

## Protonterapia, el rayo que no quema

En el corazón del Fermilab, el que fuera el mayor laboratorio de física de partículas del mundo, se encuentra una pieza singular. La talla, que se alza cerca de Chicago (Estados Unidos) con un diámetro de dos metros y un peso de ciento sesenta kilogramos<sup>1</sup>, imita una banda de Möbius. Construida con tarjetas de acero, la figura fue un regalo del primer director del centro, Robert R. Wilson. El físico dedicaba su tiempo libre a la escultura y estaba convencido de que tanto el diseño de estas piezas como el de los aceleradores de partículas debían impregnarse de arte<sup>2</sup>.



Ilustración 1.- Escultura de Wilson. Fuente: Fermilab

Se mire por donde se mire, la obra que alberga el Fermilab tiene una sola cara. Esta es una de las características de cualquier banda de Möbius, incluso de las que podríamos construir en nuestra propia casa de forma sencilla: tomando una tira de papel, antes de pegarla por los extremos formando un cilindro, se retuerce por un único lado aproximadamente ciento ochenta grados.

Así es como se crea una figura que, durante años, ha generado auténtica fascinación entre la comunidad científica. Pero la contribución de Robert R. Wilson no se limitó a esculpir dicha talla, sino que también logró enlazar la física de partículas con la medicina para idear otro aporte extraordinario. En efecto, el investigador sentó las bases de un nuevo tratamiento que también tuviera una sola cara, como la banda de Möbius: es decir, que presentase beneficios para combatir la enfermedad, aunque sin acarrear grandes efectos secundarios que resultaran perjudiciales.

En 1946, Robert R. Wilson fue el primero en proponer el uso de protones con fines médicos<sup>3</sup>, lo que hoy conocemos como protonterapia. La idea consistía en aprovechar las propiedades físicas de estas partículas para llevar a cabo una radioterapia más precisa. En la modalidad convencional, se administran altas dosis de radiación, aplicando fotones (rayos X o rayos gamma)<sup>4</sup>, con el objetivo de causar graves daños, que pueden llegar a ser letales, en el ADN de las células. De este modo, por ejemplo, es posible destruir células cancerosas o disminuir el tamaño de los tumores.

Sin embargo, la irradiación tradicional no afecta en exclusiva a las células malignas, sino que, en ocasiones, también se daña el tejido sano de alrededor. En consecuencia, la radioterapia

<sup>1</sup> Fermilab (1974). Möbius Band. Disponible en: [https://history.fnal.gov/historical/art\\_arch/mobius.html](https://history.fnal.gov/historical/art_arch/mobius.html) (último acceso: 22-09-2022)

<sup>2</sup> Root-Bernstein, R. (2009) ArtScience: the essential connection. *Leonardo*; 42(2): 163-164.

<sup>3</sup> Wilson, R.R. (1946) Radiological use of fast protons. *Radiology*; 47(5): 487-491.

<sup>4</sup> Grau, M. (2018) *La protonterapia en el tratamiento del cáncer. Actualización*. Barcelona: Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Agència de Qualitat i Avaluació Sanitàries de Catalunya. Departament de Salut. Generalitat de Catalunya (Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias).

convencional presenta efectos adversos indeseables, como cansancio, cambios en la piel o caída del pelo, por citar algunos ejemplos. Incluso, en el peor de los casos, se incrementa el riesgo de que el cáncer pueda volver a manifestarse a medio o largo plazo ya que, al causar daños en el ADN de las células sanas, también aumentan las probabilidades de que aparezcan de nuevo células malignas.

Lo que planteó Robert R. Wilson es que se aprovecharan en medicina las propiedades físicas de los protones para conseguir un tratamiento más ventajoso. Y es que, una vez que el haz entra en el cuerpo, la dosis de radiación que se

deposita es muy baja, mientras que alcanza su nivel máximo justo antes de detenerse<sup>5</sup>, al contrario de lo que ocurre en la radioterapia clásica. Esto hace que la mayor parte de energía se concentre en los últimos milímetros del recorrido, formando lo que se llama “pico de Bragg”.

Por tanto, la protonterapia logra aplicar sobre el paciente rayos que no *quemar* los tejidos sanos, sino que condensan su efecto letal sobre el tumor maligno. Así pues, se administra la radiación de protones de forma más precisa y localizada, distribuyendo mejor la dosis. Y, en consecuencia, el tratamiento nos devuelve una sola cara, como la banda de Möbius esculpida por Robert R. Wilson en el Fermilab ya que se reducen los daños sobre las regiones sanas del organismo y también disminuye la posibilidad de que se desarrollen tumores secundarios más adelante<sup>6</sup>.

En 1954, una década después de la propuesta hecha por Robert R. Wilson, se realizaron los primeros experimentos en Estados Unidos para tratar a pacientes con cáncer utilizando un haz de protones<sup>7</sup>, aunque sin aplicar la idea del pico de Bragg por varias dificultades técnicas. Poco después, el Institut Gustav Werner de Suecia, al que luego se sumarían diversos hospitales de Estados Unidos o Japón, fue el primero en incorporar este tratamiento, esta vez sí, aprovechando los postulados planteados originalmente por el físico y escultor<sup>8</sup>.

Sin embargo, la protonterapia ha tardado varias décadas en asentarse como una alternativa para luchar contra el cáncer. ¿El motivo? La complejidad técnica de estos dispositivos médicos, que se traduce a su vez en importantes costes económicos. Ello ha limitado la implantación de la

Figura 1. Picos de Bragg de protones e iones de carbono

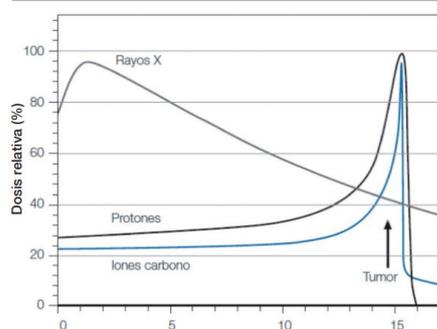


Ilustración 2.- Diferencias en los picos de Bragg. Fuente: AETS (2014).

<sup>5</sup> Solans, M.; Almazán, C.; Espinàs, J.A. (2014) *La protonterapia en el tratamiento del cáncer*. Barcelona: Agència de Qualitat i Avaluació Sanitàries de Catalunya.

<sup>6</sup> Arenas Prat, M.; Ferrer Albiach, C. (2021) *Libro blanco de la oncología radioterápica en España*. SEOR 2021. Madrid: Fundación Española de Oncología Radioterápica.

<sup>7</sup> Lawrence, J.H. (1957) Proton irradiation of the pituitary. *Cancer*; 10(4): 795-798.

<sup>8</sup> Elaimy, A.L. et al. (2021) “History and overview of proton therapy”. En Fitzgerald, T.J.; Bishop-Jodoin, M. (ed.) *Proton therapy*. IntechOpen.



Ilustración 3.- Equipo de gantry. Fuente: Children's Hospital of Philadelphia (2010).

radioterapia con protones: desde 1954 hasta 2021, se estima que casi trescientos mil pacientes en todo el mundo se han beneficiado de la técnica<sup>9</sup>.

A la hora de acelerar los protones, se pueden utilizar tanto ciclotrones como sincrotrones. Y, sea cual sea la fuente de aceleración, el dispositivo consta de un cabezal que rota, llamado “equipo de gantry”, mediante el cual se emite la radiación de manera giratoria. Esta disposición permite irradiar el cuerpo de los pacientes desde diferentes ángulos<sup>10</sup>, dirigiendo de forma precisa la radioterapia. No obstante, la técnica aún tiene limitaciones: por ejemplo, si no se realizan bien los cálculos, puede que el pico de Bragg tenga lugar fuera de la diana que se pretende tratar<sup>11</sup>, lo que supone un riesgo evidente al poder afectar a tejidos sanos que estén próximos.

Hoy en día, la protonterapia está indicada en personas adultas para tratar tumores oculares, tumores cercanos a la base del cráneo o aquellos situados en la columna vertebral/médula espinal. Además, también está indicada en población pediátrica, precisamente para evitar daños en tejidos sanos durante las etapas de crecimiento y minimizar el riesgo de que reaparezca el cáncer. Según la Sociedad Española de Oncología Radioterápica, se aconseja para aquellos tumores que se sitúen en el sistema nervioso central o próximos a órganos vitales, como el corazón y los pulmones<sup>12</sup>.

En España, se estima que medio millar de pacientes han podido ser tratados con protonterapia hasta 2021. La razón es que solo existen por el momento dos centros privados que ofrezcan esta posibilidad, el de Quirónsalud y el de la Clínica Universitaria de Navarra. No obstante, el Sistema Nacional de Salud pronto contará con esta opción terapéutica a nivel público dado que ya se ha confirmado la instalación de una decena de equipos en siete comunidades autónomas diferentes<sup>13</sup>. Así el viejo sueño de Robert R. Wilson de convertir un tratamiento en una auténtica banda de Möbius será una realidad más accesible en España para luchar contra el cáncer.

<sup>9</sup> Particle Therapy Co-Operative Group (2022). *Particle Therapy Patient Statistics (per end of 2021)*. Disponible en: [https://www.ptcog.ch/images/patientstatistics/Patientstatistics-updateDec2021\\_Sep62022\\_provisional.pdf](https://www.ptcog.ch/images/patientstatistics/Patientstatistics-updateDec2021_Sep62022_provisional.pdf) (último acceso: 25-09-2022)

<sup>10</sup> Lozares, S.; Mañeru, F.; Pellejero, S. (2009) Radioterapia con partículas pesadas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*; 32(Suppl.2): 85-95.

<sup>11</sup> Sociedad Andaluza de Radiofísica Hospitalaria (2021). *Libro blanco de la protonterapia*. Disponible en: <https://www.sarh.es/files/LibroBlancoProtonterapia/LibroBlancoProtonterapia.pdf> (último acceso: 15-09-2022)

<sup>12</sup> Sociedad Española de Oncología Radioterápica (2020). *Recomendaciones de la SEOR para la Protonterapia en España*. Disponible en: [https://seor.es/wp-content/uploads/2020/02/Recomendaciones\\_Protonterapia\\_Completo\\_DIGITAL.pdf](https://seor.es/wp-content/uploads/2020/02/Recomendaciones_Protonterapia_Completo_DIGITAL.pdf) (último acceso: 10-09-2022)

<sup>13</sup> Ministerio de Sanidad (2022). *El Gobierno autoriza la compra de 10 equipos de Protonterapia para el Sistema Nacional de Salud*. Disponible en: <https://www.sanidad.gob.es/gabinete/notasPrensa.do?id=5802> (último acceso: 25-09-2022)