



## La ciencia que sustenta la radioterapia

La radiación y la radioactividad se descubrieron hace más de 100 años. Hoy día, la radiación es una parte importante del tratamiento contra el cáncer, pues más de la mitad de todas las personas que padecen cáncer reciben radiación al menos como parte de su tratamiento.

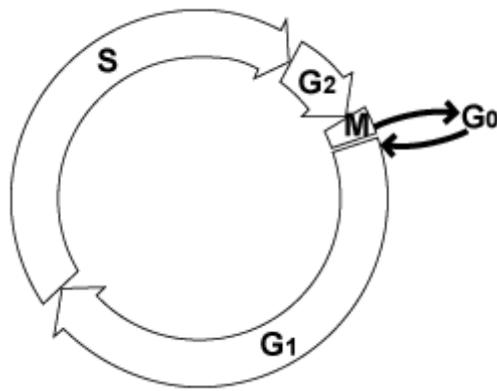
En este artículo se explica qué es la radioterapia y cómo se usa para tratar el cáncer. Para información sobre los posibles efectos secundarios de la radiación y cómo enfrentarse a ellos, lea el documento *Una guía sobre radioterapia*.

### ¿Cómo funciona la radiación en el tratamiento del cáncer?

La radiación es energía que se transmite mediante ondas o mediante una corriente de partículas. Funciona al dañar los genes (ADN) en las células. Los genes controlan la manera en que las células crecen y se dividen. Cuando la radiación daña los genes de las células cancerosas, estas ya no pueden crecer y dividirse. Con el tiempo, las células mueren. Esto significa que la radiación se puede usar para destruir las células cancerosas y reducir el tamaño de los tumores.

#### El ciclo celular

Para entender cómo funciona la radioterapia como tratamiento contra el cáncer, es útil entender el ciclo de vida normal de una célula. El ciclo celular consiste en cinco fases, una de las cuales es la división misma de la célula. El proceso de separación, o división de la célula en dos se llama *mitosis*. Este proceso de cinco fases es controlado por proteínas conocidas como quinasas dependientes de ciclinas (CDKs). Debido a que las CDKs son tan importantes para la división celular normal, también tienen un número de mecanismos de control.



### El ciclo celular

G0= Las células dejan de dividirse y realizan su trabajo normal en el organismo.

G1 = Se sintetizan el RNA y las proteínas para la división.

S = Síntesis (el ADN es producido por las nuevas células).

G2 = Se forma el aparato de la mitosis

M = Mitosis (la célula se divide en dos células)

### Pasos del ciclo celular

**Fase G0 (etapa de reposo):** la célula aún no comienza a dividirse. Las células pasan la mayor parte de sus vidas en esta fase, llevando a cabo sus funciones corporales diarias, sin dividirse y sin prepararse para la división. Dependiendo del tipo de célula, esta etapa puede durar desde unas pocas horas hasta muchos años. Cuando la célula recibe la señal de dividirse, pasa a la fase G1.

**Fase G1:** la célula obtiene información que determina si pasa o no a la próxima fase y cuándo habría de hacerlo. Comienza a sintetizar más proteínas a fin de prepararse para la división. En esta fase también se produce el RNA que se necesita para copiar el ADN. Esta fase dura aproximadamente de 18 a 30 horas.

**Fase S:** en la fase S, los cromosomas (los cuales contienen el código genético o ADN) se replican para que ambas células nuevas tengan el mismo ADN. Esta fase dura aproximadamente de 18 a 20 horas.

**Fase G2:** durante esta fase se obtiene más información sobre si se procede con la división celular y cuándo hacerlo. La fase G2 ocurre justamente antes de que la célula comience a dividirse en dos células. La fase G2 dura de dos a diez horas.

**Fase M (mitosis):** en esta fase, que dura sólo de 30 a 60 minutos, la célula se divide para formar dos células nuevas que son exactamente iguales.

### Las células y la radiación

La fase del ciclo celular es importante debido a que usualmente la radiación primero elimina las células que están en división activa. No funciona muy rápidamente en las células que se

encuentran en la etapa de reposo (G0) o que se dividen con menos frecuencia. La cantidad y el tipo de radiación que alcanza la célula y la velocidad del crecimiento celular afecta si la célula morirá o recibirá daño y cuán rápidamente ocurriría esto. El término *radiosensibilidad* describe la probabilidad de que la célula sea dañada por radiación.

Las células cancerosas tienden a dividirse rápidamente y a crecer sin control. La radioterapia destruye las células cancerosas que se están dividiendo, pero también afecta las células en división de los tejidos normales. El daño a las células normales causa efectos secundarios indeseados. La radioterapia consiste siempre en un equilibrio entre la destrucción de las células cancerosas y minimizar el daño a las células normales.

La radiación no siempre destruye inmediatamente las células cancerosas ni las células normales. Puede que tomen días e incluso semanas de tratamiento para que las células comiencen a morir, y puede que continúen muriendo por meses después de completar el tratamiento. A menudo, los tejidos que crecen rápidamente, como la piel, la médula ósea, y el revestimiento de los intestinos son afectados inmediatamente. En contraste, el tejido de los nervios, los senos, el cerebro y los huesos muestran los efectos más tarde. Por esta razón, el tratamiento con radiación puede causar efectos secundarios que pudieran no presentarse sino hasta mucho tiempo después del tratamiento.

## Tipos de radiación que se usan para tratar el cáncer

La radiación que se usa para tratar el cáncer se llama *radiación ionizante* debido a que forma iones (partículas que poseen carga eléctrica) en las células de los tejidos por los que pasa. Crea iones al remover los electrones de los átomos y las moléculas. Esto puede destruir células o modificar genes de manera que las células dejen de crecer.

Otras formas de radiación como las ondas de radio, las microondas y las ondas de luz visible son *radiación no ionizante*. Estos tipos de radiación no tienen mucha energía y no pueden formar iones.

La radiación ionizante se puede clasificar en dos tipos importantes:

- Radiación con fotones (rayos X y rayos gamma)
- Radiación con partículas (tales como electrones, protones, neutrones, iones de carbono, partículas alfa y partículas beta).

Algunos tipos de radiación ionizante tienen más energía que otros. Cuanto más sea la energía, más profundamente puede penetrar la radiación en los tejidos.

El comportamiento de cada tipo de radiación es importante para planear los tratamientos con tal radiación. El *oncólogo especialista en radiación* (un médico especializado para tratar el cáncer con radiación) selecciona el tipo de la radiación que sea más adecuado para el tipo de cáncer de cada paciente, así como la localización.

### Radiación con fotones

La forma más común de radiación usada para el tratamiento del cáncer es un **rayo con fotón** de alta intensidad. Es el mismo tipo de radiación que se utiliza en las máquinas de rayos X, y proviene

de una fuente radiactiva tal como cobalto, cesio, o una máquina llamada *acelerador lineal* (abreviado *linac*). Los haces de fotones de energía afectan las células y su trayectoria a medida que penetran el cuerpo para alcanzar el cáncer, pasan por el cáncer y luego abandonan el cuerpo.

## Radiación con partículas

**Haces de electrones** o haces de partículas también son producidos por un acelerador lineal. Los electrones consisten de las partes de los átomos con carga negativa. Tienen un nivel bajo de energía y no penetran profundamente en el cuerpo, por lo que este tipo de radiación se usa con más frecuencia para tratar la piel, así como tumores y ganglios linfáticos cercanos a la superficie del cuerpo.

Los **haces de protones** son una forma de radiación de haces de partículas. Los protones son las partes de los átomos con carga positiva. Los protones liberan su energía solo después de alcanzar cierta distancia y causan poco daño a los tejidos a través de los cuales pasan. Esto hace que sean muy eficaces en eliminar a las células que se encuentran al final de su trayectoria. Por lo tanto, se cree que los haces de protones son capaces de hacer llegar más radiación al cáncer, a la vez que ocasionan menos daño al tejido normal adyacente.

La radioterapia con rayos de protones se emplea rutinariamente para ciertos tipos de cáncer, pero aún se necesita estudiar más para emplearla en el tratamiento de otros. Esta radioterapia requiere equipo altamente especializado y no está ampliamente disponible.

Algunas de las técnicas usadas en el tratamiento de protones también pueden exponer a los pacientes a los neutrones (véase abajo).

Los **haces con neutrones** se usa para algunos cánceres de la cabeza, cuello y próstata, así como para ciertos tumores inoperables. Un neutrón es una partícula sin carga en muchos átomos. La radiación con neutrones a veces puede ser útil cuando otras formas de radioterapia no son eficaces. En los Estados Unidos, son pocas las instalaciones que la ofrecen, y su uso ha ido disminuyendo en parte debido a que puede ser difícil enfocar los rayos eficazmente. Debido a que los neutrones pueden dañar más el ADN que los fotones, los efectos en el tejido normal pudiera ser más graves.

La **radiación con iones de carbono** puede ser útil en tratar los casos de cáncer que normalmente no responden bien a la radiación (conocidos como *radio-resistentes*). También se conoce como *radiación de iones pesados* debido a que hace uso de una partícula de mayor peso que el protón o neutrón. La partícula es parte del átomo de carbono, la cual en sí contiene protones, neutrones y electrones. Debido a que esta partícula es tan pesada, puede causar mayor daño a la célula a la que se dirige que cualquiera de los otros tipos de radiación. Así como con los protones, el rayo con iones de carbono puede ajustarse para que al final de su trayecto el mayor daño quede en las células cancerosas. Pero los efectos sobre los tejidos cercanos pueden ser más graves. Este tipo de radiación solamente está disponible en algunos cuantos centros de tratamiento en el mundo.

Las **partículas alfa y beta** son producidas principalmente por sustancias radiactivas especiales que pueden ser inyectadas, tragadas o colocadas en el cuerpo. Se emplean con más frecuencia en estudios por imágenes, aunque pueden ser útiles en el tratamiento del cáncer. Usted puede aprender más en la sección “Radiofármacos”.

# Metas de la radioterapia

La mayoría de los tipos de radiación se considera tratamientos locales porque la radiación se dirige a un área específica del cuerpo (como en el lugar donde está localizado el tumor). Solo las células de esa área son afectadas. La mayoría de las formas de radioterapia no pueden alcanzar a todas las partes del cuerpo, lo que significa que no son útiles en el tratamiento del cáncer que se ha propagado a muchas áreas distantes.

La radiación se usa para tratar el cáncer de varias maneras.

## Para curar o reducir el tamaño de un cáncer en etapa temprana

Algunos tipos de cáncer son muy sensibles a la radiación. En estos casos se puede usar la radiación sola para reducir el tamaño del cáncer o hacerlo desaparecer completamente. Algunas veces, primero se suministran algunos ciclos de quimioterapia. Para otros cánceres, la radiación se puede emplear antes de la cirugía (como *terapia pre-operatoria* o *neoadyuvante*) para reducir el tamaño del tumor (*terapia preoperatoria*) o después de la cirugía para ayudar a evitar la recurrencia del cáncer (*terapia adyuvante*).

Para ciertos cánceres que se pueden curar ya sea mediante radiación o cirugía, la radiación se podría preferir ya que algunas veces se puede conservar la función del órgano (tal como la función de la laringe o el ano).

En el tratamiento de algunos tipos de cáncer, también se puede usar radiación con quimioterapia (quimio), ya que ciertos medicamentos de quimioterapia actúan como *radiosensibilizantes*; provocan que las células cancerosas sean más sensibles a la radiación. Estos medicamentos aumentan la eficacia de la radiación. La desventaja de administrar quimio y radiación a la vez consiste en que los efectos secundarios tienden a ser peores.

Cuando la radiación se usa junto con otras formas de terapia, la planeación del tratamiento está a cargo del cirujano, el oncólogo médico, el oncólogo especialista en radiación y el paciente.

## Para evitar que el cáncer recurra (regrese) en otro sitio

Si se sabe que un tipo de cáncer se va a propagar a cierta área, los médicos asumen con frecuencia que ya se ha propagado un pequeño número de células a tal área, aunque los estudios por imágenes (tal como, tomografía computarizada [CT, por sus siglas en inglés] o imágenes por resonancia magnética [MRI]) no muestren la presencia de tumores. Esta área se puede tratar para evitar que estas células se dividan y se conviertan en tumores. Por ejemplo, las personas con ciertos tipos de cáncer del pulmón pueden recibir radiación preventiva (o *profiláctica*) en la cabeza, porque este tipo de cáncer con frecuencia se propaga al cerebro. Algunas veces, la radiación para prevenir un futuro cáncer se puede administrar al mismo tiempo que la radiación que se suministra para tratar un cáncer que ya existe, especialmente si el área a prevenir está cerca del tumor en sí.

## Tratamiento de los síntomas causados por el cáncer avanzado

Algunas veces el cáncer se propaga demasiado como para ser curado. Pero incluso algunos de estos tumores pueden aún ser tratados para reducir sus tamaños de manera que la persona se pueda sentir mejor. La radiación podría ayudar a aliviar síntomas tales como el dolor, la dificultad para

tragar o respirar, o los bloqueos intestinales que puede causar un cáncer avanzado. A menudo, a esto se le llama *radiación paliativa*.

## ¿Quién administra la radioterapia?

Durante su radioterapia, recibirá atención de un equipo de profesionales médicos. Algunos miembros de ese equipo pueden incluir:

- Un **oncólogo especialista en radiación** es un médico especialmente capacitado para dar tratamiento con radiación. Este médico tomará muchas de las decisiones sobre su tratamiento.
- El **físico especialista en radiación** se asegura de que el equipo de radiación esté funcionando adecuadamente y que emita la dosis de radiación que recete su médico.
- El **dosimetrista** ayuda al médico a planear y a calcular el número necesario de tratamientos. El físico especialista en radiación supervisa al dosimetrista.
- El **terapeuta especialista en radiación** o **tecnólogo especialista en radioterapia** opera el equipo de radiación y le coloca para recibir el tratamiento.
- Una **enfermera especialista en radioterapia** es una enfermera titulada con capacitación especial en el tratamiento del cáncer. Le dará información sobre su tratamiento de radiación y le aconsejará para sobrellevar los efectos secundarios que pudiera tener.

Es posible que también requiera los servicios de un dietista, un terapeuta físico, un trabajador social, un dentista, un oncólogo dental u otros profesionales médicos.

## ¿Cómo se administra la radiación?

La mayoría de las personas piensa que la fuente de la radioterapia es una máquina que se encuentra fuera del cuerpo, pero la radioterapia se puede administrar de varias maneras. Algunas veces la radiación se administra en más de una manera al mismo tiempo, o se pueden administrar diferentes tipos de radiación, uno tras otro. La radiación se puede administrar de algunas maneras, incluyendo:

- Radioterapia externa
- Braquiterapia o radiación interna
- Radiofármacos

### Radioterapia externa

La radiación con haces externos es el tipo de radioterapia que se utiliza más ampliamente, y con más frecuencia utiliza haces de fotones. En este procedimiento, una máquina ubicada fuera del cuerpo, emite la radiación y la dirige hacia el cáncer. Es muy similar a los rayos X, pero la exposición es más prolongada. Este tipo de radiación con más frecuencia se administra mediante máquinas llamadas aceleradores lineales (linacs).

La radiación externa se puede usar para tratar grandes áreas del cuerpo. También puede tratar más de un área, como por ejemplo el tumor principal y los ganglios linfáticos adyacentes.

Generalmente la radiación externa se administra diariamente por varias semanas. Se administra en una clínica para pacientes ambulatorios o centro de tratamiento, de manera que no tiene que ser hospitalizado. La radiación se dirige al cáncer, pero en la mayoría de los casos afecta el tejido normal a medida que atraviesa en su ruta de entrada y salida del cuerpo. (La terapia de protones de intensidad modulada funciona de manera diferente, pero no se emplea con mucha frecuencia. Lea la próxima sección para más información).

## **Maneras especiales para administrar la radiación con haces externos**

### **Radioterapia de representación tridimensional conforme (3D-CRT, siglas en inglés)**

Esta técnica utiliza fotografías mediante un explorador de imágenes y computadoras especiales para mapear la ubicación de un tumor con mucha precisión en tres dimensiones. Se coloca en el paciente un molde de plástico para mantener inmóvil la parte del cuerpo durante el tratamiento. Los haces de radiación se ajustan a la forma del tumor y se irradian en el tumor desde varias direcciones. Al dirigir la radiación con cuidado, puede que sea posible reducir el daño de la radiación a los tejidos normales y combatir mejor el cáncer mediante el aumento de la dosis de radiación contra el tumor. Los rayos o partículas de fotones (como protones) se pueden usar de esta manera. Una desventaja de la 3D-CRT consiste en que puede ser difícil observar la extensión total de algunos tumores en estudios por imágenes, y cualquier parte que no se observe no recibirá tratamiento con esta terapia.

### **Radioterapia de intensidad modulada**

Esta forma de radioterapia externa es avanzada. Con la 3D-CRT se usan programas de computación para mapear con precisión el tumor en tres dimensiones. Además de dirigir los haces de fotones desde varias direcciones, se puede ajustar la intensidad (potencia) de los haces. Esto permite más control sobre la dosis, reduciendo la radiación que llega hasta los tejidos normales sensitivos a la vez que se administran mayores dosis al tumor.

Una variación de la IMRT se conoce como *terapia de arco volumétrica modulada*. Esta terapia hace uso de una máquina (llamada RapidArc<sup>®</sup>) que emite la radiación rápidamente a medida que gira una vez alrededor del cuerpo. Esto permite que cada sesión del tratamiento se administre en tan solo unos minutos. Aunque puede ser más conveniente para el paciente, aún no queda claro si es más eficaz que la IMRT convencional.

Debido a su precisión, es aún más importante que una persona permanezca en la posición correcta y perfectamente inmóvil durante el tratamiento. Se puede hacer un molde especial para mantener el cuerpo en su lugar durante del tratamiento. De nuevo, si no se calcula bien el tamaño del tumor y la localización exacta, esto puede significar que algunas áreas se pasen por alto y no reciban tratamiento.

Debido a que la IMRT usa una dosis total de radiación mayor, ésta puede aumentar ligeramente el riesgo de segundos cánceres posteriormente. Esto es algo que los investigadores están estudiando.

La **radioterapia guiada por imagen (IGRT)** es una opción en algunas máquinas de radiación más nuevas que tienen un escáner de imágenes integrado. Este adelanto permite al médico tomar fotografías del tumor y hacer ajustes menores en la dirección de los rayos justo antes de administrar la radiación. Esto podría ayudar a dirigir la radiación incluso con mucha más precisión, lo que podría significar menos efectos secundarios, pero se necesita más investigación para probar esto.

La **terapia de protones de intensidad modulada (IMPT)** es IMRT que utiliza haces de protones en lugar de rayos de fotones. Los protones son partes de átomos que en teoría pueden emitir radiación al área a la que son dirigidos (como al cáncer), mientras producen menos daño a los tejidos normales adyacentes. Aun así, no hay estudios que demuestren que la radiación con rayos de protones sea mejor que los rayos de fotones más comunes en términos de resultados contra el cáncer o efectos secundarios. De hecho, un estudio realizado en 2012 sobre la terapia con rayos de protones usada para tratar el cáncer de próstata localizado no mostró menos efectos secundarios en comparación con la radiación con rayos de fotones más común. Se necesitan más estudios sobre este tema. Mientras tanto, la IMPT se usa a menudo para tumores cercanos a estructuras críticas del cuerpo, tal como los ojos, el cerebro y la columna vertebral.

Los protones sólo se pueden emitir por una máquina especial llamada *ciclotrón* o *sincrotrón*. Este equipo es bastante costoso y requiere ser operado y mantenido por expertos. Por esta razón, la terapia con haces de protones es costosa, y muy pocos centros de tratamiento de Estados Unidos la ofrecen. Se necesitan muchos más estudios para comparar los resultados entre el tratamiento con protones y el tratamiento con fotones, para que cada uno se use en el tipo de cáncer sobre el cual es más eficaz.

### **Radiocirugía estereotáctica (SRS) y radioterapia estereotáctica fraccionada**

En este tratamiento, se usan técnicas avanzadas guiadas por imágenes para administrar una dosis de radiación grande y precisa a un pequeño tumor que está bien definido. El término cirugía puede ser confuso, ya que no se realiza ninguna incisión. Esta técnica se usa para tratar tumores que comienzan o se propagan hacia el cerebro, o a la cabeza y región del cuello. Si la radiación se administra en una sola dosis, se denomina *radiocirugía estereotáctica*. Se denomina *radioterapia estereotáctica fraccionada* si la radiación se reparte en varias dosis separadas.

Cuando la radiación se dirige hacia la cabeza, se usa un marco o una cápsula para mantener la cabeza inmóvil y dirigir con precisión los haces de radiación.

Un término relacionado, **radioterapia corporal estereotáctica (SBRT)**, es usado para describir esta técnica cuando se usa para tumores en otras partes del cuerpo, por ejemplo la espina dorsal, el hígado, el páncreas, el riñón, el pulmón y la próstata.

Una vez que se mapea la ubicación exacta del tumor (mediante estudios por imágenes), los haces estrechos de radiación provenientes de una máquina llamada *bisturí* de rayos gamma se dirigen al tumor desde cientos de ángulos diferentes durante un periodo de tiempo breve. Puede que este proceso se repita en caso necesario. Otro procedimiento muy similar a éste utiliza un acelerador lineal móvil que se controla mediante una computadora. En lugar de administrar muchos haces a la vez, el acelerador lineal se mueve alrededor del paciente para administrar la radiación al tumor desde ángulos diferentes. Varias máquinas funcionan de esta manera, las cuales se conocen como X-Knife®, CyberKnife®, y Clinac®.

### **Radioterapia intraoperatoria (IORT)**

Con esta técnica, se administra la radiación durante la cirugía. La radiación se puede administrar usando una máquina para radiación de rayos externos (un acelerador lineal). Otra opción consiste en colocar una sustancia radiactiva en el área del tratamiento por un corto periodo de tiempo (como la braquiterapia). Con frecuencia, la IORT se usa junto con un curso de radiación externa que se administra antes o después de la operación.

La IORT resulta útil para los cánceres que se encuentran profundos dentro del cuerpo, ya que los tejidos normales se pueden mover al lado durante la cirugía, exponiendo el cáncer. Después de extirpar tanto tumor como sea posible, una gran dosis de radiación se dirige directamente al cáncer sin pasar por los tejidos normales. También se pueden usar protectores contra la radiación para evitar aún más que se afecten los tejidos normales. La IORT se administra en una sala de operaciones especial que está recubierta con paredes que contienen la radiación.

La IORT se usa con más frecuencia para los cánceres abdominales (área de la barriga) o pélvicos que no se pueden extirpar completamente (tal como aquellos que han crecido cerca de áreas vitales) y en cánceres que tienden a recurrir después del tratamiento. Esta técnica aún no está ampliamente disponible.

### **Radioterapia guiada por implantes electromagnéticos**

Esta es otra manera de dirigir el rayo de radiación que se puede usar con 3D e IMRT. Utiliza diminutos implantes electromagnéticos (llamados *transpondedores*) que se colocan en el área que está bajo tratamiento. Estos implantes emiten ondas de radio que indican a la máquina de radiación hacia dónde apuntar. Esto permite que la máquina se calibre para compensar por el movimiento (como el ocasionado por la respiración) y puede que ayude a evitar que algo de radiación vaya a los tejidos sanos. También ayuda a redirigir los rayos de radiación a medida que los órganos se mueven o el cáncer se reduce de tamaño con el paso del tiempo. A veces se le conoce como *terapia 4-D*, ya que incorpora el tiempo en la fórmula de planificación de la radiación. Uno de estos sistemas es comercializado con el nombre de marca, Calypso®. En teoría, la radiación que es enfocada mejor podría disminuir los efectos secundarios. Hasta el momento, los estudios no han demostrado que este tipo de radiación sea mejor para los pacientes que otros métodos.

### **Planificación del tratamiento para la radiación de haces externos**

El proceso de planificación de la radioterapia con haces externos conlleva muchos pasos y puede requerir varios días para concluirse. Pero es una parte clave en el éxito de un tratamiento con radiación. El equipo de radiación preparará un tratamiento especialmente para usted. El tratamiento administrará la dosis más fuerte de radiación para el cáncer mientras preserva tanto tejido normal como sea posible.

La primera parte de la planeación de su tratamiento se llama *simulación*, y algunas veces se conoce como “sesión de marcaje”. Se le pedirá que se acueste muy quieto en una mesa mientras el equipo de atención médica determina su mejor posición para el tratamiento y cómo mantenerle en esa posición (se puede usar cinta adhesiva, reposacabezas, yesos, moldes para el cuerpo, o almohadas de espuma). Entonces marcarán el *campo de radiación* (también llamado el *portal de tratamiento*), que es el área exacta de su cuerpo a la que se dirigirá la radiación. Las marcas se pueden hacer con marcadores permanentes o con tatuajes que lucen como pequeñas pecas. Si usted no quiere que le hagan tatuajes, pregunte con anticipación cómo se realizarán las marcas de radiación y cuáles son sus opciones.

Su médico puede usar estudios por imágenes para ver el tamaño del tumor, determinar el sitio más probable de su propagación, delinear los tejidos normales que se encuentran en el área de tratamiento, tomar medidas y planear su tratamiento. También es posible que se tomen fotografías para facilitar la preparación diaria del tratamiento.

Mediante un proceso complejo llamado *dosimetría*, se usan programas de computación para determinar la cantidad de radiación a la que estarían expuestas las estructuras normales adyacentes

si las dosis recetadas fueran administradas al cáncer. El médico y el dosimetrista colaborarán para decidir la cantidad de radiación que usted necesita recibir y las mejores maneras de dirigirla al cáncer. Basarán esta decisión en el tamaño del tumor, la sensibilidad del tumor a la radiación y qué tanto el tejido normal del área puede tolerar la radiación.

## Dosis y tratamiento con la radiación de haces externos

La cantidad total de radiación que recibirá se mide en unidades llamadas Gray (Gy). Con frecuencia la dosis se expresa en *centigrays* (cGy), que es una centésima de un Gray.

En el caso de la radiación externa, con frecuencia la dosis total se divide en dosis de menor tamaño (llamadas fracciones) que generalmente se administran en el curso de varias semanas. Esto permite administrar la mejor dosis con el menor daño posible a los tejidos normales. Los tratamientos generalmente se administran 5 días a la semana, por alrededor de 5 a 8 semanas.

Algunos cánceres se pueden tratar más de una vez al día.

- La **radiación hiperfraccionada** divide la dosis diaria en dos sesiones de tratamiento sin cambiar la duración del tratamiento. En este caso recibiría tratamiento dos veces al día durante varias semanas.
- La **radiación acelerada** administra la dosis total de radiación durante un lapso de tiempo más corto. En otras palabras, administrar dosis con más frecuencia (más de una vez al día) para lograr la misma dosis total de radiación, podría acortar una o dos semanas el curso del tratamiento.
- La **radiación hipofraccionada** distribuye la radiación en menos dosis de modo que cada dosis es mayor. Algunas veces, esto podría significar que se administre con menos frecuencia que una vez al día.

Estos tipos de programas pueden hacer que la radiación sea más eficaz para algunos tumores. La desventaja es que los efectos secundarios de la radiación aparecen más temprano y pueden ser peores, aun cuando no aumentan los efectos tardíos de la radiación.

Es importante que cada vez que se someta al tratamiento usted esté en la posición correcta para que se administre la cantidad adecuada de radiación en el área correcta. Las marcas en la piel mostrarán dónde se debe concentrar el tratamiento. Necesitará quedarse inmóvil en la misma posición durante cada tratamiento, que puede durar hasta 30 minutos. Algunas veces se usará un molde de la parte del cuerpo que se va a tratar para fijarle en determinada posición. Con esto se asegura que usted esté en el lugar correcto y que usted permanezca inmóvil. Es posible que su equipo de atención médica también necesite hacer bloques o escudos especiales para proteger ciertas partes de su cuerpo contra la radiación durante el tratamiento.

## Radioterapia interna (braquiterapia)

La radioterapia interna también se conoce como braquiterapia, término que significa terapia a corta distancia. Con este método, las fuentes de radiación se colocan en o cerca del área que necesita tratamiento. La radiación solo se desplaza a una corta distancia de manera que hay menos riesgo de daño a los tejidos normales adyacentes. La braquiterapia se puede usar para administrar una alta dosis de radiación a un área pequeña en un periodo de tiempo bastante breve. Esta terapia es útil

para tumores que necesitan una alta dosis de radiación o que se encuentran cerca de tejidos normales que son afectados fácilmente por la radiación.

Los principales tipos de radiación interna son:

- **Radiación intersticial:** la fuente de radiación se coloca directamente en el tumor o junto a él usando pequeños gránulos, semillas, cables, tubos o recipientes.
- **Radiación intracavitaria:** se coloca un recipiente con material radioactivo en una cavidad del cuerpo, como el tórax, el recto, el útero o la vagina.

Se usa ultrasonido, rayos X o CT para ayudar al médico a colocar la fuente radioactiva en el lugar correcto. La colocación puede ser permanente o temporal.

La **braquiterapia permanente** usa pequeños recipientes, a menudo llamados *gránulos* o *semillas*, que tienen el tamaño aproximado de un grano de arroz. Se colocan directamente dentro del tumor mediante agujas huecas y delgadas. Una vez en su lugar, los gránulos emiten radiación durante varias semanas o meses. Debido a su pequeño tamaño, su presencia causa pocas molestias y simplemente se dejan en ese lugar después de que se agota su material radioactivo.

La **braquiterapia temporal** puede administrarse en alta tasa de dosis (*high-dose rate*, HDR) o en baja tasa de dosis (*low-dose rate*, LDR). En ambos tipos se coloca cilindros, agujas huecas, tubos (catéteres) o globos llenos de líquido en el área que se va a tratar, y luego se remueven después del tratamiento. El material radioactivo se puede colocar en estos recipientes por poco tiempo y luego se extrae. Esto lo puede hacer el personal del hospital, o el material radioactivo se puede colocar en forma remota dentro del artefacto con una máquina.

En la braquiterapia HDR, la fuente de radiación se coloca durante unos minutos a la vez y luego se extrae. Este proceso se puede repetir dos veces al día hasta por una semana, o una vez a la semana durante varias semanas.

En el caso de la **braquiterapia LDR**, la fuente de radiación permanece en su lugar durante hasta siete días. Para evitar que el implante se mueva, necesitará permanecer en cama y quedarse moderadamente inmóvil. Por esta razón, es necesario que permanezca en el hospital durante su terapia LDR.

## Tratamiento con radiación interna

Es poco probable que sufra dolor intenso o indisposición mientras se introducen los implantes radiactivos o los catéteres, los dispositivos, o los tubos para la colocación temporal del material radioactivo. Es posible que se sienta somnoliento, débil o con náuseas por un breve tiempo si recibe anestesia (medicamentos para provocar sueño) para la colocación del implante o dispositivo. Diga a la enfermera si tiene efectos secundarios inusitados como ardor o sudoración.

Usualmente no se necesita anestesia para extraer implantes de braquiterapia temporales. La mayoría se puede extraer en su cuarto del hospital (la habitación está especialmente protegida para contener la radiactividad y el personal usa escudos móviles para protegerse mientras trabaja con los materiales radiactivos). Si tuvo que permanecer en cama durante la terapia de implantación, es posible que se tenga que quedar en el hospital un día o más después de que se le extrae el implante. Esto es solo para asegurarse que usted no presente problemas en el área donde se colocaron los implantes.

Una vez que se extraen los implantes, no queda radioactividad en su cuerpo. El médico le dirá si tiene que limitar su actividad física durante algún tiempo. Se recomienda a la mayoría de los pacientes que hagan tanto como puedan. Algunas personas necesitan sueño adicional o descansos durante sus primeros días en casa, pero probablemente recuperará sus fuerzas rápidamente. El área tratada con el implante puede estar dolorida o sensible durante algún tiempo después del tratamiento.

## **Radioembolización**

Hoy día, este tipo especial de radiación interna se usa solamente para cáncer en el hígado que no se puede extraer quirúrgicamente. Se inyectan pequeñas partículas radiactivas (llamadas *microesferas*) en la arteria que alimenta al tumor en el hígado. Los nombres de marca para estas esferas incluyen *TheraSphere*<sup>®</sup> y *SIR-Spheres*<sup>®</sup>. Una vez inyectadas, las esferas se alojan en los vasos sanguíneos cercanos al tumor donde emiten pequeñas cantidades de radiación hacia el lugar donde está el tumor por varios días. La radiación se desplaza a una distancia muy corta de modo que sus efectos son limitados principalmente al tumor. En algunos casos, puede causar otros problemas, como úlceras en los intestinos, bajos recuentos de glóbulos blancos, daño pulmonar, o daño grave a las células normales del hígado.

## **Radiofármacos**

Los *radiofármacos* son medicamentos que contienen materiales radioactivos, llamados radioisótopos. Se pueden administrar por vena, boca, o se pueden colocar en una cavidad del cuerpo. Dependiendo del medicamento y de su forma de administración, estos materiales viajan a varias partes del cuerpo para tratar el cáncer o aliviar sus síntomas. Emiten radiación, principalmente en forma de partículas alfa y beta, que se dirige a las áreas afectadas. Se emplean con más frecuencia en pequeñas cantidades para estudios por imágenes, aunque se pueden usar mayores dosis para administrar radiación.

## **Tratamiento del dolor de huesos**

El estroncio 89 (*Metastron*<sup>®</sup>), el samario 153 (*Quadramet*<sup>®</sup>), y el Radio- 223 (*Xofigo*<sup>®</sup>) son radiofármacos que se pueden usar para tumores que se han propagado a los huesos (metástasis ósea). Actualmente, otros medicamentos están siendo estudiados también. Estos medicamentos se administran por vena (intravenosamente o IV), de manera que entran en circulación con la sangre. Se desplazan por el cuerpo y se acumulan en las áreas de los huesos que contienen cáncer. La radiación que emiten destruye las células cancerosas y alivia algo del dolor causado por las metástasis en los huesos.

Para el cáncer que ya se ha propagado a varios huesos, este enfoque es mejor que tratar de dirigir la radiación externa a cada hueso afectado. Estos medicamentos se pueden usar junto con radiación de haces externos que se dirige a las metástasis óseas más dolorosas. Esta estrategia combinada ha ayudado a muchos hombres con cáncer de próstata, pero no se ha estudiado tanto su uso para otros tipos de cáncer.

Algunas personas notan más dolor de huesos después de los primeros días del tratamiento, pero esto no es común. Estos medicamentos también pueden reducir el número de células sanguíneas, especialmente de glóbulos blancos (lo que puede aumentar el riesgo de infecciones) y de plaquetas (lo que puede aumentar el riesgo de sufrir moretones o de sangrado).

## Tratamiento del cáncer de la tiroides

La glándula tiroides absorbe casi todo el yodo del torrente sanguíneo. Gracias a esto, el yodo radioactivo (también llamado *yodo radioactivo o yodo 131*) se puede usar para destruir la glándula tiroides y el cáncer tiroideo surtiendo poco efecto en el resto del cuerpo. Este tratamiento se usa con frecuencia después de una cirugía por cáncer de tiroides para destruir cualquier célula tiroidea que haya quedado. También se usa para tratar algunos tipos de cáncer de tiroides que se propagan a los ganglios linfáticos y a otras partes del cuerpo. Para más información, consulte el documento titulado *Cáncer de tiroides*.

## Fósforo 32

Esta forma de fósforo (también conocida como *P-32 o fosfato crómico P 32*) se coloca en el interior de los tumores de cerebro que son císticos (están huecos) a fin de destruir el tumor sin lesionar las partes sanas del cerebro.

Anteriormente el P-32 se administraba en una vena (IV) como tratamiento común para una enfermedad de la sangre llamada *policitemia vera*. El P-32 también se colocaba en el interior del abdomen (barriga) como tratamiento del cáncer de ovario. Actualmente, se usa en pocas ocasiones, ya que existen mejores medicamentos que causan menos efectos secundarios.

## Anticuerpos radiomarcados

Los anticuerpos monoclonales son versiones sintéticas de las proteínas del sistema inmunitario que sólo atacan un blanco molecular específico de ciertas células cancerosas. Los científicos han aprendido cómo unir estos anticuerpos con átomos radioactivos. Cuando se inyectan en el torrente sanguíneo, los anticuerpos actúan como buscadores de blancos. Sólo se unen a su blanco, llevando pequeños paquetes de radiación directamente al cáncer.

Los anticuerpos radiomarcados se usan para tratar algunos linfomas no Hodgkin, especialmente aquellos que no responden a otros tratamientos.

## ¿Causa la radioterapia un segundo cáncer?

La relación entre la radiación y el cáncer fue confirmada hace muchos años mediante estudios de los sobrevivientes de las bombas atómicas en Japón, la exposición de los trabajadores en ciertos trabajos, y los pacientes tratados con radioterapia para el cáncer y otras enfermedades.

Algunos casos de leucemia se relacionan con una exposición anterior a la radiación. La mayoría de ellas se desarrollan unos años después de la exposición, el riesgo es mayor después de cinco a nueve años, y luego comienza a reducirse lentamente. Se ha encontrado que otros tipos de cáncer que se desarrollan después de la exposición a la radiación duran mucho más tiempo en aparecer. Estos son cánceres son tumores sólidos, como el cáncer de seno o de pulmón. La mayoría de ellos no se observan por al menos 10 años después de la exposición a la radiación, y algunos se diagnostican hasta más de 15 años después.

Las técnicas de radioterapia han estado mejorando de manera constante durante las últimas décadas. Ahora los tratamientos se dirigen a los cánceres con mayor precisión, y se sabe más sobre la determinación de las dosis de radiación. Se espera que estos avances reduzcan el número de cánceres secundarios resultantes de la radioterapia. Por lo general, el riesgo de cánceres

subsecuentes usualmente es bajo y debe sopesarse contra los beneficios que se obtienen de los tratamientos con radiación.

Si desea más información, consulte *Second Cancers Caused by Cancer Treatment* (disponible en inglés solamente).

## ¿Qué hay de nuevo en la radioterapia?

Las nuevas maneras de administrar la radioterapia permiten que sea más segura y eficaz. Algunos de estos métodos ya se están usando, mientras que otras necesitan más estudios antes de que se aprueben para su uso extendido. Además, los científicos alrededor del mundo continúan buscando mejores y diferentes maneras de usar la radiación para tratar el cáncer. A continuación se presentan solo algunas áreas de investigación que generan interés:

La hipertermia es el uso de calor para tratar el cáncer. Se ha descubierto que el calor destruye las células del cáncer, pero cuando se usa solo no destruye suficientes células como para curar la enfermedad. El calor generado por las microondas y el ultrasonido se está estudiando en combinación con la radiación, y parece que mejora el efecto de ésta. Para más información, lea nuestro documento *Hyperthermia to Treat Cancer*.

La **terapia de oxígeno hiperbárico** consiste en respirar oxígeno puro en una cámara sellada que ha sido presurizada de 1½ a 3 veces la presión atmosférica normal. Esto ayuda a aumentar la sensibilidad de ciertos tipos de cáncer hacia la radiación. También se ha sometido a prueba para determinar si puede revertir en algo el daño causado por la radiación a los tejidos normales del cuerpo.

Los radiosensibilizantes son un área en desarrollo del tratamiento del cáncer. Los investigadores continúan en búsqueda de nuevas sustancias que hagan que los tumores sean más sensitivos a la radiación sin afectar los tejidos normales.

Los **radioprotectores** son sustancias que protegen las células normales contra la radiación. Estos tipos de medicamentos son útiles en áreas en las que es difícil no exponer tejidos normales vitales a la radiación durante el tratamiento de un tumor, como en el área de la cabeza y el cuello. Algunos radioprotectores como amifostina (Ethyol<sup>®</sup>) ya se están usando, mientras que otros se están investigando en estudios clínicos.

## ¿Cómo obtener más información?

### Más información de la Sociedad Americana Contra El Cáncer

A continuación presentamos información que podría ser de su utilidad. Usted también puede ordenar copias gratis de nuestros documentos si llama a nuestra línea gratuita, 1-800-227-2345, o puede leerlos en nuestro sitio Web [www.cancer.org](http://www.cancer.org).

#### Cómo vivir con cáncer

Después del diagnóstico: una guía para los pacientes y sus familias

Cómo enfrentar el cáncer en la vida diaria

### *Distress in People with Cancer*

Nutrición para la persona durante su tratamiento contra el cáncer: una guía para pacientes y sus familias

Sexualidad para el hombre con cáncer

Sexualidad para la mujer con cáncer

### **Tratamiento contra el cáncer**

Cómo elegir a un médico y a un hospital

*Health Professionals Associated With Cancer Care*

Una guía sobre radioterapia

Una guía sobre quimioterapia

Una guía sobre la cirugía del cáncer

Estudios clínicos: lo que necesita saber

*Helping Children When a Family Member Has Cancer Dealing With Treatment*

### **Organizaciones nacionales y sitios en Internet\***

Además de la Sociedad Americana Contra El Cáncer, otras fuentes de información y de apoyo incluyen:

#### **American Society for Radiation Oncology (ASTRO)**

Línea telefónica gratuita: 1-800-962-7876

Sitio Web: [www.astro.org](http://www.astro.org)

Sitio Web para pacientes: [www.rtanswers.org](http://www.rtanswers.org)

El sitio Web para pacientes tiene un localizador para oncólogos especialistas en radiación; ofrece folletos gratis, incluyendo folletos específicos sobre radiación para cánceres ginecológicos, de vejiga, seno, colon y recto, cabeza y cuello, Hodgkin, pulmón, no Hodgkin, piel y próstata.

#### **National Cancer Institute**

Línea telefónica gratuita: 1-800-422-6237 (1-800-4-CANCER)

TTY: 1-800-332-8615

Sitio Web: [www.cancer.gov](http://www.cancer.gov)

Sitio web en español: [www.cancer.gov/espanol](http://www.cancer.gov/espanol)

Provee información actualizada y fidedigna sobre el cáncer y el tratamiento contra el cáncer a los pacientes, sus familias y al público en general.

#### **American College of Radiology (ACR)**

Sitio Web: [www.acr.org/Quality-Safety/Radiology-Safety/Patient-Resources](http://www.acr.org/Quality-Safety/Radiology-Safety/Patient-Resources)

Ofrece información sobre la radiación y la seguridad radiológica, incluyendo videos cortos y aplicaciones; también ofrece una herramienta en línea para localizar instalaciones acreditadas por ACR

*\*La inclusión en esta lista no implica la aprobación de la Sociedad Americana Contra El Cáncer.*

Independientemente de quién sea usted, nosotros le podemos ayudar. Comuníquese con nosotros para recibir información y asistencia. Llámenos al **1-800-227-2345** o visítenos en [www.cancer.org](http://www.cancer.org).

## Referencias

American Society for Therapeutic Radiology and Oncology. Answers to Your Radiation Therapy Questions. Accessed at [www.rtanswers.org](http://www.rtanswers.org) on October 23, 2014.

Brown AP, Chen J, Hitchcock YJ, et al. The risk of second primary malignancies up to three decades after the treatment of differentiated thyroid cancer. *J Clin Endocrinol Metab.* 2008;93(2):504-515.

Constine LS, Milano MT, Friedman D, et al. Late Effects of Cancer treatment on Normal Tissues. In: Halperin EC, Perez CA, Brady LW, (Eds.) *Perez and Brady's Principles and Practice of Radiation Oncology*, 5<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins; 2008: 320-355.

Douglas JG, Goodkin R, Laramore GE. Gamma knife stereotactic radiosurgery for salivary gland neoplasms with base of skull invasion following neutron radiotherapy. *Head Neck.* 2008;30(4):492-496.

Fisher DR. Medical Isotope Production and Use (National Isotope Development Center). 2009. Accessed at [www.isotopes.gov/outreach/reports/Medical\\_Isotope\\_Production\\_Use.pdf](http://www.isotopes.gov/outreach/reports/Medical_Isotope_Production_Use.pdf) on October 23, 2014.

Gosselin-Acomb TK. Principles of Radiation Therapy. In: Henke Yarbrow C, Hansen Frogge M, Goodman M, eds. *Cancer Nursing Principles and Practice*. 6<sup>th</sup> ed. Boston: Jones and Bartlett Publishers, Inc. 2005:229-249.

Halperin EC. Particle therapy and treatment of cancer. *Lancet Oncol.* 2006;7:676-685.

Halperin EC, Perez CA, Brady LW (eds). *Principles and Practice of Radiation Oncology, Fifth Ed.* Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins 2008.

Hede K. Research groups promoting proton therapy "lite." *JNCI.* 2006;98:1682-1684.

International Atomic Energy Agency, Radiation Protection of Patients. Radiation Protection in Radionuclide therapy. Accessed at [http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingNuclearMedicine/Lectures/RPNM\\_Part08\\_therapy\\_WEB.ppt](http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingNuclearMedicine/Lectures/RPNM_Part08_therapy_WEB.ppt) on October 23, 2014.

Jongen Y. Radiotherapy systems using proton and carbon beams. *Bull Mem Acad R Med Belg.* 2008;163(10-12):471-478; discussion 479-480.

Khan FM. *The Physics of Radiation Therapy*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins 2010.

Kry SF, Salehpour M, Followill DS, et al. The calculated risk of fatal secondary malignancies from intensity-modulated radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2005;62(4):1195-1203.

Morgan MA, Haken RKT, Lawrence TS. Radiation Oncology. In: DeVita VT Jr, Lawrence TS, Rosenberg SA (Eds.) *DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer: Principles and Practice of Oncology*, 9<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins; 2011: 289-311.

National Cancer Institute. Radiation Therapy and You: Support for People With Cancer. Accessed at [www.cancer.gov/cancertopics/radiation-therapy-and-you](http://www.cancer.gov/cancertopics/radiation-therapy-and-you) on October 23, 2014.

National Cancer Institute. Radiation Therapy for Cancer FactSheet. Accessed at [www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Therapy/radiation](http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Therapy/radiation) on October 23, 2014.

Paes FM, Serafini AN. Systemic Metabolic Radiopharmaceutical Therapy in the Treatment of Metastatic Bone Pain. *Semin Nucl Med*. 2010;40:89-104.

Reed SI. Cell Cycle. In: DeVita VT Jr, Lawrence TS, Rosenberg SA (Eds.) *DeVita, Hellman, and Rosenberg's Cancer: Principles and Practice of Oncology*, 9<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins; 2011: 68-81.

Sheets NC, Goldin GH, Meyer AM, et al. Intensity-modulated radiation therapy, proton therapy, or conformal radiation therapy and morbidity and disease control in localized prostate cancer. *JAMA*. 2012;307(15):1611-1620.

**Last Medical Review: 12/12/2014**

**Last Revised: 12/12/2014**

**2014 Copyright American Cancer Society**

For additional assistance please contact your American Cancer Society  
1-800-227-2345 or [www.cancer.org](http://www.cancer.org)