



Reseñas de tesis doctorales

Diego García Pinto*

Comité de Redacción.

En esta nueva entrega de reseñas de tesis doctorales tenemos cuatro contribuciones que abarcan el periodo de diciembre de 2018 hasta julio de 2019. Como en las ediciones anteriores hemos utilizado la base de datos de TESEO con la palabra clave “Física Médica”.

La nueva Directiva 2013/59 es el tema sobre el que versan dos de los trabajos presentados. En uno de ellos se analiza su aplicación en procedimientos pediátricos de radiología digital y cardiología intervencionista. En el otro, se estudia la adecuación de pruebas de imagen de cara a mejorar la metodología para optimizar el uso médico de las radiaciones tal y como recoge la mencionada Directiva.

Otra de las contribuciones que se presentan muestra el estudio realizado para evaluar la dosis a nivel molecular, en contraposición a la magnitud macroscópica dosis, que es la utilizada en el ámbito hospitalario. Para ello se ha desarrollado un código de simulación Monte Carlo y se ha comparado con situaciones clínicas calculadas en agua.

Por último se muestra un método para la reducción de ruido en la imagen PET, desarrollado por el autor, basado en análisis multiresolución mediante wavelets y su aplicación a imagen clínica.

Me gustaría despedir la sección dando las gracias a los nuevos doctores por compartir su trabajo con nosotros y animándoos a todos y todas que tengáis pensado defender la tesis en los próximos meses que os animéis a incluir una reseña de vuestro trabajo en el próximo número.

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



Aplicación de la Directiva 2013/59 EURATOM en procedimientos pediátricos de radiología digital y cardiología intervencionista

Autor: Luis Alejo Luque

Directores: Eduardo Guibelalde del Castillo; Eva Corredoira Silva; Gonzalo Garzón Moll

Lectura: 20 de diciembre de 2018. Universidad Complutense de Madrid.

Desde la publicación el 17 de enero de 2014 de la nueva Directiva 2013/59, la comunidad científica relacionada con la Protección Radiológica en Medicina, en general, y los Servicios de Física Médica (SFM), en particular, han tratado de estudiar sus implicaciones y consecuencias, adaptándolas en muchos casos al medio hospitalario concreto en el que se desarrolla su actividad. En el ámbito de la Radiología, tres son las principales novedades incluidas en la Directiva: en primer lugar, la reducción del límite del equivalente de dosis en cristalino de los trabajadores expuestos, de 150 mSv a 20 mSv al año, que recoge lo recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica en su declaración de abril de 2011 y en su Publicación

118; segundo, el registro de los parámetros relacionados con las exposiciones médicas de los pacientes y su inclusión en el informe radiológico, determinando la distribución de los indicadores de dosis y la revisión regular y uso de los Niveles de Referencia Diagnósticos (DRLs en sus siglas inglesas), al menos por rangos de edad, con objeto de realizar procesos de optimización dosimétrica sin dilación cuando fuere necesario; y tercero, la ampliación y concreción de las responsabilidades del físico médico o radiofísico hospitalario en los procedimientos radiológicos especiales, que incluyen las exposiciones médicas pediátricas y los procedimientos de Radiología o Cardiología Intervencionistas. Esta tesis doctoral describe las actuaciones realizadas por el

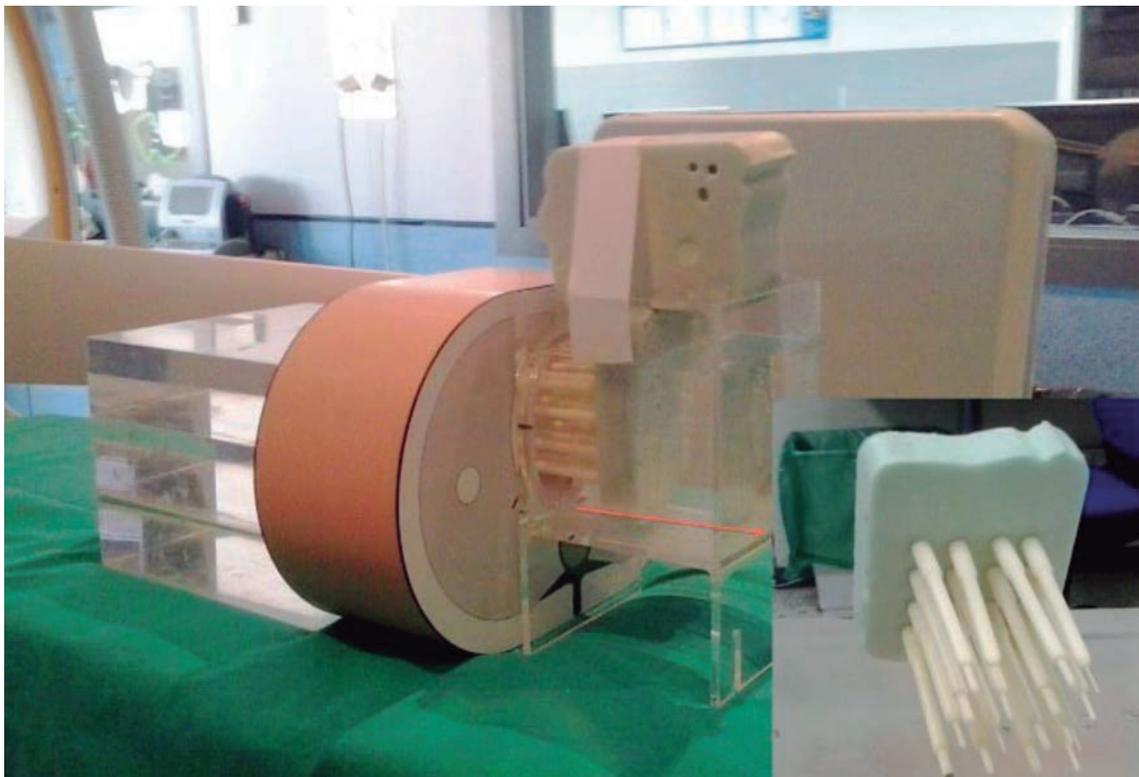


Fig. 1. Maniquí antropomórfico cardíaco QRM (GMBH, Erlangen, Germany) utilizado para caracterizar la calidad de imagen del CBCT de un equipo biplano de CI intervencionista Siemens Artis Zee VC14 (Siemens AG, Munich, Germany).

SFM del Hospital Universitario La Paz para adaptar a la práctica clínica diaria los requerimientos de la Directiva en el ámbito de la Cardiología Intervencionista (CI) y la Radiología Digital (RD) pediátricas, constituyendo por tanto un intento de sintetizar algunas de sus novedosas implicaciones.

Los objetivos principales de la tesis fueron los siguientes: 1. Estimar la dosis anual en cristalino de los trabajadores expuestos en procedimientos de CI pediátrica, y comparar los resultados obtenidos con el nuevo límite de 20 mSv al año exigido en la nueva Directiva 2013/59 EURATOM; 2. Realizar sin dilación un procedimiento de optimización dosimétrica en aquellos estudios de RD pediátrica que superen los correspondientes DRLs europeos, de acuerdo con lo exigido por la nueva Directiva 2013/59 EURATOM.

Para alcanzar los objetivos de la tesis se realizaron 5 publicaciones internacionales indexadas que constituyeron el capítulo correspondiente a los Materiales, Métodos y Resultados. En primer lugar, se estimó la dosis máxima anual en cristalino de los trabajadores expuestos en CI pediátrica. Posteriormente se caracterizaron los protocolos habituales utilizados en la sala

de CI en términos de dosis y calidad de imagen. En el siguiente trabajo se estudió la correlación de la dosis en cristalino con el equivalente de dosis personal y la dosis a paciente en CI pediátrica. A continuación, se desarrolló un método simple con maniquí antropomórfico y dosímetros de fotoluminiscencia capaz de estimar los niveles de dosis en cristalino de los trabajadores expuestos en procedimientos intervencionistas. Por último, se realizó un procedimiento de optimización de la dosis de radiación en estudios de RD convencionales de tórax en neonatos y lactantes.

Las principales conclusiones de los trabajos realizados fueron las siguientes: 1. En CI pediátrica es muy improbable superar el límite de dosis en cristalino de 20 mSv al año exigido, si el equipo fluoroscópico utilizado está convenientemente ajustado; 2. Es posible realizar procedimientos de optimización dosimétrica en salas de RD en estudios de tórax de pacientes menores de 1 año activando exclusivamente la cámara central del exposímetro automático, aplicando metodologías basadas en test VGA y en el modelo de Rose, y utilizando sistemas automáticos de gestión de dosis.



Adecuación de pruebas de imagen: dosis y factores demográficos y clínicos asociados

Autor: Jorge Vilar Palop

Directora: Blanca Lumbreras Lacarra

Lectura: 11 de abril de 2019. Universidad Miguel Hernández (Sant Joan d'Alacant).

<http://dspace.umh.es/jspui/handle/11000/5141>

Los avances tecnológicos en los sistemas de imagen médica de los últimos años han facilitado enormemente el acceso, ante una sospecha médica, a imágenes de alto valor diagnóstico. Debido a ello la utilización de técnicas de imagen que usan radiaciones ionizantes ha aumentado, y con ellas las dosis de radiación recibidas por la población. Esto se ve reflejado en las encuestas nacionales que muestran aumentos paulatinos en las dosis colectivas recibidas por la población que se derivan de la práctica médica.

Los beneficios asociados a las imágenes de radiodiagnóstico siempre deben contraponerse a los efectos adversos de las radiaciones ionizantes. Y desde diversos ámbitos se ha advertido que muchas de las exploraciones que se realizan podrían no estar justificadas. Es necesario, además, tener en cuenta los costes asocia-

dos a cualquier prueba médica innecesaria, tanto desde el punto de vista del especialista y del equipamiento médico como desde el del paciente (por ejemplo, el sobrediagnóstico, las cascadas clínicas y los falsos positivos).

La Directiva 2013/59/EURATOM establece la necesidad de metodología para optimizar y justificar el uso médico de las radiaciones. En esta tesis se han incluido dos estudios sobre esta temática.

El primero realizó un análisis sistemático de la literatura sobre valores de dosis efectiva. El resultado fue una estimación de este valor para las pruebas radiológicas que suponen una mayor contribución a la dosis efectiva colectiva para niños y adultos; y usando dos conjuntos de pesos de la ICRP (ICRP 60 y 103).

El segundo estudio analizó una serie de peticiones de pruebas de radiodiagnóstico para determinar la adecuación de estas de acuerdo a guías de recomendaciones basadas en la evidencia. Se emplearon cinco clasificaciones posibles y cada prueba fue analizada por dos investigadores independientes.

Menos del 50% de las peticiones analizadas fueron consideradas adecuadas, y más de un 30% fueron clasificadas como inadecuadas de acuerdo a las guías utilizadas.

Se analizaron las características de las peticiones con el fin de explorar posibles ideas que puedan servir para diseñar acciones futuras. Las pruebas solicitadas a mujeres se asociaron con una menor probabilidad de ser adecuadas que aquellas solicitadas a hombres. Asimismo, se encontró una menor adecuación en las pruebas solicitadas por médicos de familia frente al resto de especialistas. Finalmente, hubo una mayor adecuación en las pruebas de mamografía y de TC respecto de las radiografías convencionales.

Usando los resultados de ambos estudios se pudo estimar la cantidad de dosis efectiva colectiva que se da

en exceso a la población debido a prácticas no adecuadas o carentes de justificación, y los factores asociados a estos excesos. El 19,6% de la dosis efectiva se asoció a pruebas inadecuadas. La figura 1 muestra el resultado global del trabajo.

El porcentaje de pruebas inadecuadas es elevado, y esto da como resultado un gran porcentaje de dosis efectiva a la población que carece de justificación. Las características clínicas y demográficas, como son el género, la edad, la especialidad médica del médico solicitante y el tipo de prueba solicitada influyen en la adecuación de las pruebas.

En la actualidad, la radiación debida a prácticas médicas constituye la mayor fuente de exposición artificial a radiaciones. Los costes asociados a prácticas inadecuadas son una carga para la sociedad que debe ser tenida en cuenta y tratada si los sistemas de salud quieren alcanzar su principal objetivo.

Palabras clave: Optimización, Justificación, Adecuación, Dosis Efectiva, 2013/59.

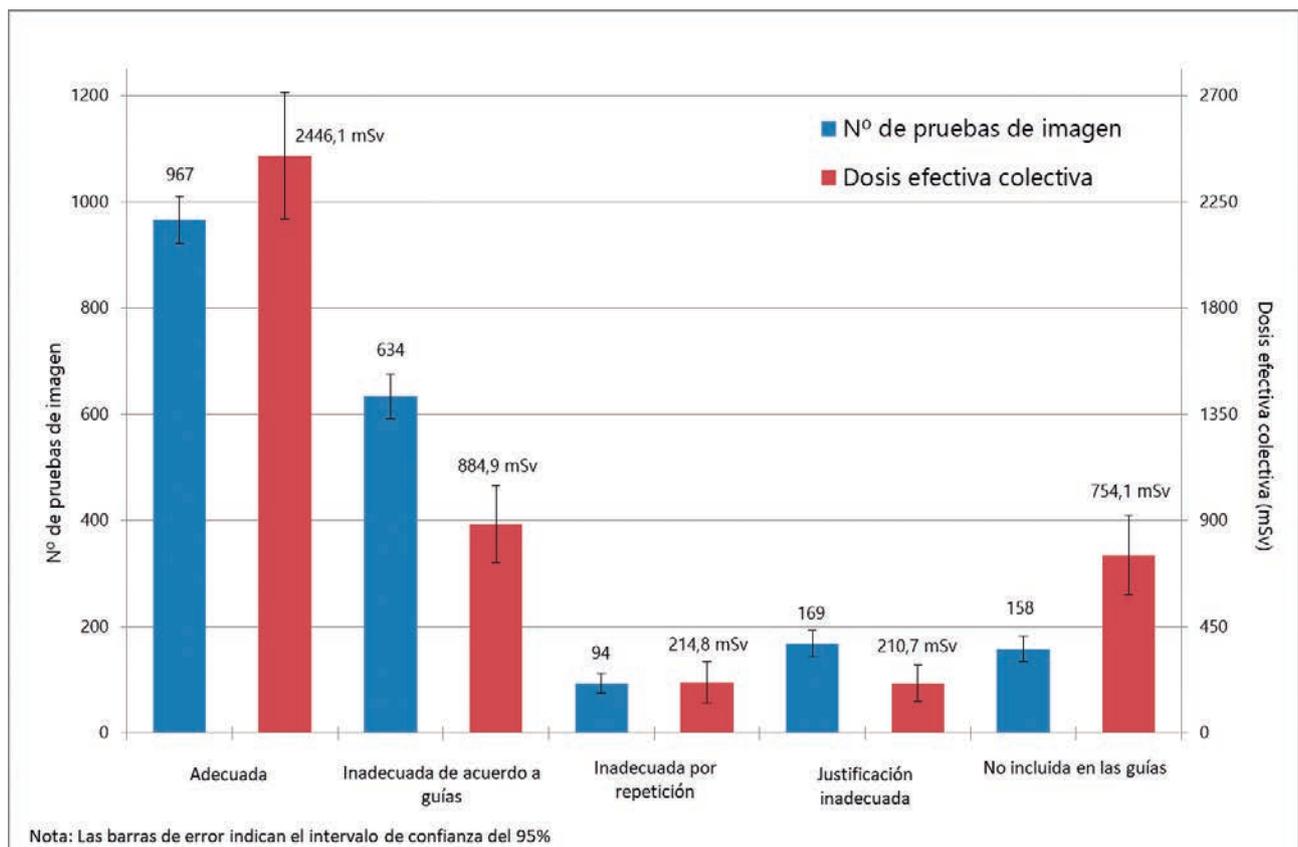


Fig. 1. Nº de estudios y dosis efectiva colectiva acumulada en cada una de las categorías de las 2022 solicitudes de pruebas diagnósticas.



Daño por radiación a nivel molecular en aplicaciones biomédicas

Autor: Rafael Colmenares Fernández

Director: Gustavo García-Gómez Tejedor

Lectura: 19 de diciembre de 2018. Universidad Complutense de Madrid.

En el ámbito hospitalario la dosis absorbida se obtiene a partir de la carga que se recoge en una cámara de ionización. Se trata de una magnitud macroscópica que solo puede definirse en volúmenes suficientemente grandes en comparación con la escala molecular. Este hecho se enfrenta a la realidad de que el daño biológico se produce precisamente a esta escala, es decir, a una escala nanométrica, en la que la dosis absorbida no puede aportar información. Además, existen numerosos estudios que prueban que los electrones con energías inferiores a la del umbral de ionización, dañan las moléculas de ADN. De hecho, no solo son capaces de inducir daño, sino que lo concentran mucho espacialmente.

Para realizar estudios a nivel molecular, los códigos MonteCarlo (MC) de evento por evento son una potente herramienta. Éstos no promedian ninguna variable asociada con el transporte de la radiación, y cada electrón es seguido, interacción a interacción, hasta su termalización.

LEPTS, acrónimo de Low Energy Particle Track Simulation, es un código de estas características de elaboración propia del grupo de investigación. En éste están definidas las ionizaciones (simples y múltiples), las excitaciones electrónicas, rotacionales y vibracionales, las disociaciones neutras y las resonancias de tipo electron-attachment, además de las interacciones elásticas. Los datos físicos moleculares que alimentan este programa son: secciones eficaces (SE) totales, SE integrales de todos los tipos de interacción antes mencionados, distribuciones normalizadas angulares y distribuciones de energía perdida (EEL).

La física de las interacciones e-molécula para $E > 10$ keV está bien descrita en primera aproximación de Born por las superficies de Bethe. Sin embargo, a medida que la energía va disminuyendo, esta aproximación pierde validez. Para $E < 10$ keV, hasta una energía de unos 20 eV, una parte importante de los datos introducidos en LEPTS proviene del modelo teórico IAM-SCAR+I. Para energías menores, los cálculos tienen que realizarse con métodos 'ab-initio', como son R-matrix o Schwinger, que incluyen información de los orbitales moleculares. Finalmente, otra parte de los datos físicos

provienen del campo experimental, bien medidos (SE totales y EEL) o bien tomados de la bibliografía.

Las contribuciones de esta tesis a LEPTS fueron dos:

- Aportación (medidas experimentales) de SE totales y espectros de pérdida de energía a la base de datos de agua y moléculas análogas a unidades estructurales de ADN; en concreto en pirimidina y en THF, como sustitutas de bases nitrogenadas y azúcar, respectivamente.
- Implementación de nuevos procesos en la simulación; en concreto, las ionizaciones múltiples.

La segunda parte de la tesis detalla la aplicación de este MC a situaciones clínicas calculadas en agua.

En primer lugar, se estudiaron dos fuentes de braquiterapia. En concreto, ^{125}I y ^{192}Ir , emisoras de fotones en el rango de decenas y centenas de keV, respectivamente. Es importante recordar que incluso en el caso de que sean los fotones las partículas primarias, son los electrones los que depositan la energía en el medio y, por tanto, los causantes del daño real inducido a nivel molecular. Para estos casos, el cálculo MC con LEPTS concluyó que, para cada tipo de interacción, el número eventos por cada ionización no depende de la profundidad y es constante. Por lo tanto, pese a que el número de algunas interacciones son del orden o incluso superiores (excitaciones vibracionales y disociaciones neutras) a las ionizaciones, cualquier incremento de daño biológico debido a las interacciones menos energéticas, sería, en todo caso, proporcional a la ionización y a la dosis absorbida.

Por otro lado, las partículas cargadas primarias pierden energía de manera continua, de modo que el espectro varía con la profundidad. Las secciones eficaces de interacción crecen con la pérdida de energía y en algún punto dejan de hacerlo de manera proporcional, presentándose un aumento muy significativo del resto de canales frente a la ionización. LEPTS muestra que el daño realmente inducido podría ser superior al estimado a partir de la dosis absorbida en las profun-

didades o áreas (de “bajas dosis”) en las que estas interacciones (relacionadas con electrones de energías inferiores a la de ionización) crecen de manera clara

por encima de la ionización. Conviene mencionar que las zonas consideradas de “baja dosis” son volúmenes grandes.



Reducción del ruido de la imagen PET mediante análisis de multirresolución

Autor: Carlos Huerga Cabrerizo

Director: Eduardo Guibelalde del Castillo

Lectura: 4 de julio de 2019. Universidad Complutense de Madrid.

La imagen obtenida mediante Tomografía por Emisión de Positrones (imagen PET) juega un papel fundamental en el diagnóstico y monitorización de diferentes tipos de tumores. También ha demostrado su utilidad

conduciendo las terapias de tratamiento, por ejemplo para el contorneo de volúmenes de irradiación en radioterapia.

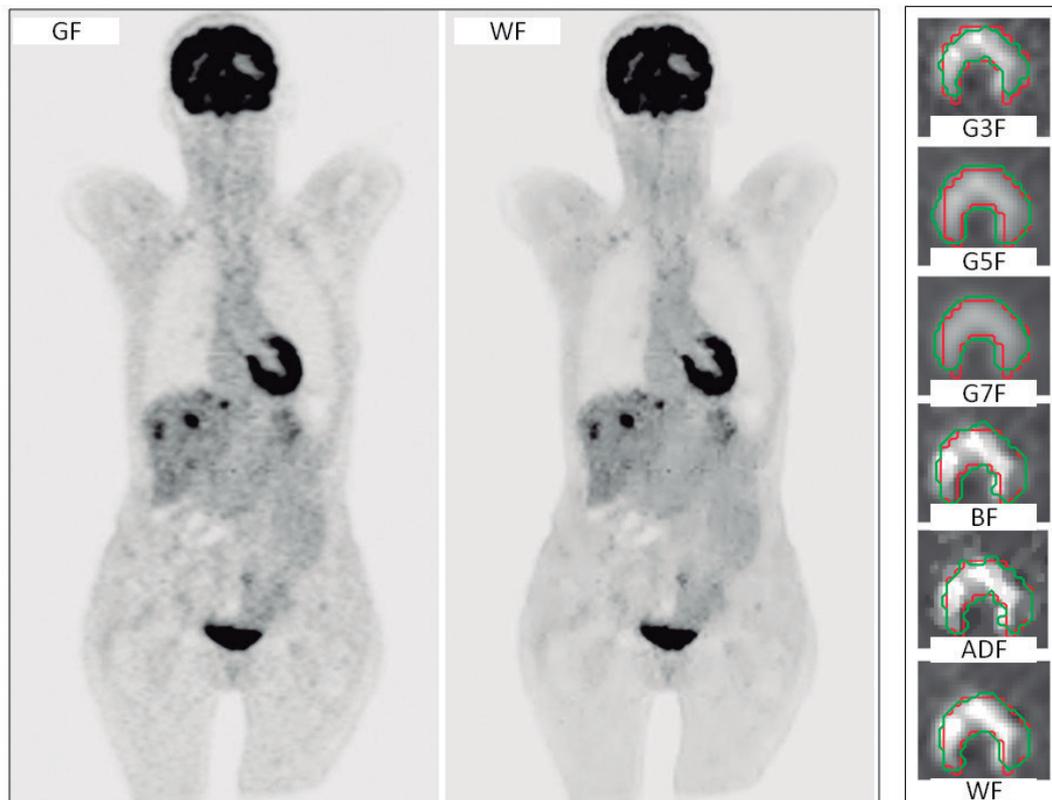


Fig. 1. Izquierda se compara el filtrado habitual Gaussiano (GF) con el filtrado basado en wavelet desarrollado (WF). A la derecha un objeto sintético irregular con diferentes filtros, de arriba abajo, Gaussianos con kernel FWHM = 3 mm, 5 mm y 7 mm (G3F, G5F y G7G), Bilateral (BF), de Difusión Anisotrópica (ADF) y basado en Wavelet (WF). En rojo el contorno real, en verde la segmentación mediante un tipo de *clustering*.

Sin embargo su manejo presenta algunas dificultades debido a la baja relación señal-ruido y a que presenta bordes emborronados si se compara con imágenes de otras modalidades (TC, RMI). Por lo tanto, resulta necesario incorporar procedimientos de reducción de ruido previos, que produzcan una mejora en su valoración cualitativa y cuantitativa.

El propósito de la tesis es el desarrollo, aplicación y evaluación de un procedimiento no lineal de reducción de ruido en la imagen PET. Para ello hemos aplicado técnicas de análisis multiresolución mediante wavelets y considerado de manera explícita las propiedades de la imagen PET. Una ventaja importante del filtro desarrollado es que realiza una estimación de ruido de la imagen, resultando una mejor adaptación al existente. Además, no requiere optimización de parámetros.

En la Figura 1 izquierda se muestra el resultado de la aplicación de este filtro sobre una imagen clínica. La evaluación del procedimiento desarrollado se realizó en maniquí y en imagen clínica con casi 50 pacientes de diferentes patologías. Obteniendo mejoras significativas, en términos de mantenimiento de la señal y ganancia de contraste relativo entre tejidos, debido a la fuerte reducción de ruido de "fondo" que realiza.

El filtro desarrollado cuenta con importantes propiedades de preservación de bordes. Para considerar este aspecto, en la tesis también se describe la influencia del filtrado en la segmentación automática de volúmenes, considerando, además del propuesto, los filtrados habitualmente utilizados en este tipo de tareas. En la Figura 1 derecha se muestra un ejemplo de las diferencias que aparecen. El estudio muestra cómo la aplicación del filtro no-lineal desarrollado refuerza los resultados de los procedimientos de segmentación considerados.

Para valorar las propiedades de preservación de bordes del filtrado es útil disponer de un procedimiento para su cuantificación objetiva. Esto también es abordado en esta tesis, desarrollando una nueva herramienta que permite medir cómo de borrosa es una imagen clínica. Este procedimiento es capaz de distinguir el emborronamiento inducido, tanto debido al proceso de filtrado como al movimiento, es robusto y puede ser aplicado a la imagen final. Además, permite un análisis direccional del emborronamiento, del que se puede obtener información de la dirección y magnitud del movimiento.

¿En qué se basa nuestra innovación en iCT? En las necesidades de diagnóstico de más de 6.700 millones de personas.

Del mismo modo que las enfermedades afectan a todos por igual, Brilliance iCT de Philips se adapta a todo tipo de pacientes. Adquiere imágenes nítidas de cualquier parte del cuerpo, desde lactantes de poco peso hasta adultos con



sobrepeso. Los pacientes recibirán el grado de calidad que se merecen en sus exploraciones mediante una dosis baja sin que ello afecte a la calidad de la imagen. Visite nuestra página web en www.philips.com/CT.

***Porque nuestras innovaciones se inspiran en usted.**

PHILIPS
sense and simplicity

