

# ¿Están los haces de electrones infrautilizados en radioterapia externa?



## Damián Guirado Llorente

Radiofísico  
Unidad de Radiofísica del Hospital  
Universitario San Cecilio.  
Granada



## Juan Francisco Calvo Ortega

Radiofísico  
Departamento de Radioterapia del  
Hospital Quirón.  
Barcelona



## Rafael Arráns y de Lara

Radiofísico  
Servicio de Radiofísica del Hospital  
Virgen Macarena.  
Sevilla

Esta controversia nace gracias a una propuesta de Damián Guirado Llorente por las razones que él mismo apunta en la motivación. Damián ha actuado también como moderador y los dos participantes son Juan Francisco Calvo, que justifica el progresivo abandono de los haces de electrones en radioterapia y Rafael Arráns, a favor de un mayor uso de los haces de electrones en la práctica clínica.

Damián Guirado Llorente es Licenciado en Ciencias Físicas y Doctor por la Universidad de Granada, especialista en Radiofísica Hospitalaria. Trabaja en la Unidad de Radiofísica del Hospital Universitario San Cecilio de Granada. Ha sido miembro del Comité de Redacción y Director de la Revista de Física Médica. Ha desarrollado su trabajo fundamentalmente en las áreas de dosimetría en radioterapia y radiobiología.

Juan Francisco Calvo Ortega es Licenciado en Físicas por la Universidad de Granada. Es especialista en Radiofísica Hospitalaria habiendo realizado la residencia en el Hospital General Vall d'Hebron (1997-2000). Trabaja como Físico Adjunto en el Departamento de Radioterapia del Hospital Quirón Barcelona (desde el 2000 hasta la actualidad). Es experto en las técnicas de IMRT, IMRS, IGRT, SABR con equipamientos Varian y BrainLAB. Es autor de varias publicaciones en revistas de prestigio dentro del área.

Rafael Arráns y de Lara es licenciado en Físicas y Doctor por la Universidad de Sevilla. Se formó como especialista en el Rigshospitalet de Copenhague. En colaboración con el Hospital General de Valencia, fue el primero que implementó la técnica de la Radioterapia con Intensidad Modulada en España en 2001. En la actualidad es el responsable del Servicio de Radiofísica del Hospital Virgen Macarena de Sevilla.

## Motivación de la controversia

Los haces de electrones han sido muy importantes en radioterapia, pero su uso en la práctica clínica es cada vez menor. Salvo para técnicas que podemos calificar de especiales y, por tanto, empleadas en pocos centros, como la radioterapia intraoperatoria, los haces de electrones han sido sustituidos por haces de fotones en muchos casos. La capacidad de conformación de las nuevas técnicas en radioterapia y, tal vez, las dificultades

\* Pueden enviarse sugerencias sobre temas a debatir a la coordinadora de la sección: Margarita Chevalier  
Email: chevalier@med.ucm.es

para implementar tratamientos complejos de electrones que requieren, además, la fabricación de accesorios para administrarlos, han fomentado este desuso paulatino.

Por otra parte, el esfuerzo para la puesta en marcha y el control de calidad de los haces de electrones generados por aceleradores de uso clínico es importante. Aunque se usen poco, suponen una carga de trabajo sustancial en todos los centros en los que estos haces están disponibles.

Para centrar estas ideas y ganar concreción, a costa, claro, de una pérdida de generalidad, mostraré el ejemplo de lo que ha sucedido entre los años 2011 y 2015 en el hospital en que trabajo: el empleo de los haces de electrones, como tratamientos de base, ha supuesto el 1.6% de los tratamientos administrados; como tratamientos de sobreimpresión del lecho tumoral en cánceres de mama, donde han sido fundamentales en el pasado, han pasado del 30% en 2011 a menos del 4% en 2015. Por otra parte, y aunque disponemos de haces de electrones con 6 energías nominales de entre 6 y 21 MeV, desde 2011 no se han usado clínicamente los haces de 18 y 21 MeV; sin embargo, los procedimientos de control de calidad se han aplicado a todos los haces desde la puesta en uso clínico del acelerador que los produce.

Las consideraciones anteriores motivan esta controversia en la que participan:

## En contra de la propuesta

### Juan Francisco Calvo Ortega

#### Departamento de Radioterapia del Hospital Quirón Barcelona

Mi respuesta a esta pregunta es NO, es decir, en mi opinión, está actualmente justificado el abandono paulatino del empleo de los haces de electrones en la práctica clínica. A continuación argumento en favor de la sustitución (eliminación) de los haces de electrones por fotones en la práctica clínica, salvo para indicaciones que podemos calificar de especiales y para las que bastaría disponer de unos pocos centros de referencia donde aplicar terapia con electrones. Asimismo, justifico el abandono de los haces de electrones en favor de fotones en términos clínicos para la inmensa mayoría de las indicaciones.

Gracias al alcance práctico reducido en el depósito de la energía que los caracteriza, los haces de electrones producidos por aceleradores lineales médicos han sido utilizados tradicionalmente para tratar lesiones/tumores de la piel, así como tumores y ganglios linfáticos cercanos a la superficie del cuerpo.

En un contexto "histórico", la inmensa mayoría de los servicios de oncología radioterápica han usado los haces de electrones para la administración de la dosis de sobreimpresión en el tumor/lecho tumoral durante la radioterapia del cáncer de mama, y para el tratamiento de las cadenas ganglionares espinales en cáncer de cabeza y cuello. Un número más reducido de centros los han usado en tratamientos de piel, y son contados los hospitales donde su uso se ha extendido al tratamiento de la micosis fungoide mediante la técnica de irradiación total. Asimismo, sólo un número muy reducido de centros (siete en España, hasta donde yo

conozco) han venido realizando radioterapia intraoperatoria con haces de electrones.

En los últimos años, los avances tecnológicos en los aceleradores lineales, como la introducción de la técnica de intensidad modulada (IMRT), han producido una disminución del uso de los haces de electrones en muchos centros (por ejemplo, en el servicio donde trabajo), planteándose la posibilidad de eliminarlos de la práctica clínica, siempre dentro de determinadas circunstancias.

Un porcentaje importante de los tratamientos en los centros de oncología radioterápica lo constituye el cáncer de mama (un 25% en mi servicio, y un 20% en España según el *Libro Blanco* SEOR XXI). Tradicionalmente, la sobreimpresión en el lecho/tumor se ha planificado usando un haz directo de electrones. Distintos autores han realizado estudios dosimétricos comparando fotones frente a electrones para administrar dicha sobreimpresión. Kovacs et al.<sup>1</sup> encontraron diferencias significativas a favor del uso de fotones para los parámetros índice de conformación y cobertura dosimétrica del volumen blanco. Otros autores<sup>2</sup> han alertado que un haz directo de electrones puede no dosificar óptimamente (cubrir el 100% del volumen blanco clínico con al menos el 95% de la dosis de prescripción) lechos tumorales profundos (profundidad  $\geq 4$  cm), y que el uso de alta energía (16-20 MeV) para tratar de hacerlo, supone una sobredosis en los órganos de riesgo (piel, pulmón, corazón) respecto al uso de fotones. Por otro lado, el uso de electrones de alta energía incrementa significativamente el riesgo de fibrosis severa en la región del lecho tumoral, según los resultados del ensayo EORTC 22881-10882.<sup>3</sup>

En el caso de la radioterapia postmastectomía, algunos centros han tratado tradicionalmente la pared costal o las áreas ganglionares usando electrones (campos fijos o arcoterapia) o la combinación de electrones y fotones. Pierce et al.<sup>4</sup> concluyeron que una técnica

basada en haces tangenciales de fotones proporcionaba la mejor combinación de cobertura dosimétrica del volumen blanco y preservación de los órganos críticos, cuando la compararon con electrones. Actualmente, son muchos los centros que proponen la IMRT como técnica de elección para la irradiación de la pared costal.<sup>5-9</sup>

El tratamiento radioterápico usual del cáncer de mama sigue un esquema secuencial: primero, una fase donde se irradia la glándula mamaria (incluyendo o no las áreas ganglionares locoregionales), seguido de la fase de sobreimpresión sobre el lecho quirúrgico. Sin embargo, en los últimos años se está extendiendo el uso de la técnica SIB (*Simultaneous Integrated Boost*), en la que la dosis de sobreimpresión se administra simultáneamente junto con la dosis sobre la glándula durante las mismas sesiones de tratamiento, acortándose considerablemente la duración total del tratamiento<sup>10</sup> (por ejemplo, pasando de 35 sesiones con el esquema secuencial a 15 con el SIB). Wu et al.<sup>11</sup> describen que usar fotones es dosiméricamente superior a usar electrones para irradiar el lecho tumoral a la hora de realizar la técnica SIB.

En el tratamiento del cáncer de cabeza y cuello, tradicionalmente se usó la combinación de haces de fotones y electrones, estos últimos para irradiar las cadenas ganglionares cervicales posteriores. Es harto conocido el problema dosimétrico que supone la unión de campos fotones-electrones, que inevitablemente genera puntos calientes y fríos en los volúmenes blanco a tratar.<sup>12</sup> A este hecho se unía el problema de la aplicación sobre el paciente de los haces de electrones, con el aumento de la incertidumbre que suponía. En la era pre-IMRT, ya distintos estudios<sup>13,14</sup> propusieron técnicas de múltiples haces de fotones que eliminaban el uso de los haces de electrones. Evidentemente, con la llegada de la IMRT, se debe considerar no óptimo tratar el cáncer de cabeza y cuello usando electrones.<sup>15</sup>

La radioterapia de tumores/lesiones de piel se realiza bien con electrones o con fotones. Por ejemplo, la irradiación postquirúrgica de cicatrices queloides es un ejemplo de lesión benigna para la que mayoritariamente se usan fotones de 40-100 kV o braquiterapia de alta y baja tasa de dosis.<sup>16</sup> Últimamente se está proponiendo la llamada "braquiterapia electrónica" para el cáncer de piel.<sup>17</sup> Los dispositivos de braquiterapia electrónica se caracterizan por un diseño compacto y portátil que permite su uso en diferentes zonas e instalaciones, incluidas salas de tratamiento de menor dimensión donde no se podrían instalar equipos de mayor envergadura o el blindaje radiológico. Por tanto, para el caso de piel, es posible la sustitución de los electrones producidos por un acelerador lineal convencional por otras moda-

lidades de irradiación, evidentemente siempre que se cuente con la tecnología adecuada. Típicamente, los centros radioterápicos de referencia para tratamiento de cáncer de piel disponen de unidades de ortovoltaje o braquiterapia adecuadas para esta indicación.

La radioterapia intraoperatoria (RIO) es otra técnica donde se aplican tanto fotones como electrones. Históricamente, la radioterapia intraoperatoria se desarrolló utilizando haces de electrones (entre 4 y 20 MeV) generados por un acelerador convencional, lo que obligaba a disponer, además de aplicadores especiales, de una gran coordinación multidisciplinar: anestesistas, cirujanos, oncólogos radioterápicos, radiofísicos, técnicos, enfermeras y auxiliares. Sin embargo, a principio de los 90 se introdujeron en la práctica clínica aceleradores "en miniatura" (portátiles) tanto de fotones como de electrones, que pueden ser utilizados directamente en quirófano, evitando la movilización del paciente y facilitando considerablemente la administración del tratamiento. En los últimos años se ha extendido el uso de haces de fotones de kilovoltaje producidos por aceleradores portátiles para RIO del cáncer de mama, que es la indicación más frecuente dentro de los tratamientos intraoperatorios.<sup>18</sup> Destaca el ensayo aleatorizado TARGIT-A, usando fotones, con un reclutamiento de 1113 pacientes.<sup>19</sup> La tendencia actual se inclina a una disminución en el uso de electrones en aceleradores convencionales para la realización de RIO.

En el caso del tratamiento radioterápico de la micosis fungoide, la técnica se realiza con haces de electrones producidos por un acelerador convencional. Parece que esta indicación es la única donde se hace necesaria la disponibilidad de haces de electrones en un acelerador convencional. Evidentemente, sólo en un número marginal de centros (1 en toda Cataluña, por ejemplo) se realiza esta terapia, para una incidencia entre 0.4 y 0.6 por 100000 habitantes y año.<sup>20,21</sup>

Por último, para dar un "voto de confianza" a los electrones, existe en los últimos años un interés científico en la intensidad modulada de electrones (MERT). Sin embargo, todo lo publicado se basa en prototipos<sup>22,23</sup> y no existen en el mercado actualmente aceleradores disponibles con esa técnica.

En conclusión, en la gran mayoría de centros dotados con aceleradores multienergéticos, los haces de electrones pueden ser suprimidos de la práctica clínica, quedando su uso reducido para indicaciones muy determinadas (micosis fungoide y radioterapia intraoperatoria) que normalmente se practican en centros de referencia. La reducción de la carga de trabajo es considerable. Basta sólo pensar en las distintas pruebas de control de calidad del sistema monitor marcadas por nuestro real decreto 1566/1998, con periodicidad mensual para cada energía.

## A favor de la propuesta

**Rafael Arráns y de Lara**

### Servicio de Radiofísica del Hospital Virgen Macarena de Sevilla

Comenzaré mi argumentación planteando una pregunta: ¿cuál sería el panorama actual si la inversión en desarrollo tecnológico hubiera corrido paralela tanto para fotones como para electrones?

Si analizamos las prestaciones de los haces de fotones y de electrones hace solamente veinte años, éstas no eran tan abrumadoramente diferentes como en la actualidad. Sin embargo, durante los últimos años hemos visto que el “collapsed-cone”<sup>24,25</sup> se ha consolidado como motor de cálculo para todos los sistemas de planificación de tratamientos (TPS) en haces de fotones, con la indiscutible mejora en la precisión de la simulación en la distribución de dosis. En cambio, para electrones continuamos usando el antiguo modelo de “pencil beam”. Salvo algunos tímidos intentos de muy pocas casas comerciales de implementar una simulación Monte Carlo (MC) simplificada,<sup>26,27</sup> cuya exactitud exige una potencia de cálculo considerable,<sup>28</sup> la única mejora significativa en el cálculo de la distribución de un haz de electrones ha sido el paso de calcular en un plano único a poder visualizar el mapa de dosis en tres dimensiones.

Además, se han desarrollado comercialmente algoritmos de optimización de una complejidad y efectividad inimaginables hace tan solo diez años, aprovechando otro elemento clave: el colimador multiláminas (MLC), que ha introducido en la práctica clínica avanzadas técnicas automatizadas de conformación. En cambio, para los haces de electrones seguimos usando bloques cortados de forma personalizada para cada tratamiento, cuya utilización sigue siendo manual.

Pero como decía Fletcher, “there is no alternative treatment to electron beam therapy”. Y es que, desde el punto de vista de la física del transporte, los electrones, como cualquier partícula cargada, tienen características muy particulares que los hacen la herramienta más apropiada para determinadas situaciones. No podemos olvidar que los haces de fotones irradian todas las estructuras que se encuentran a su paso, a cualquier profundidad. Y aunque la IMRT ha mejorado de forma significativa la protección de los tejidos sanos, la irradiación de éstos es aún elevada. Por eso no es descabellado pensar en la utilización de haces de electrones, solos o en combinación con fotones, para el tratamiento de lesiones superficiales, entendiendo como tales las situadas a una profundidad menor de 5 o 6 cm.

Es evidente que, actualmente, la potencia y la flexibilidad que aportan los fotones son abrumadoramente mayores que las de los electrones. Pero, no obstante,

existen patologías en las que el uso de electrones no admite discusión. Sin ser exhaustivo citaré los linfomas cutáneos, los melanomas cutáneos intervenidos de bordes no adecuados y que no admiten reintervención o las metástasis en tránsito de melanomas, así como los basaliomas y los carcinomas escamosos de piel. Otro uso que no admite otra alternativa terapéutica que los haces de electrones es la micosis fungoide, aunque, y en este punto coincido con mi colega, dada su baja incidencia y los recursos humanos y materiales que consume, parece apropiado que la técnica se implemente únicamente en centros de referencia distribuidos estratégicamente según criterios geográficos y poblacionales.

Pero, como también cita mi colega muy acertadamente, existen unas incursiones muy prometedoras para hacer modulación con haces de electrones. Lo que se conoce como MERT (*Modulated Electron Radiotherapy*) no sólo permite variar la intensidad del haz. Por el contrario, lo que se optimiza en mayor medida es la energía,<sup>29-36</sup> de forma que para tumores superficiales que se extiendan a distintas profundidades, se construyen haces de electrones constituidos por segmentos de diferentes energías, lo cual incrementa significativamente la calidad de los tratamientos evitando la irradiación más allá del espesor necesario. En el caso particular de algunos tumores de mama y en tratamientos de pared costal, la estrategia de campos tangenciales y opuestos puede sustituirse, o al menos combinarse con haces perpendiculares a la piel, por lo que se minimiza el efecto inevitable del movimiento de la respiración. Su única consecuencia sería una leve variación de la distancia fuente-superficie, cuyo resultado sería una mínima variación en la deposición de dosis. En el caso de tumores superficiales de la esfera ORL, donde la respiración no representa un problema importante, la ventaja fundamental del uso de electrones modulados es su rango finito, que conlleva una mejor protección de tejidos distantes del blanco, evitando o minimizando la multi-incidencia de haces de fotones que irradiarían un área mucho más extensa.

No obstante, el problema para realizar esta tarea con precisión es evidente: ¿cómo se conforman los haces de electrones de forma operativa? ¿Cómo pueden evitarse los puntos calientes que pueden aparecer al colocar haces de electrones adyacentes?

La naturaleza de estas partículas hace que, conforme avanzan a través de cualquier medio material, aumente la anchura de la distribución angular y disminuya la energía media, lo que conlleva una “difuminación” de la conformación inicial, mayor mientras mayor sea la distancia al paciente. Ha habido varias propuestas para reducir este efecto. Algunas sugerían el uso de campos magnéticos que reducirían la dispersión del haz.<sup>31,37</sup> Otras estudiaban el efecto de rellenar con helio (de menor densidad que el aire) la trayectoria hasta el

paciente,<sup>35,38</sup> minimizando la dispersión y consiguiendo mejores conformaciones. También se ha sugerido colocar un segundo MLC específico<sup>29,32,39-41</sup> en el extremo de un aplicador de electrones. No obstante, el método que presenta mejores perspectivas consiste en emplear el propio MLC de fotones para llevar a cabo la conformación de los haces de electrones<sup>36,42</sup> lo cual, si bien tiene la ventaja de no necesitar el desarrollo de ningún aparataje adicional, obliga a disminuir la distancia de la fuente al paciente tanto como sea posible. Esta opción, además de automatizar la conformación de los haces de electrones, tiene la ventaja añadida de permitir el uso combinado de fotones y electrones<sup>43</sup> lo cual, para determinadas situaciones en tumores de mama o en la esfera ORL, permite obtener distribuciones de dosis superiores a las de los tratamientos exclusivos de fotones, incluso cuando se comparan con las obtenidas a partir de técnicas sofisticadas como la IMRT o con dispositivos específicamente diseñados como el "Mammosite".<sup>44,45</sup> No obstante, esta estrategia no está exenta de complicaciones. Desde el punto de vista de la planificación, no existe ningún TPS comercial que permita el uso del MLC para electrones. Por ello, para abordar con garantías este problema, hay que acudir al método MC y desarrollar herramientas específicas de las que podría beneficiarse también la terapia con fotones, por ejemplo en la SBRT de pulmón. No obstante, la potencia de cálculo actual permite un uso abordable de MC para la segmentación, la optimización y el cálculo de los haces de electrones usados en MERT. Además, como el número de incidencias al usar haces de electrones es mucho menor que en el caso de fotones, los criterios de optimización son, habitualmente, mucho más fáciles de conseguir, con lo cual pueden emplearse eficazmente técnicas de

programación lineal, mucho más rápidas que las que usan los algoritmos de fotones, lo cual hace viable los algoritmos basados en MC.

Es indudable que el uso de la irradiación corporal total con electrones (TSER) para el tratamiento de la micosis fungoide no puede ser sustituida por ninguna técnica alternativa que emplee exclusivamente haces de fotones.

Asimismo, existen varias patologías que, aunque no presenten una incidencia superior al 2-3% del total de pacientes tratados, suponen un número de casos al año suficiente como para justificar el disponer de haces de electrones calibrados y listos para usar, al menos en un centro de cada provincia.

Respecto al resto de los tratamientos de tumores superficiales, la contribución de los haces de electrones no debería ser en absoluto desdeñable y, pese a que su uso generalizado está aún condicionado por una inversión en investigación y desarrollo que los haga más potentes y versátiles, puede suponer un valor añadido a multitud de situaciones en la práctica clínica.

Si añadimos que el coste de una energía de electrones supone únicamente unos 2000€ adicionales al precio de un acelerador, que ronda los 2M€, la única (aunque no desdeñable) inversión que habría que añadir a la adquisición sería el tiempo necesario para su modelización. Pero si contáramos con una mayor inversión y desarrollo para electrones (un dato esperanzador es el *workshop* monográfico de electrones modulados en ESTRO-2016), es más que previsible que se rentabilizara clínicamente con creces.

Así pues, ¿por qué renunciar a algo que ya tenemos si puede resultar útil?

"There is no reason for giving any dose outside target volumes" (H.D. Suit)

## Bibliografía

1. Kovacs A, Hadjiev J, Lakosi F, Glavak C, Antal G, Bogner P, et al. Comparison of photon with electron boost in treatment of early stage breast cancer. *Pathol Oncol Res* 2008;14:193-7.
2. Toscas JI, Linero D, Rubio I, Hidalgo A, Arnalte R, Escudé L, et al. Boosting the tumor bed from deep-seated tumors in early-stage breast cancer: a planning study between electron, photon, and proton beams. *Radiother Oncol* 2010;96:192-8.
3. Bartelink H, Horiot JC, Poortmans PM, Struikmans H, Van den Bogaert W, Fourquet A, et al. Impact of a higher radiation dose on local control and survival in breast-conserving therapy of early breast cancer: 10-year results of the randomized boost versus no boost EORTC 22881-10882 trial. *J Clin Oncol* 2007;25:3259-65.
4. Pierce LJ, Butler JB, Martel MK, Normolle DP, Koelling T, Marsh RB, et al. Postmastectomy radiotherapy of the chest wall: dosimetric comparison of common techniques. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002;52:1220-30.
5. Yang B, Wei XD, Zhao YT, Ma CM. Dosimetric evaluation of integrated IMRT treatment of the chest wall and supraclavicular region for breast cancer after modified radical mastectomy. *Med Dosim* 2014;39:185-9.
6. Ma J, Li J, Xie J, Chen J, Zhu C, Caiet G, et al. Post mastectomy linac IMRT irradiation of chest wall and regional nodes: dosimetry data and acute toxicities. *Radiat Oncol* 2013;8:81.
7. Opp D, Forster K, Li W, Zhang G, Harris EE. Evaluation of bolus electron conformal therapy compared with conventional techniques for the treatment of left chest wall postmastectomy in patients with breast cancer. *Med Dosim* 2013;38:448-53.

8. Jimenez RB, Goma C, Nyamwanda J, Kooy HM, Halabi T, Napolitano BN, et al. Intensity modulated proton therapy for postmastectomy radiation of bilateral implant reconstructed breasts: a treatment planning study. *Radiother Oncol* 2013;107:213-7.
9. Koutcher L, Ballangrud A, Cordeiro PG, McCormick B, Hunt M, Van Zee KJ, et al. Postmastectomy intensity modulated radiation therapy following immediate expander-implant reconstruction. *Radiother Oncol* 2010;94:319-23.
10. Guerrero M, Li XA, Earl MA, Sarfaraz M, Kiggundu E. Simultaneous integrated boost for breast cancer using IMRT: a radiobiological and treatment planning study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004;59:1513-22.
11. Wu S, Lai Y, He Z, Zhou Y, Chen S, Dai M, et al. Dosimetric comparison of the simultaneous integrated boost in whole-breast irradiation after breast-conserving surgery: IMRT, IMRT plus an electron boost and VMAT. *PLoS One* 2015;10:e0120811.
12. Khan, F. *The physics of radiation therapy*. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1984.
13. Fogliata A, Cozzi L, Bieri S, Bernier J. Critical appraisal of a conformal head and neck cancer irradiation avoiding electron beams and field matching. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;45:1331-8.
14. Wiggeraad R, Mast M, van Santvoort J, Hoogendoorn M, Struikmans H. ConPas: a 3-D conformal parotid gland-sparing irradiation technique for bilateral neck treatment as an alternative to IMRT. *Strahlenther Onkol* 2005;181:673-82.
15. Beadle BM, Liao KP, Elting LS, Buchholz TA, Ang KK, Garden AS, et al. Improved survival using intensity-modulated radiation therapy in head and neck cancers: a SEER-Medicare analysis. *Cancer* 2014;120:702-10.
16. Kal HB, Veen RE. Biologically effective doses of postoperative radiotherapy in the prevention of keloids. Dose-effect relationship. *Strahlenther Onkol* 2005;181:717-23.
17. Doggett S, Willoughby M, Willoughby C, Mafong E, Han A. Incorporation of Electronic Brachytherapy for Skin Cancer into a Community Dermatology Practice. *J Clin Aesthet Dermatol* 2015;8:28-32.
18. Krengli M, Calvo FA, Sedlmayer F, Sole CV, Fastner G, Alessandro M, et al. Clinical and technical characteristics of intraoperative radiotherapy. Analysis of the ISIORT-Europe database. *Strahlenther Onkol* 2013;189:729-37.
19. Vaidya JS, Joseph DJ, Tobias JS, Bulsara M, Wenz F, Saunders C, et al. Targeted intraoperative radiotherapy versus whole breast radiotherapy for breast cancer (TARGIT-A trial): an international, prospective, randomised, non-inferiority phase 3 trial. *Lancet* 2010;376:91-102.
20. Marcos-Gragera R, Vilardell L, Izquierdo A, Masuet C, Gardella S, Bernado L, et al. Incidencia poblacional de las neoplasias linfoides según el subtipo histológico (Clasificación de la OMS) en Girona, 1994-2001. *Med Clin (Barc)* 2006;126:5-12.
21. Weinstock MA, Gardstein B. Twenty-year trends in the reported incidence of mycosis fungoides and associated mortality. *Am J Public Health* 1999;89:1240-4.
22. Connell T, Alexander A, Papaconstadopoulos P, Serban M, Devic S, Seuntjens J. Delivery validation of an automated modulated electron radiotherapy plan. *Med Phys* 2014;41:061715.
23. Henzen D, Manser P, Frei D, Volken W, Neuenschwander H, Born EJ, et al. Beamlet based direct aperture optimization for MERT using a photon MLC. *Med Phys* 2014;41:121711.
24. Mackie TR, Scrimger JW, Battista JJ. A convolution method of calculating dose for 15-MV x rays. *Med Phys* 1985;12:188-96.
25. Ahnesjö A. Collapsed cone convolution of radiant energy for photon dose calculation in heterogeneous media. *Med Phys* 1989;16:577-92.
26. Treutwein M, Bogner L. Electron fields in clinical application. A comparison of pencil beam and Monte Carlo algorithm. *Strahlenther Onkol* 2007;183:454-8.
27. Edimo P, Clermont C, Kwato MG, Vynckier S. Evaluation of a commercial VMC++ Monte Carlo based treatment planning system for electron beams using EGSnrc/BEAMnrc simulations and measurements. *Phys Med* 2008;25:111-21.
28. Popple RA, Weinber R, Antolak JA, Ye SJ, Pareek PN, Duan J, et al. Comprehensive evaluation of a commercial macro Monte Carlo electron dose calculation implementation using a standard verification data set. *Med Phys* 2006;33:1540-51.
29. Ravindran BP, Singh IR, Brindha S, Sathyan S. Manual multileaf collimator for electron beamshaping-a feasibility study. *Phys Med Biol* 2002;47:4389-96.
30. Ma CM, Ding M, Li JS, Lee MC, Pawlicki T, Deng J. A comparative dosimetric study on tangential photon beams, intensity-modulated radiation therapy (IMRT) and modulated electron radiotherapy (MERT) for breast cancer treatment. *Phys Med Biol* 2003;48:909-24.
31. Nardi E, Barnea G, Ma CM. Electron beam therapy with coil-generated magnetic fields. *Med Phys* 2004;31:1494-503.
32. Al-Yahya K, Hristov D, Verhaegen F, Seuntjens J. Monte Carlo based modulated electron beam treatment planning using a few-leaf electron collimator-feasibility study. *Phys Med Biol* 2005;50:847-57.
33. Chen Y, Bielajew AF, Litzenberg DW, Moran JM, Becchetti FD. Magnetic confinement of electron and photon radiotherapy dose: A Monte Carlo simulation with a nonuniform longitudinal magnetic field. *Med Phys* 2005;32:3810-8.
34. Olofsson L, Karlsson MG, Karlsson M. Effects on electron beam penumbra using the photon MLC to reduce bremsstrahlung leakage for an add-on electron MLC. *Phys Med Biol* 2005;50:1191-203.
35. Olofsson L, Karlsson MG, Karlsson M. Photon and electron collimator effects on electron output and abutting segments in energy modulated electron therapy. *Med Phys* 2005;32:3178-84.
36. du Plessis FC, Leal A, Stathakis S, Xiong W, Ma CM. Characterization of megavoltage electron beams delivered through a photon multi-leaf collimator (pMLC). *Phys Med Biol* 2006;51:2113-29.
37. Litzenberg DW, Fraass BA, McShan DL, O'Donnell TW, Roberts DA, Becchetti FD, et al. An apparatus for applying strong longitudinal magnetic fields to clinical photon and electron beams. *Phys Med Biol* 2001;46:N105-15.
38. Lee MC, Jiang SB, Ma CM. Monte Carlo and experimental investigations of multileaf collimated electron beams for modulated electron radiation therapy. *Med Phys* 2000;27:2708-18.

39. Ma CM, Pawlicki T, Lee MC, Jiang SB, Li JS, Deng J, et al. Energy-and intensity-modulated electron beams for radiotherapy. *Phys Med Biol* 2000;45:2293-311.
40. Hogstrom KR, Boyd RA, Antolak JA, Svatos MM, Faddegon BA, Rosenman JG. Dosimetry of a prototype retractable eMLC for fixed-beam electron therapy. *Med Phys* 2004;31:443-62.
41. Klein EE. Modulated electron beams using multi-segmented multileaf collimation. *Radiother Oncol* 1998;48:307-11.
42. Salguero FJ, Palma B, Arrans R, Rosello J, Leal A. Modulated electron radiotherapy treatment planning using a photon multileaf collimator for post-mastectomized chest walls. *Radiother Oncol* 2009;93:625-32.
43. Leal A, Ma C, du Plessis F, Lagares J, Li J, Quin L, et al. Energy and intensity modulated electron radiation therapy using a Monte Carlo optimization procedure. *Med Phys* 2005;32:2070.
44. Palma BA, Ureba A, Salguero FJ, Arrans R, Míguez C, Walls A, et al. Combined modulated electron and photon beams planned by a Monte-Carlo-based optimization procedure for accelerated partial breast irradiation. *Phys Med Biol* 2012;57:1191-202.
45. Salguero FJ, Arrans R, Palma B, Leal A. Intensity- and energy-modulated electron radiotherapy by means of an xMLC for head and neck shallow tumors. *Phys Med Biol* 2010;55:1413-27.



## En Radioterapia, un buen ojo clínico no es suficiente

El tratamiento oncológico radioterápico idóneo es aquel que controla y localiza el tumor y delimita las zonas donde aplicar la radiación. Se requiere una imagen nítida y clara, que reduzca al mínimo el margen de error de la planificación de la radioterapia.

El nuevo Capsula XL, fruto de la amplia experiencia de Fujifilm en la adquisición de imágenes, le garantiza una calidad y nitidez excelentes con las cuales podrá mejorar sus pruebas de centrado y posicionamiento y asegurar un seguimiento más preciso de la evolución del cáncer.

