

AMERICAN BRAIN TUMOR ASSOCIATION

# Terapia de protones



American  
Brain Tumor  
Association®

*Providing and pursuing answers®*

## **ACERCA DE AMERICAN BRAIN TUMOR ASSOCIATION**

American Brain Tumor Association (ABTA), fundada en 1973, fue la primera organización nacional sin fines de lucro dedicada exclusivamente a la investigación de tumores cerebrales. Desde entonces, la ABTA ha ampliado su misión y ahora proporciona recursos integrales para respaldar las necesidades complejas de los pacientes con tumores cerebrales y de sus cuidadores, de todas las edades y tipos de tumores. Además, financia la investigación en busca de innovaciones en el diagnóstico, el tratamiento y la atención de los tumores cerebrales.

Para obtener más información, visite [abta.org](http://abta.org).

*La ABTA agradece a las siguientes personas por la revisión de esta edición de este folleto: Vinai Gondi, MD, Northwestern Medicine Proton Center, Northwestern Medicine Cancer Center Warrenville; y Jennifer Yu, MD, PhD, Departamento de Oncología Radioterápica, Cleveland Clinic.*

Esta publicación no tiene el objetivo de sustituir el asesoramiento médico profesional y no brinda consejos sobre tratamientos o afecciones para pacientes. Todas las decisiones sobre salud y tratamiento deben tomarse en conjunto con su(s) médico(s), utilizando su información médica específica. Ningún producto, tratamiento, médico u hospital que se incluya en esta publicación constituye una recomendación.

# Terapia de protones

## INTRODUCCIÓN

Este folleto trata sobre la **terapia de protones**, un **método avanzado para administrar tratamientos de radiación** a pacientes con distintos tipos de cáncer, incluidos los tumores cerebrales.

Alrededor del 70 % de los tumores cerebrales no son cancerosos, pero siguen siendo una afección médica grave y a menudo requieren tratamiento.<sup>1,2</sup> El 30 % restante de los tumores cerebrales son cancerosos (malignos). Los tumores cerebrales cancerosos suelen crecer más rápido y comportarse de forma más agresiva que los llamados tumores benignos. Suelen invadir otras zonas del cerebro y la médula espinal y pueden ser mortales. **Los tratamientos de los tumores cerebrales incluyen cirugía, radiación y quimioterapia.**

**La radioterapia puede utilizarse sola, o en combinación con otros tratamientos, para:**<sup>3,4,5</sup>

- Ayudar a prevenir la reaparición del tumor después de una cirugía o de la quimioterapia
- Aliviar los síntomas causados por el tumor
- Tratar tumores que no pueden extirparse con cirugía

**El objetivo de la radioterapia es destruir las células tumorales y ralentizar o detener el crecimiento del tumor, al tiempo que se limita la cantidad de radiación**

---

al tejido cerebral sano cercano.<sup>4</sup> Esto es especialmente importante para los niños pequeños, ya que sus cerebros y cuerpos en desarrollo son muy sensibles a los posibles efectos a largo plazo de la radiación.

Al médico especializado en administrar radioterapia se le llama *oncólogo radioterapeuta*.<sup>6</sup> El oncólogo radioterapeuta trabaja con un equipo de médicos, físicos médicos, expertos técnicos, terapeutas de radiación y enfermeros.

La radioterapia utiliza partículas y ondas (protones, electrones o fotones) muy concentradas y de alta energía para destruir las células tumorales y un margen, o borde, del tejido cerebral normal que rodea al tumor.<sup>6</sup> Tratar la zona cercana al tumor puede ayudar a eliminar el cáncer que se ha extendido al tejido circundante. A menudo, el margen contiene algo de tejido sano y posiblemente estructuras vitales, como el tronco encefálico y la médula espinal, que, si resultan dañados, pueden provocar efectos secundarios a largo plazo.

El tipo más común de radiación utilizada para tratar tumores cerebrales se conoce como *radioterapia de haz externo* o RHE.<sup>4,7</sup> Existen diferentes métodos de RHE, pero en todos ellos se utiliza una máquina para administrar la radiación a través de la piel directamente al tumor. Un tipo de RHE es la terapia de protones.



El *gantry* gira y dirige los protones hacia el tumor del paciente.  
Foto cortesía de MD Anderson Proton Therapy Center.

## ¿QUÉ ES LA TERAPIA DE PROTONES?

La terapia de protones utiliza partículas con carga positiva, conocidas como protones, para enviar niveles altos de energía directamente al tumor mediante una máquina llamada *sincrotrón* o *ciclotrón*.<sup>5</sup> La energía alimenta a los protones para que se desplacen a la profundidad deseada en el cuerpo. Pero a diferencia de los haces de fotones, los haces de protones no recorren todo el cuerpo. Una vez que alcanzan el tumor, los haces de protones administran la dosis de radiación dirigida al tumor y luego dejan de moverse a través del tejido.<sup>8,9</sup>

Esta característica única ayuda a reducir el daño causado a los tejidos y órganos sanos circundantes más allá del tumor. Esto, a su vez, puede dar lugar a menos efectos secundarios, como cambios cognitivos (disminución de la agudeza mental, de los procesos de pensamiento y de la memoria).

La terapia de protones suele recomendarse para el tratamiento de tumores más pequeños con márgenes bien definidos y de tumores situados cerca de órganos vitales y tejido cerebral sano.<sup>3,5</sup> No suele recomendarse para tumores que se han extendido a otras zonas del cuerpo.

**Entre los tumores cerebrales que pueden ser adecuados para la terapia de protones se incluyen:**

- Malformaciones arteriovenosas<sup>10,11</sup>
- Tumor teratoide/rabdoide atípico<sup>12</sup>
- Ciertos gliomas de grado bajo y alto<sup>13,14,15</sup>
- Condrosarcomas<sup>5,16,17</sup>
- Cordomas<sup>5,17</sup>
- Ependimomas<sup>14,18</sup>
- Tumores de células germinales<sup>19,20</sup>
- Astrocitomas pilocíticos juveniles<sup>21,22</sup>
- Meningiomas<sup>5,23</sup>
- Meduloblastomas<sup>14,24</sup>
- Adenomas pituitarios<sup>25,26</sup>
- Algunos tumores cerebrales tratados previamente con radioterapia<sup>27,28</sup>
- Schwannomas vestibulares/neuromas acústicos<sup>29,30</sup>

---

## TERAPIA DE PROTONES CON HAZ DE LÁPIZ

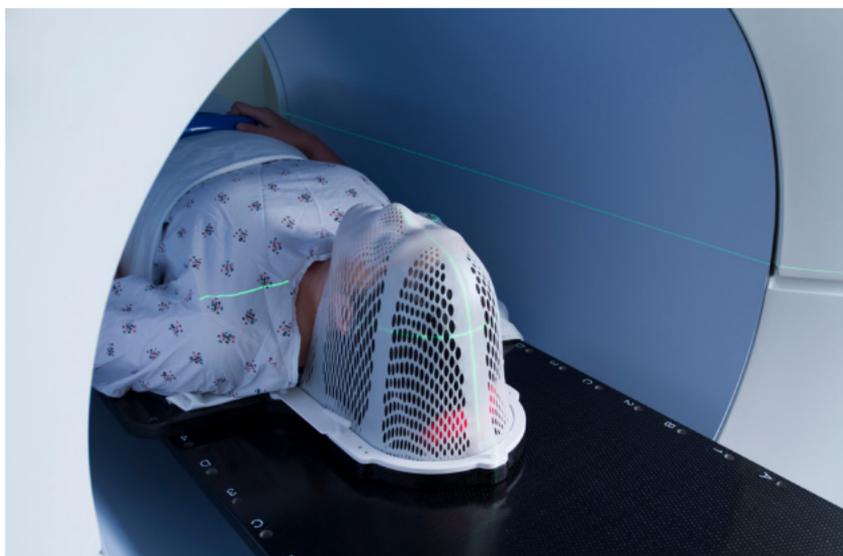
Un tipo más avanzado de terapia de protones, conocido como *terapia de protones con haz de lápiz*, administra un único haz de protones más fino que mide tan solo unos cuantos milímetros de ancho. El uso de la terapia de haz de protones en un tumor se ha descrito como pintar sobre un lienzo, utilizando solamente la punta del pincel en lugar de dar brochazos amplios. Este enfoque terapéutico reduce el riesgo de efectos secundarios incluso más que la terapia de haz de protones. La terapia de protones con haz de lápiz ha demostrado su eficacia en el tratamiento de tumores cerebrales tanto en adultos como en niños.<sup>31,32,33</sup>

## QUÉ ESPERAR

El equipo de atención médica dedica mucho tiempo y esfuerzo a planificar el tratamiento con terapia de haz de protones. Mantener inmóviles a los pacientes, determinar el lugar exacto por el que los haces de protones deben penetrar en el cuerpo para llegar al tumor y elegir la mejor dosis de radiación y el mejor calendario posibles son pasos fundamentales del proceso.

Por lo general, las personas reciben la terapia de protones en un entorno ambulatorio, no en un hospital. Durante una sesión previa al tratamiento, conocida como **simulación**, se guía a los pacientes para que adopten la posición en la que deberán permanecer durante las sesiones.<sup>4,6</sup> A continuación, los pacientes se someterán a una exploración por **tomografía computarizada (TC)** o **imagen por resonancia magnética (IRM)**.<sup>5,34</sup> La exploración por imágenes ayudará a los profesionales clínicos a adaptar la dosis de radiación y el número y la forma de los haces de radiación, así como a trazar el mapa exacto de la zona que se va a tratar.

Los pacientes que reciben terapia de protones para tumores cerebrales deben utilizar una **máscara hecha a medida**.<sup>5,34</sup> Esta máscara mantendrá inmóviles a los pacientes y ayudará a dirigir con precisión el haz de protones durante el procedimiento. Se marca el lugar por el que el haz de protones penetrará en la piel.



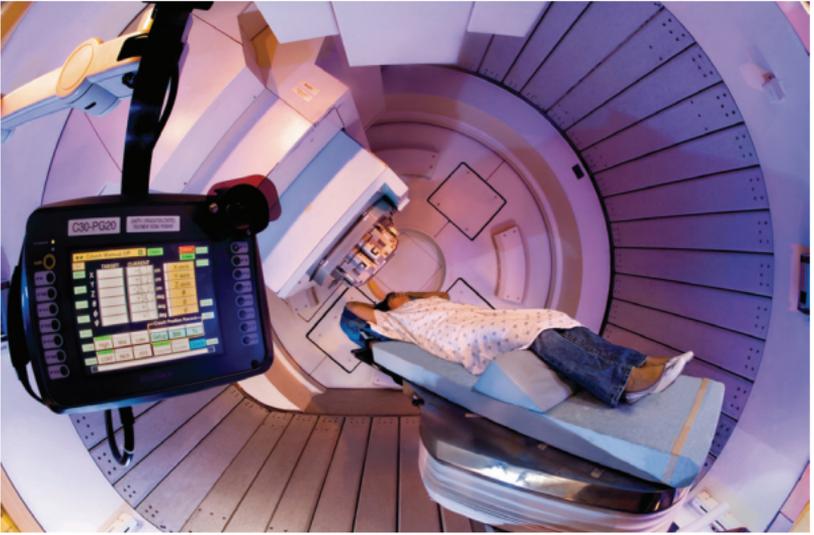
Paciente recibiendo radioterapia dirigida mientras utiliza una máscara personalizada para estabilizar la cabeza durante el tratamiento.

Antes de cada tratamiento, el equipo médico realizará una TC o una IRM, lo que ayuda a garantizar que los pacientes se encuentren siempre exactamente en la misma posición. De este modo, los haces de protones alcanzarán el tumor y no el tejido cercano.

Durante la sesión de terapia de protones, los pacientes son colocados en una **mesa de tratamiento** en una sala de tratamiento especial.<sup>5,6,16</sup> Algunas salas de tratamiento tienen un *gantry*, que es una máquina de acero giratoria con forma de rosquilla de unos 35 pies de diámetro, tres pisos de altura y que pesa hasta 200 toneladas. La mayor parte de esta enorme maquinaria está construida detrás de las paredes y no es visible para el paciente en la sala de tratamiento. Una vez que el paciente está en la posición adecuada, el equipo médico sale de la sala para iniciar el procedimiento. El *gantry* gira alrededor de la mesa, dirigiendo los protones al tumor del paciente a través de una boquilla del ciclotrón/sincrotrón. El haz de protones se desplaza por el *gantry*, guiado por imanes, hacia el tumor.

Por lo general, los tratamientos de terapia de protones duran entre 15 y 30 minutos, de principio a fin.<sup>5</sup> El **procedimiento en sí solo dura unos minutos y es indoloro.**<sup>8,16</sup>

El número de sesiones de tratamiento necesarias depende del tipo y el grado del tumor.<sup>5</sup> Para minimizar los efectos



El *gantry* con un paciente durante el procedimiento.

Foto cortesía de MD Anderson Proton Therapy Center.

secundarios, los tratamientos suelen administrarse cinco días a la semana durante cinco a siete semanas.<sup>3,7</sup> Esto permite que una cantidad suficiente de radiación penetre en el organismo para destruir el cáncer, al tiempo que se les da tiempo a las células sanas para curarse.

Después de la terapia de protones, los pacientes deberían poder retomar sus actividades habituales. Es probable que los pacientes visiten a su médico cada tres o seis meses para realizarse exámenes de seguimiento.<sup>3</sup>

## **BENEFICIOS DE LA TERAPIA DE PROTONES**

El mayor beneficio que ofrece la terapia de protones es que reduce la cantidad de radiación que reciben los tejidos sanos, así como los órganos y estructuras vitales cercanos al tumor cerebral.<sup>5,9,35</sup> Utilizando la terapia de protones, en comparación con otras formas de RHE, se administra hasta un 60 % menos de radiación a los tejidos sanos que rodean el tumor.<sup>5,36</sup> Preservar los tejidos y órganos sanos puede reducir los efectos secundarios que experimentan los pacientes.

A medida que los haces de protones avanzan hacia el tumor, liberan una cantidad de energía mucho menor en los tejidos y órganos sanos circundantes que las formas convencionales de radiación. Otros tipos de radioterapia, como los haces de fotones, propagan la radiación a

medida que salen del cuerpo, mientras que una vez que los haces de protones se detienen, prácticamente no se libera radiación sobre el tejido más allá del tumor objetivo.<sup>5,35</sup>

Entre los otros beneficios de la terapia de protones se incluyen los siguientes:

- Da lugar a menos cánceres secundarios en comparación con otras formas de RHE<sup>37,38,39</sup>
- Administra una dosis más alta de radiación al tumor de lo que es posible con los métodos convencionales de radioterapia.<sup>5,16</sup>
- Alcanza tumores situados cerca de órganos críticos y tejido cerebral<sup>3,5,16</sup>

Se están realizando ensayos clínicos para comparar la terapia con haces de protones con los métodos convencionales de radioterapia para el tratamiento de cánceres, incluidos los tumores cerebrales.<sup>5</sup> Muchos de estos estudios son financiados por el National Cancer Institute y el Patient-Centered Outcomes Research Institute.<sup>40</sup>

**Terapia de protones para niños.** Los niños, especialmente los más pequeños, son los que más pueden beneficiarse de la terapia de protones, ya que su crecimiento y desarrollo pueden verse afectados negativamente por la exposición a la radiación.<sup>35,36</sup> El tratamiento con terapia de protones para tumores cerebrales en niños se asocia a resultados cognitivos favorables, incluidos aquellos relacionados con la inteligencia, la velocidad de procesamiento y el funcionamiento (capacidad para realizar actividades cotidianas normales).<sup>41,42</sup>

Algunos estudios han demostrado que la terapia de protones ofrece mejores resultados cognitivos que las formas convencionales de radiación en niños tratados por tumores cerebrales y otros tumores del sistema nervioso central.<sup>43,44</sup> Los investigadores sugieren que esto podría mejorar la calidad de vida y la funcionalidad de los supervivientes adultos de tumores cerebrales pediátricos.<sup>41</sup> Los niños suelen tolerar bien la terapia de protones, pero puede ser necesario sedar a los más pequeños si no pueden permanecer inmóviles durante el procedimiento.

---

*Desventajas de la terapia de protones.* Uno de los principales inconvenientes de la terapia de protones es que requiere equipos altamente especializados y costosos<sup>5</sup> que superan los \$200,000,000. La terapia de protones está disponible solo en unos pocos centros médicos de Estados Unidos. Sin embargo, el número de centros de tratamiento con terapia de protones está creciendo. En el 2006, había cinco centros de este tipo en EE. UU. Para el 2020, ese número había aumentado a 35.<sup>45</sup> La terapia de protones cuesta más que la radioterapia convencional y los proveedores de seguros varían en cuanto a qué cánceres cubren y cuánto debe pagar el paciente.<sup>5</sup> Los centros más pequeños, con una sola sala, que son menos caros y requieren menos espacio, son cada vez más comunes y deberían hacer que la terapia de protones esté disponible en más áreas y que sea más asequible en el futuro.

## **EFFECTOS SECUNDARIOS**

Como ocurre con todas las radioterapias, existe la posibilidad de que los pacientes sometidos a terapia de protones presenten efectos secundarios derivados del tratamiento. Cada persona presenta efectos secundarios diferentes. Si se presentan efectos secundarios, suelen aparecer después de unos cuantos tratamientos y suelen desaparecer poco después del tratamiento final.<sup>4</sup>

**Entre los efectos secundarios más frecuentes de la terapia de protones se incluyen fatiga (cansancio extremo incluso después de dormir), reacciones cutáneas leves (enrojecimiento, irritación, hinchazón, sequedad o ampollas), caída del cabello cerca de la zona tratada, malestar estomacal (náuseas, vómitos, diarrea y pérdida del apetito) y dolor de cabeza.<sup>5,16</sup>**

Algunos efectos secundarios a largo plazo pueden aparecer meses o años después de finalizar el tratamiento. Estos pueden incluir cánceres secundarios, infertilidad (incapacidad para quedar embarazada o engendrar un hijo)<sup>4</sup> y necrosis por radiación (muerte de tejido sano debido al tratamiento) en la zona de tratamiento o cerca de ella.<sup>34</sup>

Los estudios de seguimiento han demostrado que ni los adultos ni los niños tratados con terapia de protones para tumores cerebrales presentaron un deterioro significativo de las capacidades cognitivas ni de la funcionalidad, incluso años después del tratamiento.<sup>15,46,47,48</sup>

Los efectos secundarios dependen de:<sup>3-5</sup>

- Tipo, tamaño y ubicación del tumor
- Parte del cuerpo tratada
- Tipos de tejido sano cerca del tumor
- Dosis de tratamiento
- Salud general del paciente

Aliviar los síntomas de los efectos secundarios, ya sean causados por el propio tumor o por los tratamientos, es una parte importante del plan de atención de todos los pacientes con tumores cerebrales.

---

## **INFORMACIÓN, RECURSOS Y APOYO DE AMERICAN BRAIN TUMOR ASSOCIATION**

Tenemos folletos educativos disponibles en nuestro sitio web o puede solicitar una copia impresa gratis llamando a la ABTA. La mayoría de los folletos están disponibles en español, salvo las excepciones marcadas con un asterisco.

### **INFORMACIÓN GENERAL**

Acerca de los tumores cerebrales: manual básico para pacientes y cuidadores

Diccionario de tumores cerebrales\*

Manual de tumores cerebrales para personas recién diagnosticadas\*

Manual para cuidadores\*

### **TIPOS DE TUMORES**

Ependimoma

Glioblastoma y astrocitoma anaplásico

Meduloblastoma

Meningioma

Tumores cerebrales metastásicos

Oligodendroglioma y oligoastrocitoma

Tumores pituitarios

### **TRATAMIENTO**

Quimioterapia

Ensayos clínicos

Radioterapia convencional

Terapia de protones

Radiocirugía estereotáctica\*

Esteroides

Cirugía

## INFORMACIÓN, RECURSOS Y APOYO DE AMERICAN BRAIN TUMOR ASSOCIATION

### INFORMACIÓN

#### SITIO WEB DE ABTA | ABTA.ORG

Ofrece más de 200 páginas de información, programas, servicios de apoyo y recursos, incluyendo: localizadores de centros de tratamiento de tumores cerebrales y grupos de apoyo; recursos para cuidadores; actualizaciones de investigaciones; e información sobre tipos de tumores y tratamientos para todas las edades y tipos de tumores.

### INFORMACIÓN Y APOYO

- **Reuniones y seminarios web educativos de ABTA**  
Reuniones educativas presenciales y virtuales a cargo de profesionales médicos reconocidos a nivel nacional.
- **Programa de mentores pares de ABTA**  
Póngase en contacto con un paciente o cuidador mentor capacitado para ayudarle a afrontar un diagnóstico de tumor cerebral.
- **Comunidad ABTA Connections**  
Una comunidad de apoyo y debate en línea con más de 25,000 miembros.
- **CareLine de ABTA**  
Para obtener información y recursos personalizados, llame al 800-886-ABTA (2282) o envíe un correo electrónico a [info@abta.org](mailto:info@abta.org) para ponerse en contacto con un miembro del personal de CareLine.

### ÚNASE

- Participe en un evento de recaudación de fondos de ABTA.
- Para donar, visite [abta.org/donate](http://abta.org/donate).

### COMUNÍQUESE CON ABTA

CareLine: 800-886-ABTA (2282)

Correo electrónico: [info@abta.org](mailto:info@abta.org)

Sitio web: [abta.org](http://abta.org)

## REFERENCIAS

- 1 American Brain Tumor Association. Brain Tumor Education (Información sobre tumores cerebrales). 2019. <https://www.abta.org/about-brain-tumors/brain-tumor-education/> (Consultado el 18-05-20)
- 2 National Foundation for Cancer Research. 7 Facts You Need to Know About Brain Tumors (7 datos que debe conocer sobre los tumores cerebrales). 2017. <https://www.nfcr.org/blog/blog7-facts-need-know-brain-tumors/> (Consultado el 18-05-20)
- 3 Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU.: MedLine Plus. Radiation Therapy (Radioterapia). 2018. <https://medlineplus.gov/ency/article/001918.htm> (Consultado el 28-04-20)
- 4 ASCO® responde: Radiation Therapy (Radioterapia). 2016. [https://www.cancer.net/sites/cancer.net/files/asco\\_answers\\_radiation\\_therapy.pdf](https://www.cancer.net/sites/cancer.net/files/asco_answers_radiation_therapy.pdf) (Consultado el 28-04-20)
- 5 Terapia de protones. Información para el paciente aprobada por el médico de ASCO®. 2018. <https://www.cancer.net/navigating-cancer-care/how-cancer-treated/radiation-therapy/proton-therapy> (Consultado el 23-04-20)
- 6 Red Nacional Integral del Cáncer. NCCN guidelines for patients®. Brain Cancer: Gliomas (Cáncer cerebral: gliomas). Versión 1.2016. <https://www.nccn.org/patients/guidelines/brain-gliomas/files/assets/common/downloads/files/gliomas.pdf> (Consultado el 28-04-20)
- 7 Sociedad Estadounidense de Oncología Radioterápica (ASTRO). RT responde. How does radiation therapy work? (¿Cómo funciona la radioterapia?) 2019 <https://www.astrosociety.org/How-does-radiation-therapy-work/External-Beam-Radiation-Therapy>. (Consultado el 28-04-20)
- 8 Instituto Nacional del Cáncer. External beam radiation therapy for cancer (Radioterapia de haz externo para el cáncer). 2018. <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/radiation-therapy/external-beam> (Consultado el 28-04-20)
- 9 Tian X, Liu K, Hou Y, et al. The evolution of proton beam therapy: Current and future status (La evolución de la terapia de haz de protones: estatus actual y futuro) (revisión). *Mol Clin Oncol*. 2018;8(1):15-21.
- 10 Walcott BP, Hattangadi-Gluth JA, Stepleton CJ, et al. Proton beam stereotactic radiosurgery for pediatric cerebral arteriovenous malformations (Radiocirugía estereotáctica de haz de protones para malformaciones arteriovenosas cerebrales pediátricas). *Neurosurgery*. 2014;74(4):367-74.
- 11 Hattangadi-Gluth JA, Chapman PH, Kim D, et al. Single-fraction proton beam stereotactic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations (Radiocirugía estereotáctica de haz de protones de fracción única para malformaciones arteriovenosas cerebrales). *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014;89(2):338-46.
- 12 McGovern SL, Okcu MF, Munsell MF, et al. Outcomes and acute toxicities of proton therapy for pediatric atypical teratoid/rhabdoid tumor of the CNS (Resultados y toxicidades agudas de la terapia de protones para tumores teratoides/rabdoideos atípicos pediátricos del sistema nervioso central). *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014;90(5):1143-52.
- 13 Jhaveri J, Cheng E, Tian S, et al. Proton vs. photon radiation therapy for primary gliomas: An analysis of the National Cancer Data Base (Radioterapia de protones vs. fotónica para gliomas primarios: un análisis de la Base Nacional de Datos sobre el Cáncer). *Frontiers Oncol*. 2018;8:440.
- 14 Stross WC, Malouff TD, Waddle MR, et al. Proton beam therapy utilization in adults with primary brain tumors in the United States (Utilización de la radioterapia con protones en adultos con tumores cerebrales primarios en Estados Unidos). *J Clin Neurosci*. 2020;75:112-6.
- 15 Tabrizi S, Yeap BY, Sherman JC, et al. Long-term outcomes and late adverse effects of a prospective study on proton radiotherapy for patients with low-grade glioma (Resultados a largo plazo y efectos adversos tardíos de un estudio prospectivo sobre radioterapia de protones para pacientes con glioma de bajo grado). *Radiother Oncol*. 2019;137:95-101.
- 16 Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU.: MedLine Plus. Terapia de protones 2018. <https://medlineplus.gov/ency/article/007281.htm> (Consultado el 28-04-20)
- 17 Baumann BC, Lustig RA, Mazzoni S, et al. A prospective clinical trial of proton therapy for chordoma and chondrosarcoma: Feasibility assessment (Ensayo clínico prospectivo de la terapia de protones para cordoma y condrosarcoma: evaluación de viabilidad). *J Surg Oncol*. 2019;120(2):200-5.
- 18 Indelicato DJ, Bradley JA, Rotondo RL, et al. Outcomes following proton therapy for pediatric ependymoma (Resultados tras la terapia de protones para el ependimoma pediátrico). *Acta Oncol*. 2018;57(5):644-8.
- 19 Park J, Park Y, Lee SU, et al. Differential dosimetric benefit of proton beam therapy over intensity modulated radiotherapy or a variety of targets in patients with intracranial germ cell tumors (Beneficio dosimétrico diferencial de la terapia con haz de protones sobre la radioterapia de intensidad modulada o una variedad de objetivos en pacientes con tumores intracraniales de células germinales). *Radiat Oncol*. 2015;10:135.
- 20 Correia D, Terribilini D, Zepter S, et al. Whole-ventricular irradiation for intracranial germ cell tumors: Dosimetric comparison of pencil beam scanned protons, intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy (Irradiación ventricular total para tumores intracraniales de células germinales: comparación dosimétrica de protones escaneados con haz de lápiz, radioterapia de intensidad modulada y terapia de arco volumétrico modulado). *Clin Translat Radiat Oncol*. 2019;15:53-61.
- 21 Mannina EM, Bartlett GK, McMullen KP. Extended volumetric follow-up of juvenile pilocytic astrocytomas treated with proton beam therapy (Seguimiento volumétrico ampliado de astrocitomas pilocíticos juveniles tratados con terapia de haz de protones). *Int J Part Ther*. 2010;16(3(2)):291-9.
- 22 Indelicato DJ, Rotondo RL, Uezono H, et al. Outcomes following proton therapy for pediatric low-grade glioma (Resultados tras la terapia de protones para glioma pediátrico de bajo grado). *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2019;104(1):149-56.
- 23 Adeberg S, Harrabi SB, Verma V, et al. Treatment of meningioma and glioma with protons and carbon ions (Tratamiento de meningiomas y gliomas con protones e iones de carbono). *Radiat Oncol*. 2017;12:193
- 24 Grewal AS, Li Y, Fisher MJ, et al. Tumor bed proton irradiation in young children with localized medulloblastoma (Irradiación con protones del lecho tumoral en niños pequeños con meduloblastoma localizado). *Pediatr Blood Cancer*. 2019;66(12):e27972.
- 25 Kennedy WR, Dagan R, Rotondo RL, et al. Proton therapy for pituitary adenoma (Terapia de protones para el adenoma pituitario). *Applied Radiat Oncol*. 2015;4(1):22-7.
- 26 Wattson DA, Tanguturi SK, Spiegel DY, et al. Outcomes of proton therapy for patients with functional pituitary adenomas (Resultados de la terapia de protones en pacientes con adenomas pituitarios funcionales). *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2014;90(3):532-9.

- 27 Imber BS, Neal B, Casey DL, et al. Clinical outcomes of recurrent intracranial meningiomas treated with proton beam reirradiation (Resultados clínicos de los meningiomas intracraneales recurrentes tratados con reirradiación por haz de protones). *Int J Part Ther.* 2019;5(4):11-22.
- 28 Eaton BR, Chowdhry V, Weaver K, et al. Use of proton therapy for re-irradiation in pediatric intracranial ependymoma (Uso de la terapia de protones para la reirradiación de ependimomas intracraneales infantiles). *Radiother Oncol.* 2015;116(2):301-8.
- 29 Weber DC, Chan AW, Bussiere MR, et al. Proton beam radiosurgery for vestibular schwannoma: tumor control and cranial nerve toxicity (Radiocirugía con haz de protones para el schwannoma vestibular: control tumoral y toxicidad en los nervios craneales). *Neurosurgery.* 2003;53(3):577-86.
- 30 Zhu S, Rotondo R, Mendenhall WM, et al. Long-term outcomes of fractionated stereotactic proton therapy for vestibular schwannoma: A case series (Resultados a largo plazo de la terapia de protones estereotáctica fraccionada para el schwannoma vestibular: estudio de serie de casos). *Int J Part Ther.* 2018;4(4):37-46.
- 31 Ares C, Albertini F, Frei-Welte M, et al. Pencil beam scanning proton therapy for pediatric intracranial ependymoma (Terapia de protones con barrido de haz de lápiz para el ependimoma intracraneal infantil). *J Neurooncol.* 2016;128(1):137-45.
- 32 Badiyan SN, Ulmer S, Ahlhelm FJ, et al. Clinical and radiologic outcomes in adults and children treated with pencil-beam scanning proton therapy for low-grade glioma (Resultados clínicos y radiológicos en adultos y niños tratados con terapia de protones con barrido de haz de lápiz para glioma de bajo grado). *Int J Part Ther.* 2017;3(4):450-60.
- 33 Weber DC, Ares C, Malyapa R, et al. Tumor control and QoL outcomes of very young children with atypical teratoid/rhabdoid tumor treated with focal only chemo radiation therapy using pencil beam scanning proton therapy (Control tumoral y resultados de calidad de vida en niños muy pequeños con tumores teratoides/rabdoides atípicos tratados con quimiorradioterapia focal única mediante terapia de protones con barrido de haz en lápiz). *J Neurooncol.* 2015;121(2):389-97.
- 34 Mitin T. (2019). Radiation therapy techniques in cancer treatment (Técnicas de radioterapia en el tratamiento del cáncer). In SR Vora (Ed.), actualizado. Obtenido de [https://www.uptodate.com/contents/radiation-therapy-techniques-in-cancer-treatment?search=proton%20therapy&source=search\\_result&selectedTitle=1~150&usage\\_type=default&display\\_rank=1](https://www.uptodate.com/contents/radiation-therapy-techniques-in-cancer-treatment?search=proton%20therapy&source=search_result&selectedTitle=1~150&usage_type=default&display_rank=1) (Consultado el 23-04-20)
- 35 Lau C, Teo WY. (2019). Overview of the management of central nervous system tumors in children (Descripción general del tratamiento de tumores del sistema nervioso central en niños). In C Armsby (Ed.), actualizado. Obtenido de [https://www.uptodate.com/contents/overview-of-the-management-of-central-nervous-system-tumors-in-children?search=proton%20therapy&source=search\\_result&selectedTitle=2~150&usage\\_type=default&display\\_rank=2](https://www.uptodate.com/contents/overview-of-the-management-of-central-nervous-system-tumors-in-children?search=proton%20therapy&source=search_result&selectedTitle=2~150&usage_type=default&display_rank=2) (Consultado el 23-04-20)
- 36 Delaney TF. Proton therapy in the clinic (Terapia de protones en la clínica). *Front Radiat Ther Oncol.* 2011;43:465-85.
- 37 Miralbell R, Lomax A, Cella L, et al. Potential reduction of the incidence of radiation-induced second cancers by using proton beams in the treatment of pediatric tumors (Reducción potencial de la incidencia de segundos cánceres inducidos por radiación mediante el uso de haces de protones en el tratamiento de tumores pediátricos). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2002;54(3):824-9.
- 38 Xiang MH, Chang DT, Pollom EL, et al. Risk of subsequent cancer diagnosis in patients treated with 3D conformal, intensity modulated, or proton beam radiation therapy (Riesgo de diagnóstico posterior de cáncer en pacientes tratados con radioterapia conformada tridimensional, de intensidad modulada o con haz de protones). *J Clin Oncol.* 2019;37(15)suppl. 1503.
- 39 Chung CS, Yock TI, Nelson K, et al. Incidence of second malignancies among patients treated with proton versus photon radiation (Incidencia de segundas neoplasias malignas entre pacientes tratados con radiación de protones versus radiación de fotones). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2013;87(1):46-52.
- 40 Bekelman J, Denicoff A, Buchsbaum J. Randomized trials of proton therapy: Why they are at risk, proposed solutions, and implications for evaluating advanced technologies to diagnose and treat cancer (Ensayos aleatorios de terapia de protones: por qué están en riesgo, soluciones propuestas e implicaciones para la evaluación de tecnologías avanzadas para diagnosticar y tratar el cáncer). *J Clin Oncol.* 2018;36(24):2461-4.
- 41 Gross JP, Powell S, Zelko F, et al. Improved neuropsychological outcomes following proton therapy relative to x-ray therapy for pediatric brain tumor patients (Resultados neuropsicológicos mejorados tras la terapia de protones en comparación con la terapia de rayos X en pacientes pediátricos con tumores cerebrales). *Neuro-Oncol.* 2019;21(7):934-43.
- 42 Antonini TN, Ris MD, Grosshans DR, et al. Attention, processing speed, and executive functioning in pediatric brain tumor survivors treated with proton beam radiation therapy (Atención, velocidad de procesamiento y funcionamiento ejecutivo en supervivientes de tumores cerebrales pediátricos tratados con radioterapia de haz de protones). *Radiother Oncol.* 2017;124(10):89-97.
- 43 Pulsifer MB, Sethi RV, Kuhlthau KA, et al. Early cognitive outcomes following proton radiation in pediatric patients with brain and CNS tumors (Resultados cognitivos tempranos tras la radiación de protones en pacientes pediátricos con tumores cerebrales y del sistema nervioso central). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015;93(2):400-7.
- 44 Kahalley LS, Peterson R, Ris MD, et al. Superior intellectual outcomes after proton radiotherapy compared with photon radiotherapy for pediatric medulloblastoma (Resultados intelectuales superiores tras la radioterapia de protones en comparación con la radioterapia de fotones para el medulloblastoma pediátrico). *J Clin Oncol* 2019;38:454-61.
- 45 National Association of Proton Therapy. 2020. <https://www.proton-therapy.org/science/> (Consultado el 23-04-20)
- 46 Dutz A, Agolli L, Butof R, et al. Neurocognitive function and quality of life after proton beam therapy for brain tumour patients (Función neurocognitiva y calidad de vida tras la terapia con haz de protones en pacientes con tumores cerebrales). *Radiother Oncol.* 2020;143:108-16.
- 47 Pulsifer MB, Duncanson H, Grieco J, et al. Cognitive and adaptive outcomes after proton radiation for pediatric patients with brain tumors (Resultados cognitivos y adaptativos tras la radiación de protones en pacientes pediátricos con tumores cerebrales). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2018;102(2):391-8.
- 48 Greenberger BA, Pulsifer MB, Ebb DH. Clinical outcomes and late endocrine, neurocognitive, and visual profiles of proton radiation for pediatric low-grade gliomas (Resultados clínicos y perfiles endocrinos, neurocognitivos y visuales tardíos de la radiación de protones para gliomas pediátricos de bajo grado). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2014;89(5):1060-8.

# AMERICAN BRAIN TUMOR ASSOCIATION

8550 W. Bryn Mawr Avenue, Suite 550

Chicago IL 60631

## **Para obtener más información:**

Sitio web: [abta.org](http://abta.org)

CareLine: 800-886-ABTA (2282)

Correo electrónico: [info@abta.org](mailto:info@abta.org)



**American  
Brain Tumor  
Association®**

*Providing and pursuing answers®*