de 0,25 sievert, una de ellas fallecerá por cáncer debido a la radiación, además de las otras 13 que constituyen la frecuencia usual de fallecimiento por cáncer. Esta proporcionalidad entre dosis y exceso de muerte por cáncer se mantiene en un rango amplio de dosis y constituye la llamada *hipótesis lineal*.

La hipótesis lineal se usa para establecer los límites seguros de dosis para todas las personas

eventualmente expuestas a la radiación, sean trabajadores, pacientes o ciudadanos que reciban pasivamente alguna dosis. No se sabe si esta hipótesis es cierta a dosis muy bajas. Podría ocurrir que para ellas el efecto lineal no sea cierto y que el exceso de muerte por cáncer sea mucho menor. Hoy en día se aplica el conocimiento que poseemos, a pesar de ser insuficiente, siendo cuidadosos y conservadores para proteger la salud de la población.

La hipótesis lineal y los datos disponibles implican que la radiación natural no es responsable de los altos porcentajes de cáncer que afectan a la población.



Radiación y embarazo



No produce los mismos efectos recibir cierta dosis de radiación en el período fetal que en la adultez, debido a que en el primero las células se reproducen rápidamente y son mucho más sensibles. El período de mayor compromiso es el que abarca desde la octava hasta la decimoquinta semana de gestación. Los posibles efectos de la exposición a la radiación en el período fetal son la reducción del diámetro craneal y el retardo mental, entre otros, y el más grave es la muerte fetal.

Además, existen enfermedades de carácter hereditario que pueden afectar a un embrión o feto y que podrían surgir de la exposición a la radiación de las células germinales, tanto de hombres como de mujeres. Dichas células pueden presentar mutaciones en su ADN capaces de desencadenar efectos

indeseados en los descendientes por varias generaciones. Este es un tema de investigación en la actualidad.

¿Es cierto que una persona embarazada debe evitar siempre exponerse a los rayos X?

Dosis muy altas recibidas en la gestación provocan que la probabilidad de fallecimiento por cáncer desde el nacimiento y hasta los 15 años de edad sea de 1 en 30 por cada sievert recibido.

Es bueno aclarar que la cantidad de radiación necesaria para desencadenar alguno de los efectos mencionados está muy por encima de las dosis que se reciben en estudios diagnósticos típicos que involucran rayos X. Es en estudios específicos de zonas próximas al abdomen, en tratamientos con altas dosis como algunos de radioterapia o braquiterapia, o en ciertos tratamientos con medicina nuclear, donde se debe evaluar cuál es el riesgo y el beneficio de llevar adelante el procedimiento, o si es posible realizarlo después de culminado el embarazo sin que eso implique severas consecuencias para la madre.

En general se acepta que las dosis que se administran en procedimientos usuales de diagnóstico con rayos X (placas de pecho y abdomen, tomografía de pulmón, etc.) exponen al feto a una dosis menor, que no implica un aumento significativo del riesgo de malformaciones y aborto. Otros tratamientos más específicos y de dosis más altas pueden tener efectos en el embarazo. La dosis a partir de la cual se acepta que comienza a aumentar el riesgo por encima de los valores usuales es de 0,1 a 0,2 Sv.

En los casos de exposición a la radiación que representen un riesgo potencial para el feto, es importante que se lleve un control estricto y documentado de las dosis recibidas y las técnicas utilizadas, a fin de calcular la dosis fetal si fuese necesario.

Además es importante que aquellas trabajadoras expuestas a las radiaciones ionizantes notifiquen al responsable de radioprotección si están embarazadas, para que se tomen las precauciones pertinentes y puedan continuar en su labor sin ningún riesgo para su bebé.

Por otra parte, corresponde tener en cuenta que los embarazos tienen, en forma independiente de las radiaciones, ciertos porcentajes de malformaciones graves (2%) y pérdida espontánea (15%) que implican riesgo de salud para las gestantes.

Una embarazada debe siempre comunicar su estado al someterse a técnicas de diagnóstico o terapias con radiación, o hacerlo posteriormente si en ese momento no era consciente de su estado de gestación.

En algunos casos es recomendable que las mujeres tratadas con radioterapia eviten un embarazo durante varios meses después del tratamiento.

Las trabajadoras expuestas a las radiaciones ionizantes no deben recibir en la superficie del abdomen una dosis mayor de 0,002 Sv desde el momento en que toman conciencia del embarazo hasta el final de la gestación.