



**Diego García Pinto\***

**José Luis Contreras González\*\***



Comité de Redacción.

En este número iniciamos una nueva sección dedicada a las reseñas de tesis doctorales, que esperamos que tenga continuidad en los siguientes. Nuestro objetivo es manteneros al día sobre las tesis que se defienden en España cada año en el campo de la Física Médica. Creemos que el nivel de la investigación en Física Médica en España aumenta a un ritmo importante y esta iniciativa es otra forma de hacernos consciente de ella. Esperamos así contribuir a estrechar la relación entre los distintos ámbitos de la especialidad: hospitales, universidad y empresas, facilitando que se conozcan mejor. Es también una forma de conocer de forma directa quiénes son los que están contribuyendo, muchas veces en las primeras etapas de sus carreras. Por último deseamos que anime a físicos que trabajan en hospitales o empresas a dar el paso para embarcarse en una tesis.

En cada número pretendemos incluir aquellas tesis que se han defendido en universidades españolas en los meses anteriores, con el retraso inevitable derivado de la periodicidad de la revista y el proceso de preparación del material. Hemos usado como fuente de información la base de datos TESEO del Ministerio de Educación, donde se deberían registrar todas las tesis que se defienden en España, seleccionando aquellas que incluyen entre sus palabras claves el término “Física Médica” (código de la clasificación de la UNESCO 240606). Somos conscientes de que en algunos casos no se suben los datos al TESEO, si fuera el caso os animamos a actualizarlo, porque es un recurso de una utilidad enorme, y añadir la clave “Física Médica”. Una inspección rápida nos ha mostrado que cada año se presentan entre 10 y 20 tesis del campo, por lo que creemos que es factible reseñarlas todas.

Para este primer número hemos empezado con aquellas leídas a partir de la segunda mitad del año pasado, 2017. Nos hemos puesto en contacto con autores y directores, e incluido aquellas tesis para las que hemos recibido respuesta. De entrada, nos disculpamos si en algún caso el proceso ha fallado porque no hemos dado con la dirección de correo adecuada y agradecemos todas las respuestas recibidas.

Esto es un primer paso, seguro que muy mejorable, y estamos abiertos a todas vuestros sugerencias y críticas, tanto sobre el contenido como sobre el método.

\* Facultad de Medicina, UCM, (garcia.pinto@med.ucm.es)

\*\* Facultad de Ciencias Físicas, UCM (jlcontreras@fis.ucm.es)



## Development of high resolution and efficiency detectors based on Silicon Photomultipliers (SiPMs) and continuous crystals for medical physics applications

**Autor:** John Barrio Toala

**Directores:** Gabriela Llosá Llácer y Carlos Lacasta Llácer

Lectura: 19 de junio de 2017. Universidad de Valencia.

<http://roderic.uv.es/handle/10550/59131>

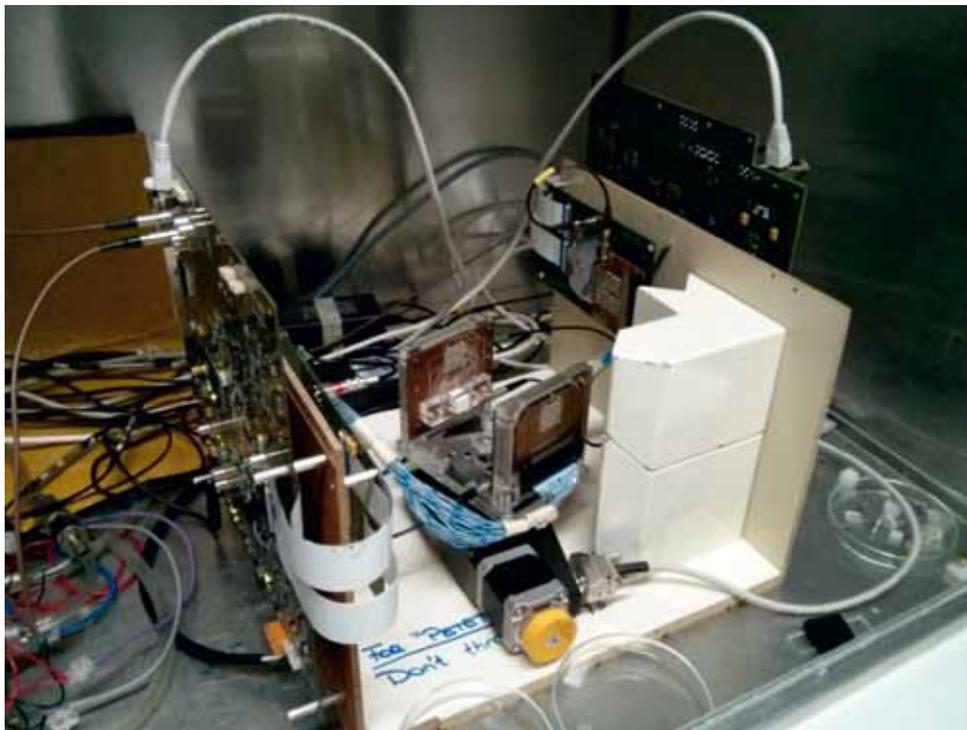
El trabajo presentado en esta tesis introduce y evalúa dos aspectos novedosos en los detectores de rayos gamma para imagen médica: el uso de fotomultiplicadores de silicio (SiPMs, en inglés) acoplados a cristales centelleadores continuos.

Tradicionalmente, los tubos fotomultiplicadores (PMTs, en inglés) acoplados a cristales centelleadores han jugado un papel dominante en la detección de rayos gamma. En los últimos años ha aparecido un nuevo tipo de fotodetector de estado sólido, el SiPM, como opción para sustituir a los PMTs en ciertas aplicaciones. Los SiPMs tienen una ganancia y una eficiencia cuántica altas, un voltaje de operación bajo y unas propiedades temporales excelentes. Además, son dispositivos muy compactos e insensibles a los campos magnéticos. Estas propiedades hacen de los SiPMs un

excelente candidato para usarlos en aplicaciones de física médica.

Normalmente, la detección de los rayos gamma se lleva a cabo utilizando detectores basados en cristales centelleadores pixelados acoplados a un fotodetector segmentado, porque ofrecen una manera sencilla de identificar el lugar donde ha tenido lugar la interacción. Sin embargo, en esta configuración la mejora de la resolución espacial implica la reducción de la sensibilidad, y al revés. El uso de cristales centelleadores continuos acoplados a SiPMs podría aumentar la resolución espacial y la sensibilidad al mismo tiempo, además de reducir el coste del bloque detector.

El trabajo presentado se desarrolló en el grupo IRIS (Image Reconstruction, Instrumentation and Simulations for medical applications) del IFIC-Valencia.



**Fig. 1.** Fotografía del prototipo experimental del PET para animales pequeños desarrollado en el IFIC-Valencia.

Se inició cuando el uso de los SiPMs estaba empezando y llevó a desarrollos importantes. En esta tesis, se han probado diferentes tipos de cristales centelleadores continuos acoplados a SiPMs de varios fabricantes para demostrar la viabilidad de esta tecnología en el desarrollo de nuevos conceptos de detector y aplicaciones en física médica. La mayor parte de la tesis trata el desarrollo de un prototipo PET para animales pequeños basado en cristales centelleadores continuos de LYSO y SiPMs. Además, también se presentan las primeras pruebas de un telescopio Compton basado en SiPMs

y cristales centelleadores continuos de  $\text{LaBr}_3$  para la monitorización del tratamiento en terapia hadrónica.

El desarrollo de esta tesis ha sido esencial para evaluar tecnologías y conceptos de detector que estaban siendo investigados por un reducido número de grupos de investigación en ese momento y que ahora ha despertado un interés creciente en el campo con la contribución aquí expuesta. Los resultados obtenidos en este trabajo han dado un soporte experimental muy fuerte a las líneas de investigación del grupo IRIS y llevarán a nuevos desarrollos y mejoras en esas líneas en el futuro.



## Performance Enhancement of a Small Animal Positron Emission Tomograph based on Continuous Crystals and Silicon Photomultipliers

**Autora:** Ane Miren Etxebeste Barrena

**Directores:** Gabriela Llosá Llácer, José Francisco Oliver Guillén, José Bernabéu Alberola

Lectura: 14 de julio de 2017. Universidad de Valencia.

<http://roderic.uv.es/handle/10550/59463>

La tomografía por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés) es una técnica de Medicina Nuclear que permite obtener de manera no invasiva imágenes funcionales “*in vivo*”. Para ello se marca un compuesto orgánico con un emisor de positrones que se introduce de manera intravenosa en el paciente y es metabolizado. Los positrones emitidos se aniquilan con los electrones del cuerpo produciendo radiación que es detectada por el tomógrafo PET.

Para poder estimar con precisión la distribución del compuesto se requieren tomógrafos con alta resolución espacial y sensibilidad.

En esta tesis se ha investigado la mejora del rendimiento de un escáner PET para pequeños animales basado en el uso de cristales continuos acoplados a un fotodetector segmentado. En la figura 1 se muestra una imagen de la cabeza detectora basada en esta tecnología.

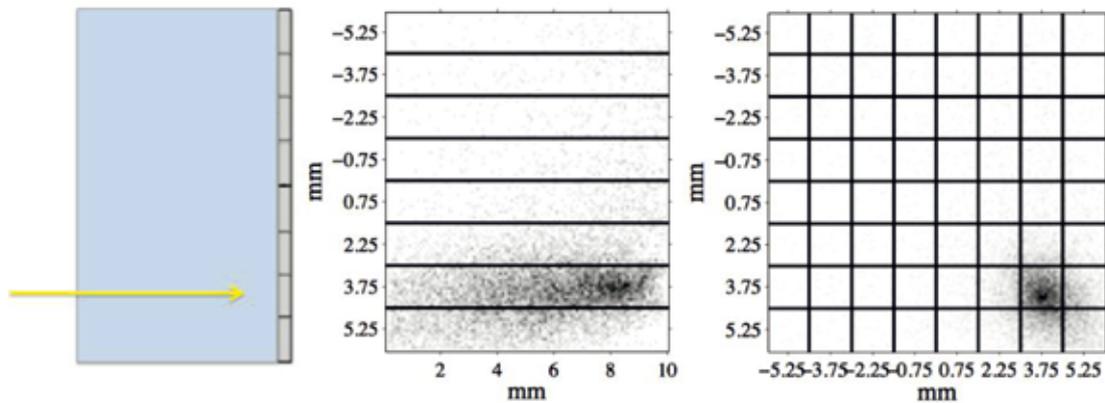
En comparación con los bloques pixelados más comúnmente utilizados en escáneres comerciales, estos detectores pueden ofrecer una mayor eficiencia y una alta resolución espacial. Una de las ventajas de los cristales continuos, además del aumento de sensibilidad, es que la resolución espacial intrínseca ya no está limitada al tamaño del cristal. A partir de la distribución de la luz en el cristal, aplicando algoritmos matemáticos se puede inferir la posición de



**Fig. 1.** Cristal centelleador continuo pintado de blanco acoplado a un SiPM.

interacción en las tres direcciones espaciales, incluida la profundidad de interacción (DOI, por sus siglas en inglés) con lo que se podría mejorar la resolución espacial del sistema.

En este estudio, se ha caracterizado experimentalmente la respuesta de una cabeza detectora basada en esta tecnología, aplicando para la determinación de la posición, un método basado en un modelo analítico de la distribución de luz en el cristal. En la figura 2 se



**Fig. 2.** De izquierda a derecha: esquema de la configuración del haz incidente en el cristal, proyecciones de la distribución de la estimación de las posiciones de interacción sobre los planos Y-Z y X-Y.

muestra la distribución de la estimación de las posiciones de interacción a través de sus proyecciones cuando la fuente está situada en un extremo del cristal. Con el objetivo de estudiar en mayor profundidad la respuesta del modelo bajo distintas configuraciones y geometrías, se han desarrollado simulaciones que han sido validadas con datos experimentales. Dichas simulaciones, también se han utilizado para evaluar la influencia de las reflexiones en las paredes del cristal en la distribución de luz detectada y adaptar el modelo para que se ajuste lo mejor posible a nuestro sistema.

Experimentalmente se ha logrado una alta resolución intrínseca espacial, en torno a 1 mm FWHM de media sobre la superficie del detector y de 2 mm FWHM para la DoI.

Una vez caracterizada la respuesta de la cabeza detectora, su capacidad para producir imágenes se ha puesto a prueba con resultados satisfactorios en un prototipo preliminar PET, basado en dos cabezas

detectoras que rotan en torno al objeto de estudio para tomar medidas tomográficas.

En la última parte del estudio, haciendo uso de las simulaciones validadas, se ha evaluado el aumento y mejora de la sensibilidad en la configuración de un anillo completo, incrementando la cobertura del ángulo sólido mediante la reducción de los espacios entre detectores contiguos. Para ello, se ha estudiado la respuesta de un escáner basado en cristales trapezoidales y se ha comparado con la respuesta de un escáner basado en cristales cuboides de las mismas dimensiones siguiendo el protocolo estandarizado NEMA. Los resultados han mostrado un aumento significativo de la sensibilidad y una recuperación más uniforme de regiones homogéneas debido a una disposición más compacta, para el caso del escáner basado en cristales trapezoidales. Por otro lado, se han obtenido valores de resolución espacial equivalentes para ambas configuraciones.



## Tomografía de coherència òptica *swept source* com a mètode de valoració de la coroides en les coroiditis estromals primàries

**Autor:** Olga García García

**Director:** Luis Arias Barquet

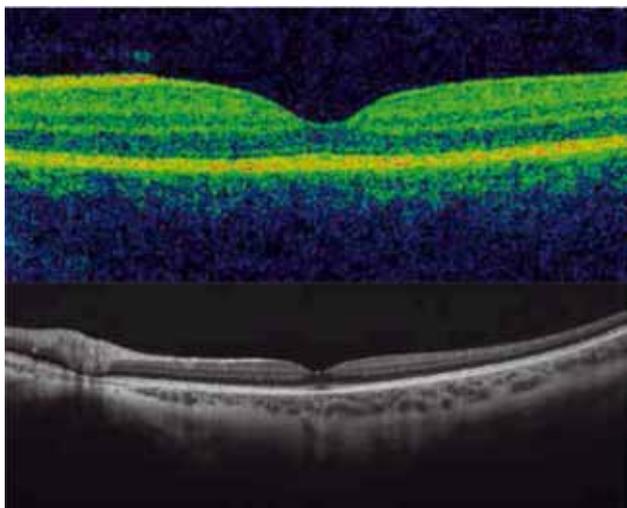
Lectura: 21 abril 2017. Universidad de Barcelona.

[http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/402940/OGG\\_TESI.pdf](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/402940/OGG_TESI.pdf)

Se denominan coroiditis estromales primarias aquellas inflamaciones de la capa vascular del globo ocular (coroides) cuyo origen es el tejido coroideo; es decir, la inflamación se ha dirigido directamente contra la coroi-

des, no es consecuencia de una inflamación de otro tejido (inflamación secundaria).

A diferencia de la tomografía de coherencia óptica de dominio espectral (SD-OCT) usada hasta la actuali-



**Fig. 1.** Superior: imagen obtenida con OCT de dominio espectral; solo se ven las capas de la retina. Inferior: *swept-source* OCT; mejor calidad de la retina e imagen de coroides y esclera no visibles con la OCT de dominio espectral.

dad, la tecnología “swept source” (SS-OCT) permite la exploración de la coroides gracias a su mayor poder de penetración; además, tiene la posibilidad de medir el grosor de la coroides de forma automatizada.

Se ha realizado un estudio prospectivo de 2 años de duración en un Hospital Universitario de cuarto nivel a todos los pacientes con coroiditis estromal primaria: síndrome de Vogt-Koyanagi-Harada (VKH) y corioretinitis en perdigonada (birdshot). Para ello, se han valorado las alteraciones cualitativas y cuantitativas mediante la nueva tecnología de tomografía de coherencia óptica “swept source”.

Hasta la fecha, la única manera de valorar la inflamación de la coroides era mediante una angiografía

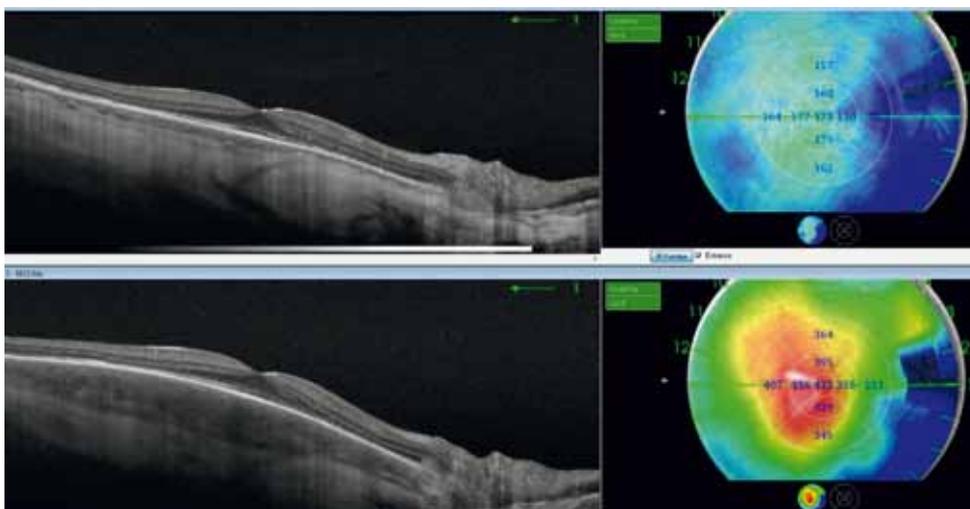
con verde de indocianina; técnica que requiere la inyección de un contraste, midriasis farmacológica de la pupila, una hora para su realización y es difícil de interpretar (componente subjetivo).

La SS-OCT, sin embargo, es una técnica incruenta, rápida (segundos), objetiva y cuantitativa.

Los resultados de este estudio han demostrado que la SS-OCT permite objetivar de forma cuantitativa (grosor coroideo en micras) el grado de inflamación de la coroides; de modo que, comparando dicho grosor con la medida de la visita anterior, se puede ver si el grosor va disminuyendo (respuesta al tratamiento) o bien si aumenta (en caso de recidiva de la enfermedad). El control evolutivo del grosor coroideo comparado con la agudeza visual y la presencia o ausencia de otros signos de inflamación intraocular ha permitido diagnosticar recidivas de coroiditis que sin haber realizado la SS-OCT no se hubieran diagnosticado (recidivas asintomáticas). En el caso del síndrome de VKH crónico se han diagnosticado un 41.6 % de recidivas asintomáticas en los pacientes que aún recibían tratamiento y un 25% de recidivas asintomáticas en los VKH que ya no requerían tratamiento.

### Conclusiones

1. La SS-OCT permite cuantificar de forma objetiva, rápida e incruenta los brotes de coroiditis en las coroiditis estromales primarias.
2. La medición automática del grosor coroideo es útil tanto para el diagnóstico de la recidiva como para la valoración de la respuesta al tratamiento.
3. El diagnóstico de inflamación coroidea mediante SS-OCT permite reducir la necesidad de técnicas con inyección de contraste (angiografía con verde de indocianina).



**Fig. 2.** Imagen de la SS-OCT en un paciente con VKH crónico con recidiva asintomática: imagen superior en un control con grosor coroideo de 173 micras e imagen inferior con aumento de dicho grosor (435 micras) en el siguiente control.



## Introducción de nuevos equipos e implementación de técnicas especiales aplicadas al tratamiento de lesiones de piel en radioterapia

**Autora:** Blanca Ibáñez Roselló

**Directores:** Joan Roselló Ferrando y José Pérez Calatayud

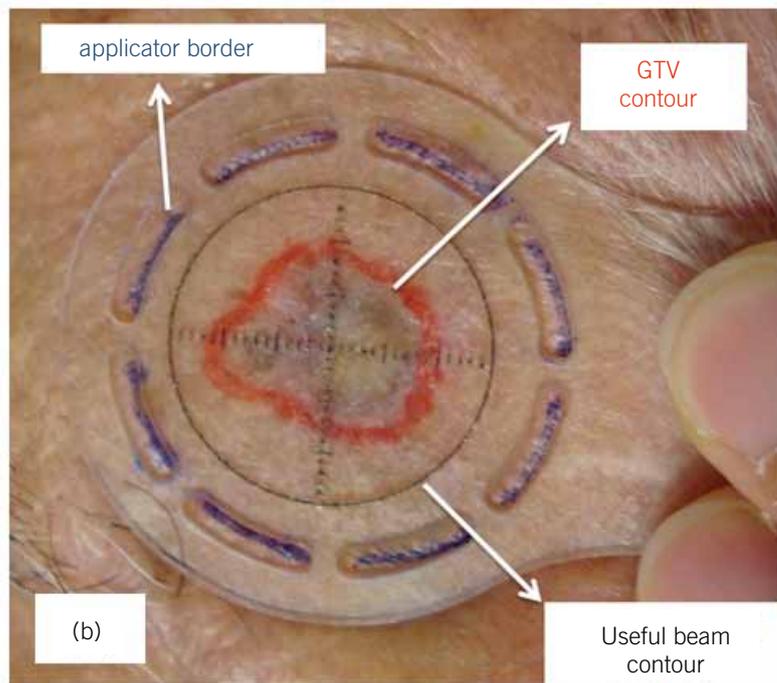
Lectura: 22 de Junio de 2017. Universidad de Valencia.

<http://roderic.uv.es/handle/10550/59169#.WsPdyDFBc3U.email>

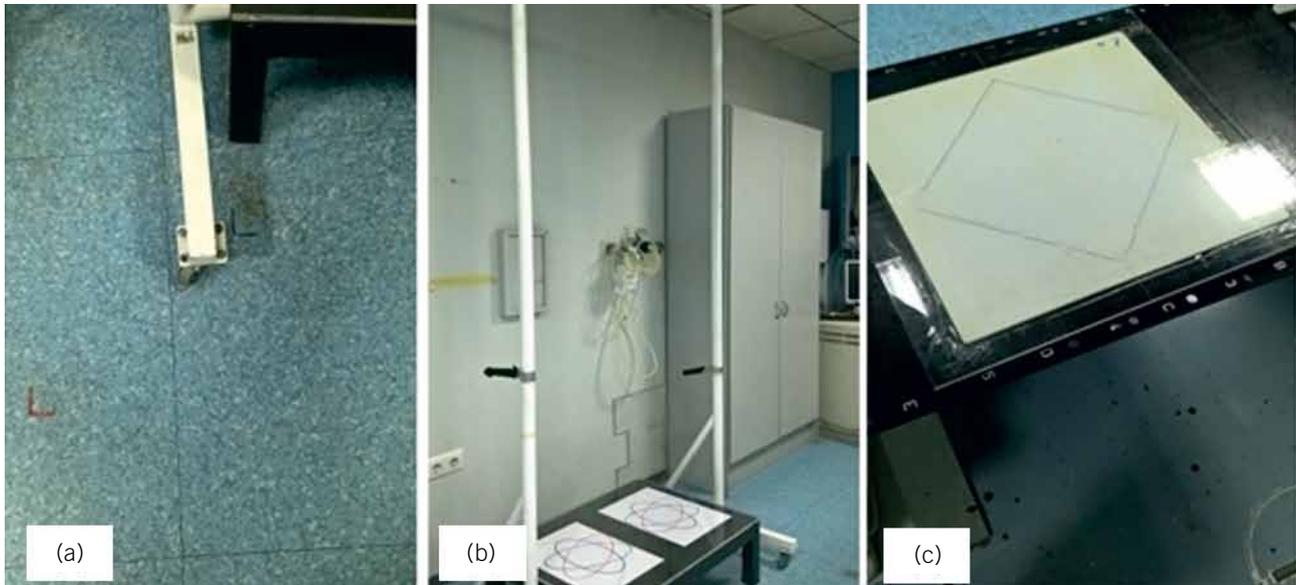
Se ha realizado un análisis de riesgo de dos modalidades de tratamiento radioterápico de piel, la braquiterapia electrónica (eBT) superficial y la irradiación cutánea total con electrones (TSEI). Paralelamente, se ha hecho un estudio de blindajes para la unidad de tratamiento de eBT.

En 2011 se introdujo la unidad de eBT Esteya® (Elekta) en nuestro centro. En este contexto, se estudiaron los requisitos de protección radiológica pertinentes para este equipo. Se determinó experimentalmente la tasa de dosis equivalente debida a la radiación secundaria (radiación dispersa y fugas). El blindaje de la habitación se estimó siguiendo las directrices americanas, concretamente la NCRP 147 (NCRP, 2004), y europeas, como son la guía española 5.11 del CSN (CSN,

1990) y la metodología propuesta por Martin y Sutton (Martin, 2015; Martin et al., 2014; Sutton et al., 2012) aplicada en Reino Unido. También se estimó la dosis equivalente profunda absorbida por un acompañante que permaneciese en la sala con el paciente durante todo el tratamiento (42 Gy en 6 fracciones). Finalmente, se realizó un resumen de las regulaciones en materia de protección radiológica que afectan a los sistemas de eBT. El blindaje de la habitación para todas las barreras consideradas fue inferior a 2 mm Pb, lo que facilita la integración de este equipo en estancias de escaso blindaje, como salas de diagnóstico de rayos X convencionales. La dosis profunda absorbida por un acompañante situado junto al paciente es inferior a 2 mSv tras tratamiento completo.



**Fig. 1.** Imagen relacionada con Esteya® (Elekta): (a) Unidad de tratamiento y (b) plantilla simple de posicionamiento reproducible de los aplicadores.



**Fig. 2.** Imagen de las nuevas herramientas de gestión de la calidad propuestas para la TSEI: (a) la posición de la pantalla difusora y del paciente ha sido marcada en el suelo, (b) se ha dibujado una plantilla que representa la posición de los pies en cada rotación del paciente y se ha marcado la colocación de sus manos sobre la barra, (c) se han marcado los ejes que deben atravesar los láseres y el tamaño del campo dentro del cual deben ser posicionadas las extremidades sobre la pantalla degradadora.

El siguiente objetivo fue la implementación de un análisis de riesgo del proceso de tratamiento con Esteya siguiendo la metodología propuesta por el TG-100 de la AAPM (AAPM, 2016). Este proceso se dividió en cuatro etapas y un total de 26 pasos, donde se identificaron 146 modos de fallo (FMs). El análisis puso de manifiesto la importancia de asegurar el buen contacto entre el aplicador y la superficie de la piel del paciente, por lo que se propuso la revisión por un segundo especialista en cada sesión y se estableció la realización de un control de calidad periódico para asegurar la estabilidad de la presión realizada por el aplicador. Este mismo análisis mostró la relevancia de la plantilla simple de posicionamiento reproducible de los aplicadores, que facilita el marcado de la zona de tratamiento y del posicionamiento del tubo, mediante dos circunferencias concéntricas (Rodríguez et al., 2016).

Finalmente se aplicaron los conocimientos adquiridos sobre el análisis de riesgo al tratamiento de la

micosis fungoide mediante la TSEI. Este tratamiento requiere unas condiciones técnicas y dosimétricas muy estrictas, que implican la implementación de múltiples controles. La TSEI se esquematizó en 12 etapas que daban lugar a un total de 75 pasos, en ellos se identificaron 361 FMs. El estudio de los FMs reveló que los fallos de mayor riesgo estaban relacionados con la colocación de la pantalla difusora respecto a la posición del paciente. Por ello se propusieron nuevas herramientas que permitían facilitar el montaje de tratamiento. Como conclusión, se puede afirmar que ambos análisis de riesgo permitieron mejorar el programa de garantía de calidad de las instalaciones, por medio del establecimiento de nuevas herramientas de gestión. No obstante, la implementación clínica del proceso revela nuevos FMs constantemente, por lo que es necesaria una actualización periódica del análisis de los modos de fallo y efectos de los procesos estudiados.



## Implementación y validación de herramientas de dosimetría ultrarrápida para IORT

**Autora:** Paula Beatriz Ibáñez García

**Director:** José Manuel Udías Moinelo

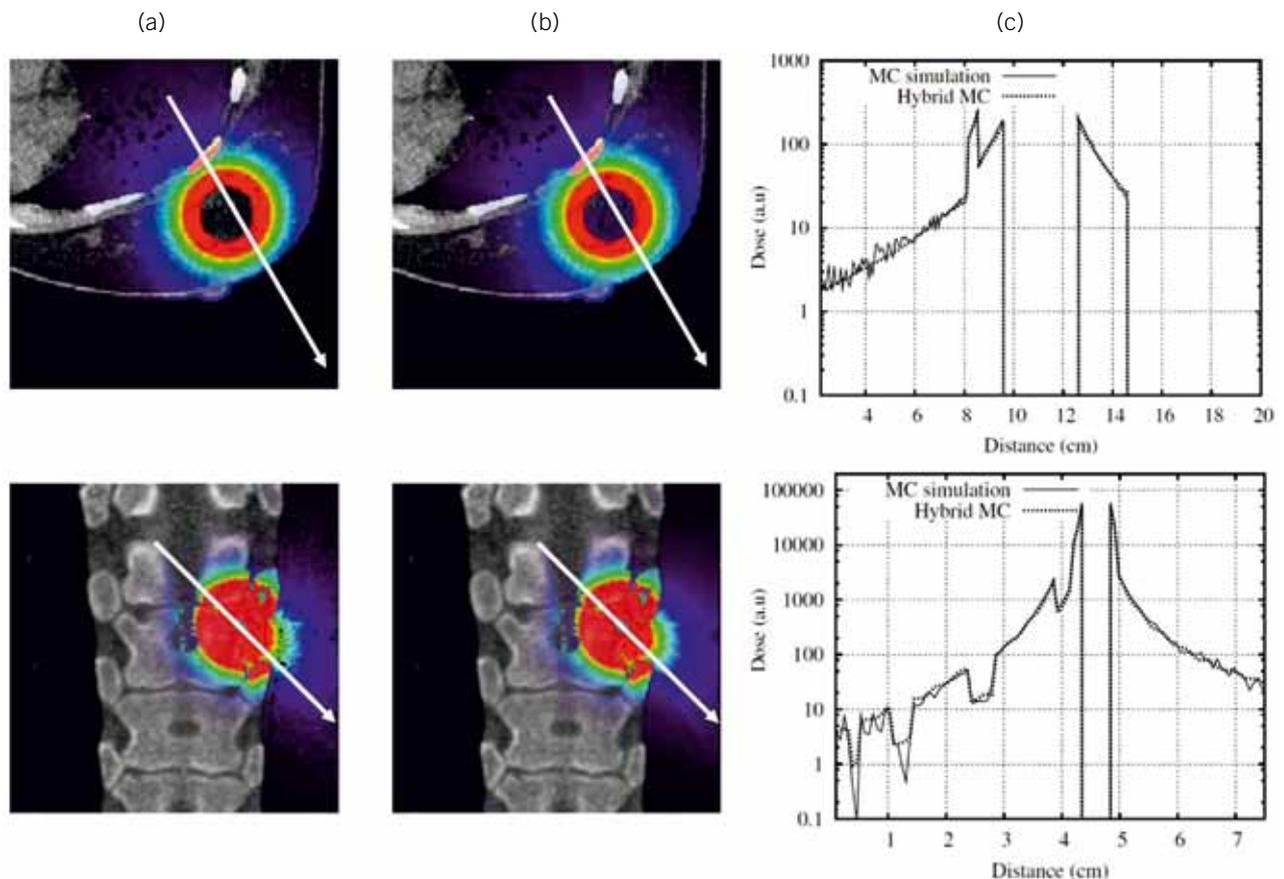
Lectura: 9 de junio de 2017. Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.

[http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo\\_2014/trabajos-investigacion-grupo/Tesis/PhD-Thesis-Plbanez.pdf](http://nuclear.fis.ucm.es/webgrupo_2014/trabajos-investigacion-grupo/Tesis/PhD-Thesis-Plbanez.pdf)

La radioterapia intraoperatoria (IORT) es una modalidad de tratamiento del cáncer que combina la radioterapia con la cirugía. Consiste en irradiar directamente el lecho tumoral expuesto durante la cirugía con una dosis de radiación alta y localizada. Sin embargo, a pesar de las ventajas que ofrece esta técnica, hasta hace poco la IORT carecía de las herramientas de planificación y dosimetría que se emplean regularmente en radioterapia externa. Para remediar esa carencia,

se creó *radiance*, el primer planificador de tratamientos específicamente diseñado para IORT.

El principal objetivo de la tesis ha sido el desarrollo, implementación y validación de una herramienta de cálculo de dosis capaz de proporcionar una dosis realista para cualquier acelerador dedicado de IORT con electrones o con el sistema INTRABEAM y que pueda ser usada para planificar tratamientos dentro del quirófano durante una intervención de IORT.



**Fig. 1.** Mapas de dosis del sistema INTRABEAM obtenidos con Monte Carlo (a) y con el HMC tras el proceso de optimización de espacios de fase (b) y sus correspondientes perfiles de dosis a lo largo de la dirección indicada (c) en el caso de una simulación de un tratamiento de mama (arriba) y de un tratamiento de cifoplastia (abajo).

Esta herramienta dosimétrica se ha separado en tres fases. Primero, se ha generado una base de datos con Monte Carlo a partir de simulaciones detalladas de aceleradores de electrones y aplicadores de INTRABEAM, compuesta por espacios de fase (PHSP) monoenergéticos y perfiles de dosis en profundidad (PDD) en agua. Después, con un proceso de ajuste en el que necesitamos únicamente la PDD experimental de cada máquina, obtenemos un PHSP optimizado que reproduce la dosis experimental. Finalmente, la dosis se calcula a

partir de este PHSP, bien con una versión acelerada del código Monte Carlo DPM en el caso de trabajar con electrones, o bien con el Monte Carlo Híbrido (HMC) que se ha desarrollado en la tesis para el INTRABEAM.

Las herramientas descritas en la tesis son lo suficientemente rápidas y precisas como para poder ser usadas para planificar tratamientos con cualquier dispositivo de IORT. Tanto el proceso de optimización de espacios de fase como el HMC han sido incorporados en *radiance*.



## Evaluación de la cobertura dosimétrica tumoral en tratamientos radioterápicos de cáncer de pulmón

**Autor:** Álvaro Perales Molina

**Directores:** María Isabel Gallardo Fuentes, Miguel Antonio Cortés Giraldo, Rafael Arráns Lara

Lectura: 14 de Septiembre de 2017, Universidad de Sevilla.

<https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/64724>

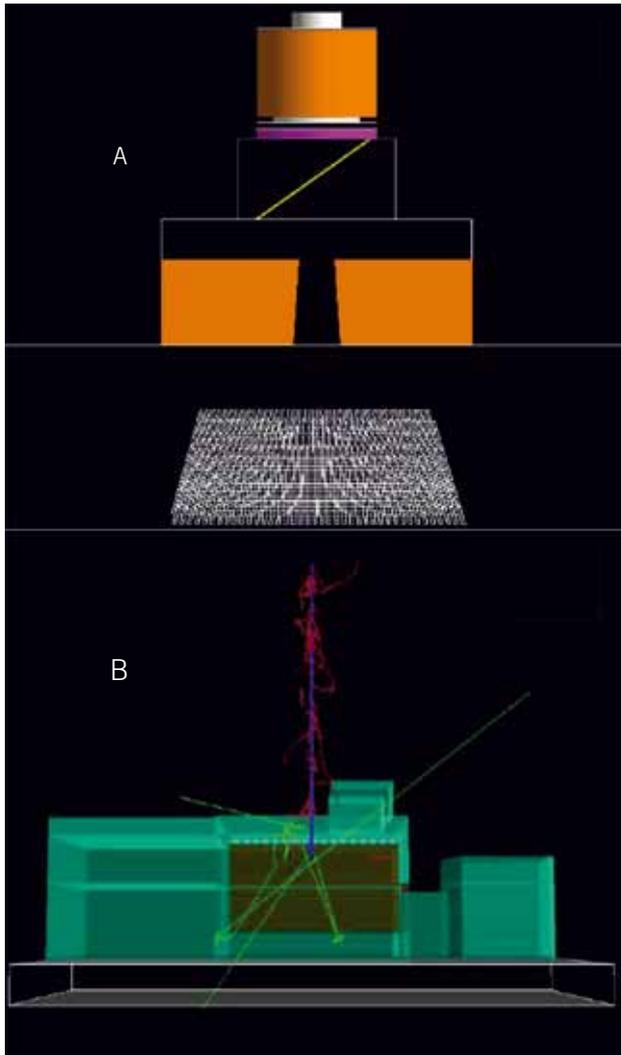
El uso de técnicas radioterápicas basadas en la modulación de haces, supone un aumento de las divergencias dosimétricas encontradas entre los sistemas convencionales de planificación comercial y algoritmos de cálculo más detallados, como el método Monte Carlo, especialmente en situaciones de alta heterogeneidad de tejidos. Estas variaciones en los valores de dosis absorbida tienen una especial importancia en su distribución dosimétrica en el volumen tumoral, propiciando la posible aparición de zonas infradosificadas que conllevaría pérdidas en la probabilidad de control tumoral. Nuestro objetivo principal es conocer el origen de estas discrepancias dosimétricas entre sistemas de cálculo, y ahondar en las implicaciones clínicas que tienen lugar para casos clínicos de cáncer de pulmón. Para ello utilizaremos el código Geant4 como referencia de cálculo Monte Carlo.

Este trabajo se divide en tres partes: en primer lugar se analizan a modo de introducción los aspectos más generales del cáncer de pulmón, comentando las técnicas de radioterapia utilizadas con mayor frecuencia para su tratamiento. Seguidamente se describen los elementos involucrados en el proceso de irradiación del paciente, i. e. el acelerador lineal de electrones y el sistema de planificación comercial. Junto a ello, exponemos una breve mención de la película radiocrómica como detector a emplear en la dosimetría. Finalmente, presentamos las propiedades más relevantes del método Monte Carlo y del código Geant4.

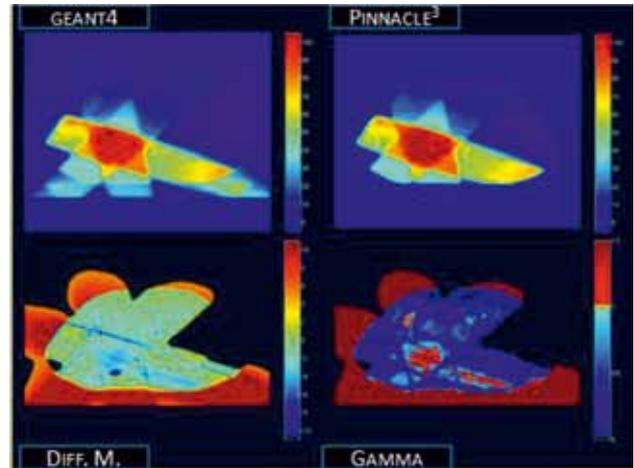
En la segunda parte, evaluamos una serie de aplicaciones Geant4 dirigidas hacia la validación dosimétrica del modelado de los elementos del cabezal del acelerador lineal Siemens Oncor Impression Plus, instalado en el Hospital Universitario Virgen Macarena (Sevilla, España), a través de la comparativa con medidas experimentales efectuadas con cámara de ionización en agua. Junto a ello, hemos constatado las diferencias entre distribuciones de dosis calculadas en Geant4 y el sistema de planificación comercial, comparándolas con la medida con película radiocrómica en un maniquí antropomórfico. Éste incluye materiales de composición química y densidad física conocidas. Por tanto, los estudios definidos en este párrafo constituyen la sección académica de nuestro proyecto de tesis.

Para la tercera y última parte, que definimos como la parte realista del proyecto de la tesis, utilizamos imágenes DICOM para crear los modelos geométricos del maniquí y paciente a través de nuestras herramientas desarrolladas con el código Geant4. De esta forma conseguimos que exista igualdad en términos geométricos entre el sistema de planificación comercial y el método Monte Carlo. Primero, hemos analizado las divergencias dosimétricas para los cálculos, comparándolos con las medidas, en la geometría voxelizada del maniquí. A continuación, hemos realizado el mismo proceso para tratamientos reales de cáncer de pulmón. En este caso hemos evaluado asimismo las consecuencias radiobiológicas, debidas a estas discrepancias dosimétricas

encontradas, a través del cálculo de la probabilidad de control tumoral.



**Fig. 1.** A) Representación gráfica de los elementos del cabezal del acelerador simulados en Geant4. Los elementos representados comenzando por la parte superior de la imagen son: el blanco, el filtro aplanador, la cámara de monitorización de dosis, el espejo, las mordazas y una de las bancadas del colimador multiláminas. B) Maniquí antropomórfico modelado en Geant4 situado sobre la mesa del linac. Se estableció un haz de protones (líneas azules) en la simulación por razones de ilustración.



**Fig. 2.** Análisis gamma 3%-3 mm (recuadro inferior derecha), en un tratamiento de IMRT directa, obtenido en el MCTP CARMEN para la distribución de dosis calculada en Geant4 (recuadro superior derecha) en comparación con la hallada en TPS Pinnacle3 (recuadro superior izquierda). Un 78,3% de puntos superaron el criterio gamma definido, factor que se refleja en las diferencias entre ambas distribuciones (recuadro inferior izquierda). Los puntos que cumplen el criterio gamma aparecen representados en tonalidades azul y amarillo, mientras que los que no pasan dicho criterio aparecen en tonalidades rojas.



## Métodos de reconstrucción en dominio temporal para tomografía por transmisión de ultrasonidos

**Autor:** Mailyn Pérez Lira

**Directores:** José Manuel Udías Moinelo y Joaquín López Herraiz

Lectura: 6 de junio de 2017, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.

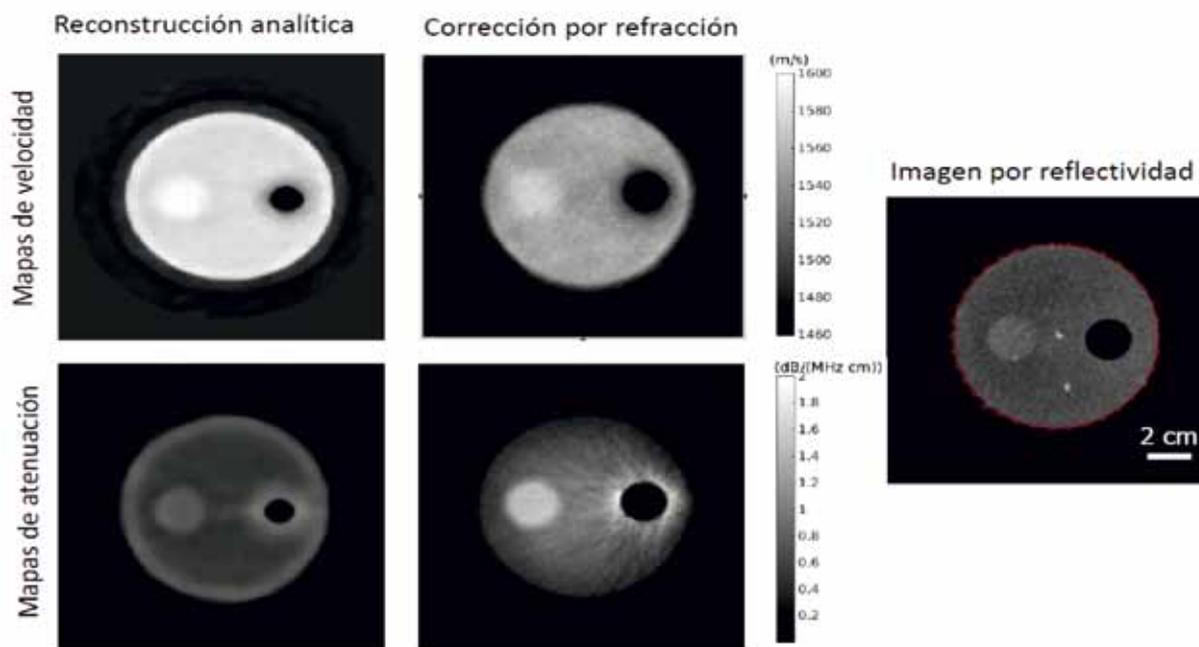
<http://eprints.ucm.es/45815/>

El cáncer de mama (CM) es el cáncer más común en mujeres mundialmente [Mayne, S.T. et al, *Nature Rev. Clinical Oncology* 2016 ]. Su detección temprana condiciona en gran medida la tasa de supervivencia a esta enfermedad, ya que, a menor tamaño de la lesión detectada, mejores resultados pueden esperarse para los tratamientos quirúrgicos que se realicen.

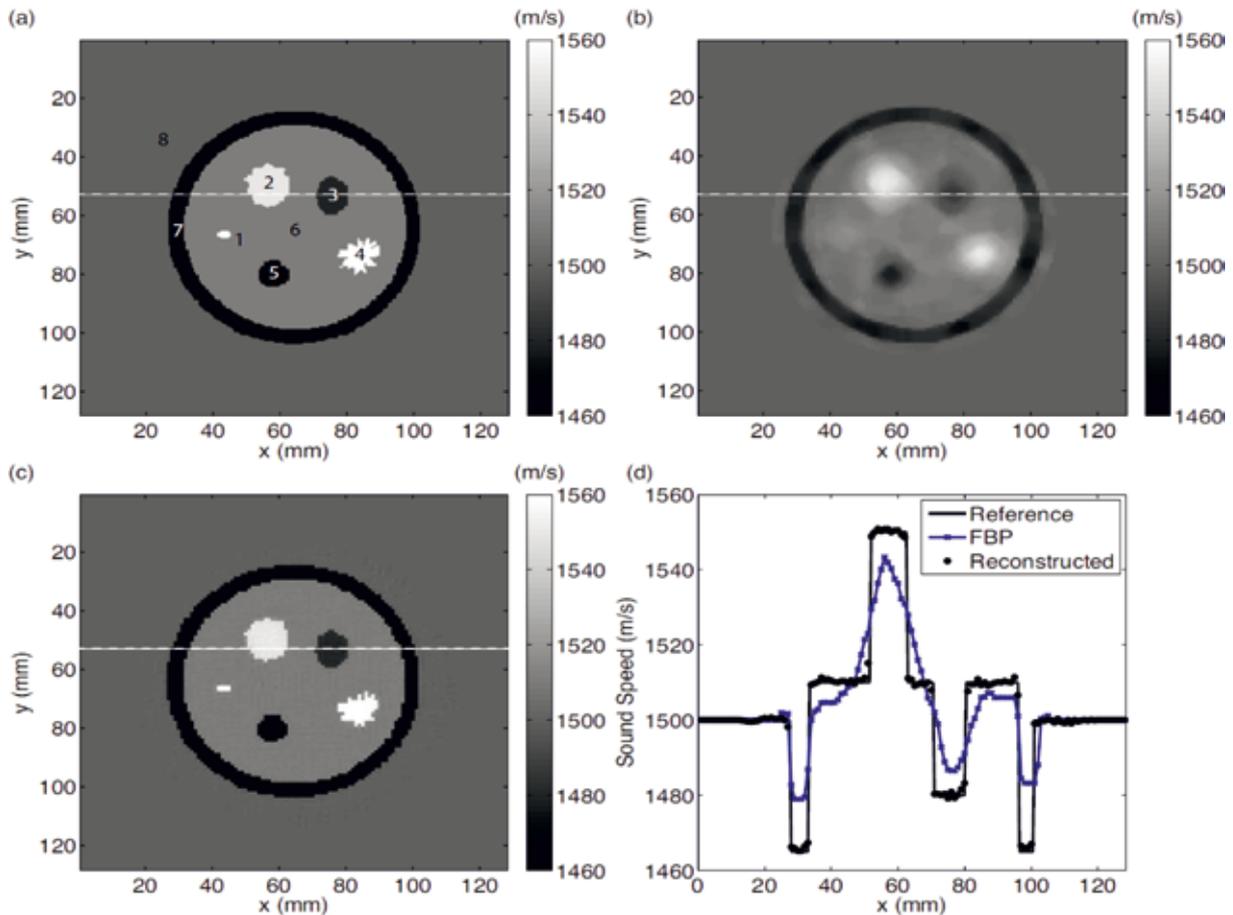
La mamografía es actualmente el procedimiento estándar que se emplea para el cribado del CM. Sin embargo, en los últimos años su eficiencia ha sido muy cuestionada por varios factores: (i) alta tasa de falsos positivos, (ii) requiere la irradiación del paciente y (iii)

baja especificidad en mamas densas. Por ello, para mejorar la detección y caracterización del CM se han propuesto varias técnicas complementarias. Entre ellas está la tomografía ultrasónica (TU). Los mapas en modo transmisión de TU han sido propuestos como una alternativa libre de radiación, para la detección del CM, ya que proporcionan alto contraste y especificidad [Mast, 2000, Duric et al., 2009].

En esta tesis, el principal objetivo fue la habilitación del modo transmisión en el tomógrafo ultrasónico MUBI, que es el primer tomógrafo por ultrasonidos de España y que ha sido desarrollado mediante la colaboración del



**Fig. 1.** (Panel superior) Mapas de velocidad del sonido en un maniquí de gelatina que simula las propiedades acústicas de distintos tipos de tejidos mamarios (Panel inferior) Mapas de atenuación del sonido. (Panel izquierdo) reconstrucciones analíticas basadas en la transformada de Radón donde pueden observarse desviaciones en la estimación de las dimensiones de las estructuras del maniquí con respecto a la imagen de reflectividad mostrada en el panel derecho de la figura, que constituye el modo de referencia en esta técnica. (Panel central) mejoras en la resolución de las imágenes luego de ser aplicado el método de corrección por refracción mediante polinomios de Bézier desarrollado en esta tesis. (Panel derecho) Imagen de referencia obtenida mediante la modalidad de reflectividad compuesta.



**Fig. 2.** Reconstrucción de mapas de velocidad del sonido (MV) empleando el algoritmo de onda completa desarrollado en esta tesis para un maniquí numérico que simula tejidos mamarios. (a) Mapa de referencia. (b) Imagen inicial reconstruida utilizando un método analítico (c) Mapa de velocidad reconstruido con onda completa. (d) Perfiles trazados a través de los mapas de velocidad reconstruidos y de referencia donde puede observarse la alta resolución que permite recuperar el algoritmo onda completa desarrollado en comparación con el método analítico.

grupo de Tecnologías y Sistemas Ultrasónicos del CSIC (USTG-CSIC) y el Grupo de Física Nuclear de la UCM (GFN-UCM). Para ello primeramente desarrollamos un conjunto de algoritmos basados en acústica geométrica (AG) para reconstruir tanto mapas de velocidad (MV) como de atenuación (MA) del sonido en el tejido. Estos métodos se basan en dos aproximaciones: (i) el uso de rayos rectos (método analítico basado en la transformada de Radon) y (ii) en el uso de rayos curvos (métodos iterativos que incluyen refracción). Implementamos un método clásico de rayos curvos basado en el Método de Marcha Rápida (MMR) y comparamos su desempeño con un método robusto y computacionalmente eficiente de trazado de rayos curvos basados en los polinomios de Bézier que fue propuesto por primera vez en esta tesis y que permite

mejoras considerables de resolución en comparación con el método clásico. Adicionalmente, desarrollamos y validamos varios algoritmos para obtener el tiempo de vuelo y la amplitud de las señales acústicas. Para mejorar la calidad de la imagen, propusimos por primera vez, un marco conjunto de reconstrucción en dominio temporal que permite realizar conjuntamente las reconstrucciones de MV y MA mediante el uso de la reconstrucción por onda completa (OC). Los métodos desarrollados se comprobaron primeramente con datos sintéticos y luego se aplicaron a la reconstrucción de datos reales obtenidos en el escáner MUBI utilizando maniqués con características similares a los tejidos de la mama. Con los resultados obtenidos esperamos contribuir a la difusión y desarrollo de esta prometedora técnica.



SIEMENS



# Small cells don't have to lead to big problems.

Siemens answers help doctors detect diseases earlier, saving costs and extending lives.

When diseases are caught early, they make less of an impact on everyone. That's because a large majority of today's healthcare costs go toward treating the late stages of diseases like cancer and heart disease. With Siemens advanced diagnostic technology, doctors

can accurately identify these killers earlier. So patients get the treatment they need sooner. Which helps save lives and cuts costs. Wherever there are tough health-care questions, we're answering them.

[siemens.com/answers](https://www.siemens.com/answers)