

# **II Jornadas RSEF / IFIMED de Física Médica**

Thursday 14 June 2018 - Friday 15 June 2018

Universidad Complutense de Madrid

## **Book of Abstracts**



# Contents

A new approach to radiochromic film dosimetry based on non-local means . . . . .	1
A new approach to radiochromic film dosimetry based on non-local means . . . . .	1
A vueltas con la capa hemiredutora. . . . .	1
Compton X-ray microscopy . . . . .	2
Del modelo animal a la Imagen por RM de alto campo . . . . .	2
Del modelo animal a la Imagen por RM de alto campo . . . . .	3
Design and performance study of a quasi-spherical PET scanner and hexagonal SiPM . .	3
Development of dedicated MRI coil . . . . .	3
Development of dedicated MRI coils . . . . .	3
Diagnóstico por imagen de patologías oculares . . . . .	4
Dosimetría Acuros vs. AAA . . . . .	4
Dosis al paciente en una sala de radiología intervencionista . . . . .	5
Dosis efectiva en función de la edad del paciente en tomografía computarizada . . . . .	6
Dynamic PET Imaging Based on the Method of Moments . . . . .	7
Effect of Incomplete Acquisitions on the Image of High Resolution Preclinical Scanners .	7
Estudio de la calidad de imagen de un sistema esterotáxico por tomosíntesis de mama . .	7
Evaluación de la detectabilidad de microcalcificaciones en imágenes de mamografía y sintéticas utilizando maniqués físicos . . . . .	8
Evaluación de la detectabilidad de microcalcificaciones en imágenes de mamografía y sintéticas utilizando maniqués físicos . . . . .	9
Evaluation and Validation of a Sensitivity Model for a Three-layer LaBr3 Compton Telescope . . . . .	9
Evaluation and Validation of a Sensitivity Model for a Three-layer LaBr3 Compton Telescope . . . . .	10
Evaluation of LFS continuous scintillation crystals for PET . . . . .	10

Evolución y experiencia en radioterapia intraoperatoria de cancer de mama en el C.H.U.I.- MATERNO INFANTIL . . . . .	11
Implementation of monolithic crystals in developments for brain PET imaging . . . . .	11
La Física Médica en la realidad hospitalaria: una historia de 40 años en la UCM . . . . .	11
La tecnología HighResFlexToT y su aplicación a imagen médica . . . . .	11
Laseres en cirugía oftalmológica . . . . .	11
MCGPU-PET: A REAL-TIME MONTE CARLO PET SIMULATOR . . . . .	11
Medidas de atenuación en haces de fotones de Radioterapia . . . . .	11
Modelling the interaction of ion and electron beams with biomaterials for application in ion beam cancer therapy . . . . .	12
MultiRBE: Optimización radiobiológica para protones con modelado selectivo de RBE . . . . .	12
NEUROMODULATION FOR MOTOR RECOVERY IN STROKE PATIENTS . . . . .	12
Neuromodulation for motor recovery in stroke patient . . . . .	13
New facilities for hadrontherapy – the linac solution . . . . .	13
Nuevos procedimientos en seguridad, dosimetría y protección radiológica para las ciencias de la salud . . . . .	13
PRONTO: Técnicas nucleares y simulaciones avanzadas para verificación de rango en pro- tonterapia . . . . .	14
Photoacoustic dose monitoring in clinical photon beams . . . . .	14
Physical dose enhancement by Au nanoparticles under ion beam irradiation . . . . .	14
Production yields of positron emitters for range verification in proton therapy . . . . .	14
Production yields of positron emitters for range verification in proton therapy . . . . .	15
Proton RBE at low energies: preparation of a new radiobiology beam line at the 18 MeV proton cyclotron facility at CNA . . . . .	15
RADIA system for radiotherapy treatment verification: dose calibration and Bayesian re- construction of axial dose maps . . . . .	15
Radiomics in lung cancer: lesion heterogeneity quantification by PET images features. . . . .	15
Real-time dose computation algorithm for the INTRABEAM system . . . . .	16
Reducción de ruido en la imagen PET mediante análisis multiescala con wavelets: estudio en maniquí . . . . .	16
Simulación de Imagen por Contraste de Fase de Rayos X . . . . .	16
Simulación de imágenes por contraste de fase de rayos X . . . . .	17

TRAX-CHEM: a pre-chemical and chemical stage extension of the particle track structure code TRAX . . . . .	17
Tratamiento de señales ópticas para diagnóstico no invasivo . . . . .	17
Uso de la dosimetría en vivo en la verificación de dosis de los tratamientos de braquiterapia . . . . .	18
Verificación de planes de arcoterapia multiisocentro . . . . .	18
Óptica oftálmica para corrección de la visión . . . . .	19



29

## A new approach to radiochromic film dosimetry based on non-local means

César Rodríguez Rodríguez<sup>1</sup> ; Diego García Pinto<sup>2</sup> ; Alfonso López Fernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Hospital de Fuenlabrada*

<sup>2</sup> *Universidad Complutense de Madrid*

<sup>3</sup> *Hospital de Fuenlabrada y Universidad Complutense de Madrid*

**Corresponding Author(s):** cesar.rodriguez@salud.madrid.org

**Introduction:** Radiochromic films in conjunction with a flatbed document scanner are frequently employed as dosimeters for advanced techniques in radiotherapy. Their main advantages are: light element composition, low energy dependence, near biological tissue equivalence and high spatial resolution. However, they have some weaknesses as well: non-uniformities, read out noise and scanning artifacts. Several processing protocols have been proposed in order to overcome those weaknesses. The more recent ones are those derived from the work of Micke et al. in which a multichannel approach is introduced. These protocols assume a common perturbation map for the three color channels and usually employ additional corrections. This fact, to some extent, makes the radiochromic film use more complicated. The aim of this paper is to present a new protocol based on a non-local (NL) mean denoising algorithm.

**Methods:** The NL-means algorithm, as it is described by Buades et al., replaces the color of a pixel with the average of the colors of other pixels that resemble its color, except fluctuations due to noise. These other pixels do not have reason to be close to the first one. The main advantage of using these pixels is that it is possible to mitigate noise without relying on multiple images. Radiochromic film provides a different response in each of the three color channels, so in principle, it would be possible to mitigate electronic noise and other lack of uniformity, applying the NL-means algorithm to the images. In this work an implementation of the Buades algorithm has been used. The steps of the processing protocol we propose are: read out the film as a 48-bit color image with just one scan, apply the NL-means algorithm to the image, split the denoised image into its color channels and apply the corresponding color response vs dose response curve to each splitted denoised image. To validate the protocol, three open square fields absorbed dose distributions were measured with an ionization chamber and with radiochromic film. One percentage depth dose and three off-axis ratio profiles at different depths for each field have been compared using the gamma index. No independent renormalization was allowed for different curves belonging to the same field.

**Results:** Using the same raw data coming from just one scan it has been found that the proposed protocol improves the standard multichannel protocol according to the gamma index results.

**Conclusions:** The new protocol based in the NL-means algorithm could help radiochromic films become a handy dosimeter for quality control purpose, avoiding cumbersome and time consuming corrections.  
strong text

57

## A new approach to radiochromic film dosimetry based on non-local means

**Corresponding Author(s):**

20

## A vueltas con la capa hemireductora.

Víctor Delgado Martínez<sup>1</sup> ; Javier de Areba Iglesias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad Complutense

**Corresponding Author(s):** vdelgado@ucm.es

En un fiable libro «Sponsored by the IAEA and endorsed by the COMP/CCPM, EFOMP, ESTRO, IOMP, PAHO and WHO» se presenta la siguiente definición, en geometría de haz delgado: *The half-value layer (HVL or  $x_{1/2}$ ) is defined as that thickness of the attenuator that attenuates the photon beam intensity to 50% of its original value.* En el mismo libro, más adelante dice: *...with HVL representing the thickness of an attenuator that decreases the measured air kerma rate in air to half of its original value.*

La segunda definición es la introducida originalmente por Christen en 1912 (Utilizando exposure en vez de kerma) y recogida en el I.C.R.U. Report 10b, de 1962.

Ambas definiciones coinciden para haces monoenergéticos, pero arrojan valores distintos cuando se trata de haces polienergéticos se trata, hecho ya señalado en 1969 por D. E. Charlton en una carta al director de Physics in Medicine and Biology.

La capa hemirreductora para kerma se puede determinar experimentalmente con relativa facilidad y se encuentran numerosísimos protocolos para la medida de esa capa hemirreductora, mientras que, si se trata de intensidad, la medida experimental de la intensidad de un haz es difícil, hacen falta métodos calorimétricos y, hasta donde los autores conocen, no hay protocolos para determinarla experimentalmente, ni hemos visto ninguna medida de esa capa hemirreductora, profusamente usada en sesudos libros.

Cuando se conoce la distribución espectral del haz es fácil calcular la curva de atenuación para el kerma y para la intensidad. Si se obtiene la distribución espectral del haz de fotones a partir de la curva de atenuación de kerma en aire medida experimentalmente (problema inverso difícil y muy inestable, equivalente a la inversión numérica de la Transformada de Laplace), puede calcularse a partir de esa distribución espectral la curva de atenuación para la intensidad y, consecuentemente, el HVL para intensidades.

La pregunta que nos hacemos es: ¿Es posible obtener de forma estable la curva de atenuación para intensidades a partir de la medida de la curva de atenuación para kerma en aire, sin necesidad de obtener explícitamente, y de forma inestable, la distribución espectral?

47

## Compton X-ray microscopy

**Corresponding Author(s):** pablo.villanueva-perez@cfel.de

82

## Del modelo animal a la Imagen por RM de alto campo

Marina Benito Vicente<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Nacional de Paraplégicos de Toledo

**Corresponding Author(s):** mbenitov@sescam.jccm.es

La imagen de alto campo por Resonancia Magnética ha supuesto en los últimos años una importante herramienta para el estudio de las enfermedades en modelos animales de experimentación evitando



en muchos casos el punto final y permitiendo de este modo, seguir el desarrollo de la enfermedad y/o tratamiento de manera longitudinal. Son muchos los grupos de investigación que ven en la imagen y espectroscopía por Resonancia magnética una potencial técnica diagnóstica para sus investigaciones. El laboratorio de Resonancia Magnética de Investigación del Hospital Nacional de Parapléjicos está destinado a realizar estudios tanto en rata como en ratón principalmente, aunque también podrían realizarse estudios en gatos pequeños y/o conejos. El disponer de la criosonda para cerebro de ratón, le confiere a este laboratorio una ventaja bastante importante con respecto a otros equipos a nivel nacional ya que no hay muchas instalaciones con similares características. Esta antena permite obtener imágenes de una resolución 2.3 veces mayor que con las antenas convencionales. En esta presentación mostraré como a partir de la generación de un modelo animal se puede diagnosticar o seguir su evolución mediante imagen y/o espectroscopía de RM con o sin la administración de agentes de contraste desarrollados por grupos de investigación especializados.

65

## **Del modelo animal a la Imagen por RM de alto campo**

**Corresponding Author(s):**

79

## **Design and performance study of a quasi-spherical PET scanner and hexagonal SiPM**

**Corresponding Author(s):** daperezb@pa.uc3m.es

66

## **Development of dedicated MRI coil**

**Corresponding Author(s):**

2

## **Development of dedicated MRI coils**

Manuel Freire<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *University of Seville*

**Corresponding Author(s):** freire@us.es

Magnetic Resonance Imaging (MRI) has become the gold standard for modern medicine. Vascular diseases, degenerative processes or autoimmune pathologies are diagnosed by MRI.

Although the magnetic field of the gantry has been increased in the scanners from 1.5T up to 7T and the brands have developed new sequences to characterize different tissues, reduce patient movement, etc. no such effort has been done with the development of the primary detector for the MRI: the coils.

Following a program to seek the appropriate coil for each pathology we have developed some new coils eg. for skin diseases, ocular tumors, ictus and cervical whiplash.

Small but dedicated coils can be very useful for diagnostics. As an example we will show how a small 4 channel coil can detect ocular tumors that commercial coils can not detect.

In a real scenario, severe claustrophobic patient present huge problems into a MR gantry and in most cases, MR studies can not be performed on them. To overcome this problem a high resolution orientable-32 channel coil for a 3T scanner was designed and characterized for MR-spectroscopic studies.

A complete analysis of the state of carotides is crucial to evaluate and prescribe the treatment for ictus patients. Developed under a joint project with vascular surgeons and neuro-radiologists a vascular 18-channel to characterized carotid-wall high resolution will be presented.

Biopsy is a prerequisite to evaluate skin tumors as melanoma before surgery. Although skin-ecography has been included as a new modality to evaluate skin, MRI and IV-contrast MRI can offer new insights to plan the therapeutic route. A disposable 7-channel skin coil and signal to noise ratio maps will be shown.

73

## Diagnóstico por imagen de patologías oculares

**Corresponding Author(s):**

40

## Dosimetría Acuros vs. AAA

Daniel Martínez Rodríguez<sup>1</sup> ; David Miguel Pérez<sup>1</sup> ; Víctor De La Llana Granja<sup>1</sup> ; Ángel Del Castillo Belmonte<sup>1</sup> ; Delfin Alonso Hernández<sup>1</sup> ; Jesús María De Frutos Baraja<sup>1</sup> ; Manuel Agulla Otero<sup>1</sup> ; Carlos Andrés Rodríguez<sup>1</sup> ; Ricardo Torres Cabrera<sup>1</sup> ; María Ruiz Aznar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Clínico Universitario de Valladolid

**Corresponding Author(s):** damartinez43@gmail.com

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es comparar los algoritmos de cálculo Acuros y Algoritmo Analítico Anisótropo (AAA), haciendo énfasis en las diferencias que se producen en los cambios de tejido.

### Material y métodos.

Se han calculado con ambos algoritmos 20 planes de tratamiento de patología de cabeza y cuello. El análisis se centró en las heterogeneidades que se producen en los cambios de tejido (y de densidad de éste) en la cavidad oral y en los pulmones. El programa de cálculo utilizado ha sido el sistema de planificación de tratamientos (RTP) Eclipse de Varian Medical Systems, versión 13.7. El tamaño de rejilla utilizado fue de 0,25cm.

Las matrices de dosis fueron exportadas desde el RTP y comparadas con el criterio gamma 3d con diferentes parámetros de dosis y distancia utilizando el software Verisoft versión 5.1 de PTW.

En cada plan de tratamiento se realizó la comparación gamma 3D en dos planos (uno en cabeza y otro en pulmón). Se excluyeron de este análisis los puntos con valores de dosis inferiores al 20% del máximo. También se compararon gamma(3/1) y gamma(1/3) en estos planos para comprobar la dependencia en la dosis y en la distancia.

### Resultados

En el 80% de los casos gamma(2/2) entre ambas distribuciones de dosis fue superior al 95%. Gamma(3/3) fue superior al 95% para todos los casos que se analizaron de cabeza.

En el caso del pulmón, en el 90% de los casos  $\gamma(2/2)$  entre ambas distribuciones de dosis tuvo un valor superior a 95%.  $\gamma(3/3)$  fue superior al 95% para todos los casos que fueron analizados.

Los promedios de  $\gamma(3/1)$  Vs.  $\gamma(1/3)$  fueron 97.60% Vs. 92.05% para los planos utilizados en cabeza y 97.75% Vs. 91.30% para los planos analizados de pulmón.

Resultados en cabeza para  $\gamma 3d$ :

Media: (5/3): 99,46; (3/3): 99,02; (2/2): 96,70; (1/1): 75,69; (3/1): 97,60; (1/3): 92,05  
 Mediana: (5/3): 99,70; (3/3): 99,40; (2/2): 97,75; (1/1): 77,65; (3/1): 98,40; (1/3): 92,65  
 Desv. Típica: (5/3): 0,56; (3/3): 0,93; (2/2): 3,21; (1/1): 9,16; (3/1): 2,45; (1/3): 4,3

Resultados en pulmón:

Media: (5/3): 99,72; (3/3): 99,32; (2/2): 96,72; (1/1): 75,54; (3/1): 97,75; (1/3): 91,30  
 Mediana: (5/3): 99,85; (3/3): 99,45; (2/2): 97,90; (1/1): 76,60; (3/1): 98,30; (1/3): 93,60  
 Desv. Típica: (5/3): 0,24; (3/3): 0,82; (2/2): 3,64; (1/1): 12,73; (3/1): 1,83; (1/3): 9,16

Conclusiones

La diferencia de dosis es mucho más dependiente de la distancia de los puntos en el criterio  $\gamma$  que de la diferencia de dosis. Las principales disparidades se obtuvieron en la piel, resultando la dosis calculada con el algoritmo Acuros mayor que el valor de dosis calculado con el algoritmo AAA. Las mayores dosis máximas calculadas fueron superiores con el algoritmo AAA que con Acuros. En el pulmón no se encontró una diferencia de dosis significativa.

38

## Dosis al paciente en una sala de radiología intervencionista

Daniel Martínez Rodríguez<sup>1</sup> ; Víctor De La Ilana Granja<sup>1</sup> ; Manuel Agulla Otero<sup>1</sup> ; Carlos Andrés Rodríguez<sup>1</sup> ; Ricardo Torres Cabrera<sup>1</sup> ; David Miguel Pérez<sup>1</sup> ; Ángel Del Castillo Belmonte<sup>1</sup> ; Delfín Alonso Hernández<sup>1</sup> ; Jesús María De Frutos Baraja<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Clínico Universitario de Valladolid

**Corresponding Author(s):** damartinez43@gmail.com

**Objetivo:** Se desea evaluar las dosis de radiación que reciben los pacientes sometidos a procedimientos intervencionistas guiados por rayos X mediante la información extraída del informe estructurado de dosis de radiación (RDSR, por sus siglas en inglés) que genera el equipo al finalizar cada exploración radiológica.

**Material y Método:** La sala de radiología intervencionista cuenta con un equipo de rayos X Philips Allura Xper FD20, dotada de un arco quirúrgico y un panel plano digital. El sistema fue configurado para poder generar y enviar el RDSR junto a las imágenes adquiridas en cada estudio. Durante seis meses de uso se analizaron un total de 170 intervenciones que requirieron el uso de rayos X según los siguientes parámetros dosimétricos extraídos del RDSR: dosis en el punto de referencia intervencionista (DPERP, por sus siglas en inglés), producto dosis-área (PKA, por sus siglas en inglés) y tiempo de irradiación. Se obtuvieron los valores promedio, la mediana y el máximo de cada serie de datos. Asimismo, los resultados se analizaron de acuerdo al modo de irradiación (fluoroscopia o adquisición).

**Resultados y discusión:** Los resultados mostraron una gran variación en los valores de exposición al paciente, debido principalmente a la gran variedad de procedimientos llevados a cabo. El promedio de DPERP alcanzó los 0.53 Gy y el PKA promedio fue de 108.0 Gy $\cdot$ cm<sup>2</sup>, con valores máximos de 4.7 Gy y 970.9 Gy $\cdot$ cm<sup>2</sup>, respectivamente. En lo que se refiere al tiempo de irradiación, en promedio, cada intervención duró 08:41 minutos, con un valor máximo de 1:26:19 horas. En promedio, el modo fluoroscópico representó el 91% del tiempo de irradiación, mientras que el modo de adquisición representó solo el 9%. No obstante, el modo de adquisición contribuyó de una manera significativamente

mayor a la dosis al paciente, pues representó el 70% tanto del DPERP como del PKA, mientras que la fluoroscopia solo lo hizo en un 30%.

**Conclusiones:** Se han evaluado las dosis de radiación recibidas por los pacientes en una sala de radiología intervencionista. La heterogeneidad de las intervenciones que se realizan conduce a una gran variabilidad en los resultados dosimétricos obtenidos. En promedio, más de dos tercios de la dosis al paciente se debió al modo de adquisición, a pesar de que representa solamente el 9% del tiempo de irradiación total. Algunas intervenciones suponen largos tiempos de irradiación y dosis en el punto de referencia intervencionista elevadas, por lo que se debe tener cuidado para evitar la posibilidad de efectos deterministas en la piel del paciente.

**Agradecimientos:** Al equipo de profesionales del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid.

39

## Dosis efectiva en función de la edad del paciente en tomografía computarizada

Daniel Martínez Rodríguez<sup>1</sup>; Víctor De La Llana Granja<sup>1</sup>; Manuel Agulla Otero<sup>1</sup>; Carlos Andrés Rodríguez<sup>1</sup>; David Miguel Pérez<sup>1</sup>; Delfín Alonso Hernández<sup>1</sup>; Ricardo Torres Cabrera<sup>1</sup>; Ángel Del Castillo Belmonte<sup>1</sup>; Jesús María De Frutos Baraja<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Clínico Universitario de Valladolid

**Corresponding Author(s):** damartinez43@gmail.com

**Objetivo:** Se desea evaluar la dosis efectiva (DE) acumulada por los pacientes sometidos a exploraciones de tomografía computarizada (TC) y analizar su distribución en función de su edad.

**Material y Método:** Los equipos analizados han sido dos TC multicorte, Siemens Somatom Sensation 64 y Siemens Somatom Emotion 16. Ambos equipos fueron configurados para que generasen y enviaran el informe estructurado de dosis de radiación (RDSR, por sus siglas en inglés) junto a las series de imagen adquiridas. Durante dieciocho meses de uso se analizaron un total de 17440 exámenes realizados en ambos equipos, correspondientes a 13256 pacientes. El RDSR de cada examen se recuperó utilizando el programa Care Analytics, una herramienta proporcionada por Siemens que recopila el informe de dosis de los procedimientos y muestra los principales parámetros de radiación asociados, como el índice de dosis en TC volumétrico (CTDIvol) o el producto dosis-longitud (DLP). Todos los datos se transfirieron a una hoja de cálculo para llevar a cabo el análisis estadístico. La DE a los pacientes se calculó a partir de los valores de DLP teniendo en cuenta los factores-k derivados de los factores de ponderación tisular propuestos por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Se obtuvieron varios indicadores globales, como la DE por edad del paciente y el número total de exámenes por paciente.

**Resultados y discusión:** Los resultados muestran una gran variación en la exposición al paciente, debido principalmente a la amplia variedad de exámenes de TC y regiones anatómicas escaneadas. En promedio, los pacientes menores de 15 años recibieron una DE acumulada menor de 3.0 mSv y, en general, los pacientes de mayor edad recibieron dosis más altas. La DE máxima acumulada fue de 214.8 mSv en un paciente individual de 53 años que recibió un total de 7 exploraciones durante el periodo de estudio. No obstante, el número máximo de exámenes de TC en un mismo paciente fue de 8.

**Conclusiones:** Se han evaluado las dosis a los pacientes en términos de dosis efectiva en dos dispositivos de TC multicorte, donde se ha visto que las dosis acumuladas más altas generalmente son aquellas en adultos y pacientes mayores. Es posible que se lleven a cabo muchos exámenes a un paciente individual en un periodo de tiempo relativamente corto, por lo que se debe tener cuidado para evitar una cantidad considerable de dosis de radiación en cada uno de estos pacientes. Por ello, la justificación de los exámenes de TC debe mejorarse para reducir la exposición a la radiación a la población tanto como sea posible.

Agradecimientos: Al equipo de profesionales del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid.

75

## Dynamic PET Imaging Based on the Method of Moments

Corresponding Author(s): [herraiz@nuclear.fis.ucm.es](mailto:herraiz@nuclear.fis.ucm.es)

77

## Effect of Incomplete Acquisitions on the Image of High Resolution Preclinical Scanners

Corresponding Author(s): [pgalve@nuclear.fis.ucm.es](mailto:pgalve@nuclear.fis.ucm.es)

24

## Estudio de la calidad de imagen de un sistema esterotáxico por tomosíntesis de mama

Irene Bartolome<sup>1</sup> ; Maria Castillo<sup>1</sup> ; Oliver Diaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Complutense de Madrid*

<sup>2</sup> *Universidad de Girona*

Corresponding Author(s): [irenbart@ucm.es](mailto:irenbart@ucm.es)

**OBJETIVO:** Las técnicas esterotáxicas tienen como finalidad la localización y extracción de muestras de tejido (biopsia) para su posterior análisis histológico de cara a determinar su malignidad. La tasa de detección de cánceres ha aumentado con la tomografía digital de mama (TM). Muchos de estos cánceres son indetectables con las técnicas convencionales de biopsia guiada por imagen. Recientemente se ha introducido un sistema esterotáxico basado en la TM que mejora la visibilidad de las lesiones y su correcta biopsia. El objetivo de este trabajo es analizar la calidad de imagen de este sistema.

**MATERIAL Y MÉTODOS:** El sistema esterotáxico analizado es el Affirm® Prone Breast Biopsy System (Hologic Inc., Massachusetts, EEUU). El tubo de rayos X del equipo tiene ánodo de tungsteno (W) y filtros de plata (30  $\mu$ m) y aluminio (0.7 mm). La profundidad de la lesión se determina a partir de un barrido de tomosíntesis (BT) de 30 proyecciones en un intervalo angular de 15° a partir de las cuales se reconstruyen planos de 1 mm de espesor paralelos al detector.

Los parámetros que se han medido para determinar la calidad de imagen fueron la relación contraste-ruido (RCR) para diferentes espesores de PMMA, la función de respuesta del detector (FRD), las fuentes de ruido y el espectro del ruido (NNPS) tanto en las proyecciones del BT como en las imágenes 2D de esterotaxia. La metodología seguida para todas las medidas es la descrita en el Protocolo Español de Control de Calidad de Radiodiagnóstico.

**RESULTADOS:**

1) Los resultados de la RCR asociada a una lámina de Al de 0.2mm de espesor y diferentes espesores de PMMA se muestran en la Tabla 1 para la imagen estéreo 2D y las proyecciones 0° y con mayor angulación ( $\pm 7,5^\circ$ ) del BT. Las tres proyecciones del BT presentan valores de la RCR prácticamente iguales y muy inferiores a los obtenidos para la imagen 2D. Este resultado es compatible con la menor exposición con la que son adquiridas las proyecciones del BT.

2) La función de respuesta del detector es lineal con respecto al kerma en la superficie de entrada tanto en las proyecciones más extremas del BT como en la imagen 2D (Tabla 2). La pendiente de la recta es muy similar en las tres proyecciones.

3) El ruido se ha caracterizado a través de la desviación estándar ( $\sigma$ ) del valor del pixel de un ROI centrado en las imágenes obtenidas para determinar la función de respuesta. El ruido cuántico predomina frente al ruido electrónico y estructural tanto en 2D como en las proyecciones del BT. La segunda fuente de ruido más importante ha sido el ruido estructural en todos los casos.

4) El espectro del ruido (NNPS) muestra un valor aproximadamente constante para todo el intervalo de frecuencias espaciales. Esto es coherente con la mayor contribución del ruido cuántico evidenciada en el apartado anterior. Comparando el NNPS en las direcciones vertical y horizontal se observa cierta anisotropía que disminuye a medida que aumenta la exposición que llega al detector en todos los casos.

25

## Evaluación de la detectabilidad de microcalcificaciones en imágenes de mamografía y sintéticas utilizando maniqués físicos

Leire Posilio<sup>1</sup> ; Maria Castillo<sup>1</sup> ; Alejandro Rodriguez-Ruiz<sup>2</sup> ; Margarita Chevalier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Complutense de Madrid*

<sup>2</sup> *Radboudumc*

**Corresponding Author(s):** leirepos@ucm.es

**OBJETIVO:** El propósito de este estudio es cuantificar las diferencias en la detectabilidad de microcalcificaciones entre imágenes mamográficas digitales (MG) e imágenes sintetizadas (SI) utilizando un maniquí físico. Las microcalcificaciones se encuentran inmersas dentro de un fondo estructurado.

**MATERIAL Y MÉTODOS:** Las imágenes del maniquí se obtuvieron en 4 sistemas de tomosíntesis digital de mama (TDM) de tres fabricantes distintos (Hologic, Siemens y GE). Se utilizó en todos los casos el control automático de la exposición para adquirir 5 barridos de tomosíntesis y 5 imágenes digitales del maniquí (TORMAM). Las imágenes sintéticas son generadas de forma automática a partir de los planos reconstruidos en la modalidad de TDM. El maniquí TORMAM contiene una serie de objetos de test que simulan diferentes tipos de lesiones de mama: microcalcificaciones, fibras y nódulos circunscritos que posibilitan la evaluación de su detectabilidad. Las microcalcificaciones (MCs) se encuentran contenidas tanto en la parte del maniquí con fondo uniforme como en la que tiene un fondo estructurado simulando tejido fibroglandular. La detectabilidad en este fondo presenta una mayor dificultad al ser oscurecidas por el ruido "anatómico" simulado. Las MCs están agrupadas formando 4 grupos con tamaño diferente situados en distinta regiones del maniquí.

La detectabilidad de las microcalcificaciones se evaluó mediante un experimento de 4 alternativas forzadas (4AFC). En este experimento, el observador tiene que seleccionar la imagen en la cual se encuentra la lesión entre las 4 que le son presentadas de forma aleatoria. Para llevar a cabo el experimento, se recortaron las imágenes de cada grupo de MCs así como fondos sin MCs de las imágenes MG y SI obtenidas. Participaron tres observadores expertos en la evaluación de imágenes mamográficas y un estudiante. En la evaluación se utilizó un monitor de alta resolución (5 MP monochrome display, EIZO, Inc., Irvine, CA) calibrado de acuerdo con la norma DICOM. Cada observador hizo dos evaluaciones con el fin de obtener su reproducibilidad (variabilidad intraobservador). El experimento 4AFC proporciona el número de respuestas correctas (PC) en cada evaluación.

**RESULTADOS:**

Los resultados en la figura 1a muestran el porcentaje de PC obtenido para cada sistema y evaluador. A excepción de un observador, las MCs son mejor detectadas en la imagen mamográfica convencional que en la imagen sintética en todos los sistemas analizados. También se observa que existen diferencias importantes en la capacidad de los observadores para detectar lesiones en presencia del ruido "anatómico" simulado con el maniquí.

Los grupos de MCs de igual tamaño que están insertadas en la parte con fondo uniforme del maniquí fueron detectadas en el 100% de los casos por todos los observadores. El porcentaje de PCs

52

## Evaluación de la detectabilidad de microcalcificaciones en imágenes de mamografía y sintéticas utilizando maniqués físicos

Maria Castillo<sup>1</sup><sup>1</sup> *Universidad Complutense de Madrid*

Corresponding Author(s): m.castillo.g@ucm.es

43

## Evaluation and Validation of a Sensitivity Model for a Three-layer LaBr3 Compton Telescope

Jorge Roser Martínez<sup>1</sup>; Enrique Muñoz Albaladejo<sup>2</sup>; Luis Barrientos<sup>3</sup>; John Barrio<sup>4</sup>; Jose Bernabeu<sup>5</sup>; Marina Borja<sup>6</sup>; Ane Etxebeste<sup>2</sup>; Leticia Gabarda<sup>3</sup>; Carlos Lacasta<sup>7</sup>; Gabriela Llosa<sup>8</sup>; Ana Ros Garcia<sup>9</sup>; Josep F. Oliver<sup>10</sup><sup>1</sup> *Instituto de Física Corpuscular (IFIC)*<sup>2</sup> *IFIC*<sup>3</sup> *(Instituto de Física Corpuscular (IFIC/CSIC-UVEG))*<sup>4</sup> *PhD student*<sup>5</sup> *IFIC - Valencia*<sup>6</sup> *(Instituto de Física Corpuscular (IFIC/CSIC-UVEG))*<sup>7</sup> *IFIC-Valencia*<sup>8</sup> *IFIC-CSIC*<sup>9</sup> *IFIC (IFIMED)*<sup>10</sup> *IFIC (CSIC-UV)*

Corresponding Author(s): romarjor@ific.uv.es

Compton cameras are becoming a subject of increasing interest in medical imaging due to their potential applications. Compton cameras are used to obtain an image by employing the gamma-rays which interact within the device. For the image to be accurate, knowledge of the incident energy of the gamma-ray is often required by the reconstruction algorithms. However, in a conventional two-layer Compton camera this incident energy can only be estimated, provided that the requirement of photoabsorption in the second plane may not be fulfilled for all signal events. To overcome this, a possible solution is to add a third plane to the Compton camera, in which case we refer to the device as a “three-layer Compton telescope”. Thus the incident energy can be directly obtained from the gamma-rays which interact in the three planes; but then, in the image reconstruction process associated with such device, a System Matrix which accounts for these new signal events is needed. Furthermore, Sensitivity Matrix corrections are relevant in Compton camera imaging and should be properly estimated. A common way to achieve these requirements is to compute both the Sensitivity and System Matrices by Monte Carlo methods. The slowness of this method is typically solved by precalculating both matrices once, prior to the reconstruction process.

The IRIS group (Image Reconstruction, Instrumentation and Simulations for medical imaging applications) of IFIC-Valencia is developing a three-layer Compton telescope based on continuous LaBr3 crystals coupled to SiPMs. Hence, given the high granularity of our prototype, a Monte Carlo precalculation of the Sensitivity and System Matrices would imply high computational burdens. For this reason, the group has proposed an analytical model, which allows computing the probability of detection of those events which give rise to signal in the telescope in order to estimate on the fly the Sensitivity and System Matrices. Currently, the model is in its last stage of validation for a two-layer Compton telescope. Nevertheless, such validation must be extended to characterize entirely the three-layer Compton telescope that is being developed at the group. The process is not

trivial, provided the different topology of the events which give rise to signal or background, and the decrease of the efficiency.

In this work we present the first preliminary tests on the validation of the proposed model for a three-layer Compton telescope. This is achieved by comparing the analytical predictions of elements of the Sensitivity and System Matrices with the results of Monte Carlo simulations. The performance of the model is tested by obtaining images of monochromatic, point-like sources from simulated data. In addition, a preliminary study on the background/signal ratio for a three-layer Compton telescope is reported, emphasizing those events which most contribute to image degradation.

64

## Evaluation and Validation of a Sensitivity Model for a Three-layer LaBr3 Compton Telescope

**Corresponding Author(s):** romarjor@ific.uv.es

80

## Evaluation of LFS continuous scintillation crystals for PET

**Author(s):** Ana Ros Garcia<sup>1</sup>

**Co-author(s):** Ane Etxebeste<sup>2</sup>; Carles Solaz<sup>3</sup>; Carlos Lacasta<sup>4</sup>; Enrique Muñoz Albaladejo<sup>2</sup>; Gabriela Llosa<sup>5</sup>; John Barrio<sup>6</sup>; Jorge Roser Martínez<sup>7</sup>; Jose Bernabeu<sup>8</sup>; Josep F. Oliver<sup>9</sup>; Leticia Gabarda<sup>10</sup>; Luis Barrientos<sup>10</sup>; Marina Borja<sup>11</sup>

<sup>1</sup> IFIC (IFIMED)

<sup>2</sup> IFIC

<sup>3</sup> IFIC (Valencia)

<sup>4</sup> IFIC-Valencia

<sup>5</sup> IFIC-CSIC

<sup>6</sup> Instituto Instrumentacion para Imagen Molecular, i3M-CISC

<sup>7</sup> Instituto de Física Corpuscular (IFIC)

<sup>8</sup> IFIC - Valencia

<sup>9</sup> IFIC (CSIC-UV)

<sup>10</sup> (Instituto de Física Corpuscular (IFIC/CSIC-UVEG))

<sup>11</sup> (Instituto de Física Corpuscular (IFIC/CSIC-UVEG))

**Corresponding Author(s):** arosgar@ific.uv.es, ane.etxebeste@ific.uv.es, csolaz@ific.uv.es, carlos.lacasta@ific.uv.es, emunoz@ific.uv.es, gabriela.llosa@ific.uv.es, jbarrio@i3m.upv.es, romarjor@ific.uv.es, jose.bernabeu@uv.es, oliver@ific.uv.es, luis.barrientos@ific.uv.es, maborllo@alumni.uv.es

The suitability of monolithic Lutetium Fine Silicate (LFS) continuous scintillation crystals coupled to 64-channel SiPM-TSV matrices for small animal PET is being evaluated by the IRIS group (<http://ific.uv.es/iris>) at IFIC. Three crystals of 25.8x25.8x15mm<sup>3</sup> size were tested: LYSO (white coating), LFS white coating (LFS-W) and LFS specular coating (LFS-S). Measurements were done to compare the performance of LYSO and LFS crystals, in coincidence with another LYSO crystal (white coating, 1x1x10mm<sup>3</sup>) coupled to a 1-channel SiPM, with a <sup>22</sup>Na source. Mean energy resolutions of 14%, 17% and 19% were measured for LYSO, LFS-S and LFS-W respectively. Similar intrinsic spatial resolutions were found for all three crystals in the central region. The position determination algorithm employed is being modified and evaluated for each type of coating. Further measurements with two head detectors of each type in coincidence are also being carried out with a moveable <sup>22</sup>Na source. A ML-MLEM image reconstruction code developed within the group is used to reconstruct the data. Final energy and position resolutions for all three configurations with the source in different positions will be shown.



50

## **Evolución y experiencia en radioterapia intraoperatoria de cáncer de mama en el C.H.U.I.-MATERNO INFANTIL**

Corresponding Author(s): juangranadosa@gmail.com

74

## **Implementation of monolithic crystals in developments for brain PET imaging**

Corresponding Author(s): agonzalez@i3m.upv.es

48

## **La Física Médica en la realidad hospitalaria: una historia de 40 años en la UCM**

Corresponding Author(s): chevalier@med.ucm.es

76

## **La tecnología HighResFlexToT y su aplicación a imagen médica**

Corresponding Author(s):

70

## **Laseres en cirugía oftalmológica**

Corresponding Author(s):

78

## **MCGPU-PET: A REAL-TIME MONTE CARLO PET SIMULATOR**

Corresponding Author(s): jdomarco@ucm.es

44

## **Medidas de atenuación en haces de fotones de Radioterapia**

Víctor Delgado Martínez<sup>1</sup> ; Javier de Areba Iglesias<sup>1</sup> ; Carlos Prieto Martín<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad Complutense*

<sup>2</sup> *Hospital Clínico San Carlos y Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad Complutense*

**Corresponding Author(s):** vdelgado@ucm.es

Se han realizado medidas de atenuación con agua y agua sólida y con polietileno en haces de fotones para radioterapia producidos a 6MV en un acelerador de electrones Primus y en un acelerador Varian, ambos en el Hospital Clínico San Carlos de Madrid.

En las medidas con atenuadores de agua y agua sólida se encontraban incongruencias entre los valores obtenidos con agua en garrafas y agua sólida, por lo que se ha optado por diseñar, construir y calibrar un conjunto de atenuadores de polietileno y se ha hecho un protocolo de medida con el que se mide atenuación desde 0.5 cm hasta 144 cm de polietileno interpuesto en el haz.

La intención es, a partir de esas medidas de atenuación, obtener la fluencia en energía del haz y reconstruir su distribución espectral. Para ambas tareas se extienden a altas energías métodos de obtención de la fluencia de energía y de obtención de la distribución espectral a energías de radiodiagnóstico, que es un problema inverso mal condicionado, ya validados.

Como paso previo se han buscado las fuentes de errores sistemáticos, asociadas a falta de equilibrio electrónico o malas condiciones geométricas, que puedan afectar a las medidas, encontrando unas condiciones que nos parecen suficientes.

Como primera comprobación se ha comparado la curva de atenuación medida con la calculada a partir del modelo de distribución espectral que incluyen ambos aceleradores para simular distribuciones de dosis. Se ha encontrado una discrepancia sistemática: Las curvas de atenuación calculadas a partir de los modelos de espectro de ambos aceleradores son más penetrantes que las curvas medidas.

Aunque los modelos de espectro son muy burdos, esta discrepancia nos mueve a analizar en profundidad, para poder evitarlas, la posible presencia de fuentes de errores sistemáticos.

60

## **Modelling the interaction of ion and electron beams with biomaterials for application in ion beam cancer therapy**

**Corresponding Author(s):** pablo.vera@um.es

61

## **MultiRBE: Optimización radiobiológica para protones con modo selectivo de RBE**

**Corresponding Author(s):** dsparcerisa@ucm.es

81

## **NEUROMODULATION FOR MOTOR RECOVERY IN STROKE PATIENTS**

Michele Dileone<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Unidad Avanzada de Neurorrehabilitación-Hospital Los Madroños-Brunete*

**Corresponding Author(s):** dileone.michele@gmail.com

Stroke is a leading cause of disability worldwide. Seeking new therapeutic options is mandatory for improving existing motor rehabilitation techniques to obtain a better motor recovery.

Stroke patients undergo some spontaneous degree of functional recovery; this process may occur even beyond the resolution of acute changes and could be due to the reorganization of remaining neural circuits. This reorganization falls into the concept of plasticity that could be defined as any enduring change in cortical properties. Plasticity is continuously modified by experience and learning and seems to be enhanced after brain lesions.

In the last decades, plasticity of human brain after a lesion has been studied in vivo by means of non invasive brain stimulation (NIBS): neurophysiologic and biologic substrate of plasticity should provide a rational basis for tailoring specific strategies for therapeutic intervention for stroke recovery. It can be hypothesized that shaping reorganization in the adjacent intact cortex, and contralateral healthy hemisphere could facilitate functional recovery of the brain after stroke. NIBS can modulate cerebral cortex excitability not invasively and seem to be a promising tool for driving plasticity in damaged brain.

To this aim, we tested whether the application of NIBS, following different theoretical models and applied in different stages after a stroke, could enhance motor recovery in upper limb.

Our studies demonstrated that NIBS, by means of repetitive TMS or tDCS, could be considered a safe procedure to apply in stroke patients both in the acute and chronic phases. On the other hand, we demonstrated that NIBS are able to change motor cortex excitability in stroke patients toward an inter-hemispheric re-balance when applied to increase stroke hemisphere excitability (or decrease unaffected hemisphere excitability)

Furthermore, although larger and multi-centric studies are warranted to draw stronger conclusions, the induction of metaplasticity in the affected hemisphere by means of inhibitory protocols could be considered as a useful and promising tool to restore learning and improve motor function also years after a stroke.

#### References

1. Di Lazzaro V, Dileone M, Capone F, Pellegrino G, Ranieri F, Musumeci G, Florio L, Di Pino G, Fregni F. Immediate and late modulation of interhemispheric imbalance with bilateral transcranial direct current stimulation in acute stroke. *Brain Stimul.* 2014 Nov-Dec;7(6):841-8.
2. Di Lazzaro V, Rothwell JC, Talelli P, Capone F, Ranieri F, Wallace AC, Musumeci G, Dileone M. Inhibitory theta burst stimulation of affected hemisphere in chronic stroke: A proof of principle, sham-controlled study. *Neurosci Lett.* 2013 Oct 11;553:148-52.
3. Talelli P, Wallace A, Dileone M, et al Theta Burst Stimulation in the Rehabilitation of the Upper Limb: A Semirandomized, Placebo-Controlled Trial in Chronic Stroke Patients. *Neurorehabil Neural Repair.* 2012 Oct;26(8):976-87.

54

## **Neuromodulation for motor recovery in stroke patient**

**Corresponding Author(s):**

68

## **New facilities for hadrontherapy – the linac solution**

**Corresponding Author(s):**

49

## **Nuevos procedimientos en seguridad, dosimetría y protección radiológica para las ciencias de la salud**

**Corresponding Author(s):**

67

### **PRONTO: Técnicas nucleares y simulaciones avanzadas para verificación de rango en protonterapia**

**Corresponding Author(s):** lmfraile@ucm.es

58

### **Photoacoustic dose monitoring in clinical photon beams**

**Corresponding Author(s):** oliviami@ucm.es

69

### **Physical dose enhancement by Au nanoparticles under ion beam irradiation**

**Corresponding Author(s):** m.fuss@gsi.de

22

### **Production yields of positron emitters for range verification in proton therapy**

**Author(s):** María Teresa Rodríguez González<sup>1</sup>

**Co-author(s):** Carlos Guerrero<sup>1</sup>; María del Carmen Jiménez Ramos<sup>2</sup>; Ángel Parrado<sup>2</sup>; Jorge Lerendegui Marco<sup>1</sup>; María de los Ángeles Millán Callado<sup>1</sup>; José Manuel Quesada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Universidad de Sevilla*

<sup>2</sup> *Centro Nacional de Aceleradores*

**Corresponding Author(s):** sarete6@hotmail.com

In proton therapy, the range of the proton beam is assumed to be between 1% to 3% and hence sizeable safety margins are applied in current treatment plannings, which limits the benefits of having a sharp Bragg peak. Reducing this uncertainty would allow a better utilization of the advantages of proton therapy over conventional radiotherapy, and hence there is an intensive research program aiming at in vivo range verification of the proton beam [1].

Among the techniques available nowadays, in-vivo PET range verification relies on the comparison of the measured and estimated activity distributions of positron emitters induced on mainly C, N, O, Ca and P present in the human body by the proton beam, right after treatment (long-lived positron emitters <sup>11</sup>C and <sup>13</sup>N) or during the irradiation (short-lived positron emitters <sup>15</sup>O, <sup>29</sup>P and <sup>12</sup>N). The accuracy of the estimated distributions is basically that of the cross-section data available, which are

the main input of the Monte Carlo simulations [2]. A revision of the experimental data available in the EXFOR database [3] indicates that these cross sections have not been measured in the full energy range of interest and that there are sizeable discrepancies between the different data. Indeed, several studies confirm the need of more accurate measurement of cross sections of the reaction channels that contribute to the production of the mentioned positron emitters [4].

The aim of the work presented herein is to develop a method for measuring the production yields of the long-lived positron emitters in the most abundant isotopes in the human body (carbon, nitrogen and oxygen) in the full energy range for proton therapy (up to ~250 MeV). As a first step, the developed method has been tested and used to measure these cross sections at the CNA cyclotron. This method consists in the degradation of the 18 MeV proton beam by means of a multi-stack target configuration in order to obtain the cross sections in different energy points. The thin films used are rich in C, N and O to produce the long-lived positron emitters  $^{11}\text{C}$  and  $^{13}\text{N}$ . The activity induced in each film is then measured using the clinical PET scanner at CNA, so that the acquisition in dynamic mode provides the activity curves to identify the decay of each isotope.

The production cross sections of the different reaction channels have been obtained below 17 MeV and compared with the data available. The results obtained for the  $^{14}\text{N}(p,*)^{11}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}(p,*)^{13}\text{N}$  will be presented together with the plan for measuring at high proton energies.

[1] A.C. Knopf and A. Lomax, Phys. Med. Biol. 58 (2013)

[2] H. Paganetti, Phys. Med. Biol. 57 (2012)

[3] Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR) <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>

[4] España et al., Phys. Med. Biol. 56(9) (2011)

62

## **Production yields of positron emitters for range verification in proton therapy**

Corresponding Author(s): sarete6@hotmail.com

63

## **Proton RBE at low energies: preparation of a new radiobiology beam line at the 18 MeV proton cyclotron facility at CNA**

Corresponding Author(s): abaratto@us.es

51

## **RADIA system for radiotherapy treatment verification: dose calibration and Bayesian reconstruction of axial dose maps**

Corresponding Author(s): adominguez18@us.es

56

## **Radiomics in lung cancer: lesion heterogeneity quantification by PET images features.**

Corresponding Author(s):

59

## Real-time dose computation algorithm for the INTRABEAM system

Corresponding Author(s): pbibanez.86@gmail.com

55

## Reducción de ruido en la imagen PET mediante análisis multi-escala con wavelets: estudio en maniquí

Corresponding Author(s): chuerga@gmail.com

42

## Simulación de Imagen por Contraste de Fase de Rayos X

Sara Heras Quílez<sup>1</sup>; Diego García Pinto<sup>1</sup>; MARGARITA CHEVALIER<sup>2</sup>; Maria Castillo<sup>1</sup>; Tatiana Alieva Krasheninnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Complutense de Madrid

<sup>2</sup> UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Corresponding Author(s): sarheras@ucm.es

**Objetivo:** El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un código de simulación para la obtención de imágenes por contraste de fase de rayos X.

**Introducción:** Las imágenes de atenuación de rayos X presentan un alto contraste entre tejidos que posean grandes diferencias en el número atómico, pero dicho contraste se reduce mucho entre tejidos con similar número atómico. Para aumentar el contraste de estos últimos, se empezó a analizar el hecho de que cuando un haz de rayos X atraviesa un material, a la vez que disminuye la intensidad, sufre un cambio en su fase que depende del material. Este cambio puede llegar a ser 3 órdenes de magnitud mayor que el correspondiente en la intensidad, siendo más pronunciados en las superficies de separación entre tejidos, lo que se conoce como realce de borde [1]. Las imágenes en las que el contraste está determinado por las variaciones en la fase de los rayos X se denominan imágenes por contraste de fase y existen diversas técnicas para su obtención [2], siendo la más simple la denominada contraste de fase en línea.

**Materiales y métodos:** El algoritmo de simulación se basa en la teoría de difracción de Fresnel y se ha implementado en MATLAB, además hace uso de la programación en GPU para optimizar los tiempos de cálculo. Dicho código permite obtener la imagen por contraste de fase de objetos de distinta geometría y composición. También es posible simular un haz de rayos X paralelo o cónico, compuesto por una sola energía o un espectro de energías. El efecto que tiene en la imagen la resolución del detector se introduce por medio del tamaño de píxel del mismo. Los resultados presentados en este trabajo se han obtenido utilizando una computadora con un procesador Intel Core i5 de 3GHz, con una memoria RAM de 8 GB y una GPU NVIDIA GeForce GT 620.

**Resultados:** Con el código desarrollado se han simulado las imágenes para distintas condiciones de adquisición (kVp, distancia fuente-objeto y objeto-detector) y varios materiales, con el fin de analizar como afectan estos parámetros a las imágenes por contraste de fase. En la figura 1 se puede observar el efecto que tiene la resolución del detector sobre una imagen de una esfera de PMMA. En la figura 2 se muestra el efecto que tiene en el realce de borde, la energía del espectro de rayos X y como éste disminuye al aumentar la energía.

**Conclusiones:** Utilizando la teoría de difracción de Fresnel es posible simular imágenes por contraste de fase utilizando rayos X en las que el realce de borde disminuye al aumentar la energía o disminuir la resolución del detector.

[1] Jian Fu. Phase Contrast Computed Tomography, Computed Tomography - Clinical Applications, Dr. Luca Saba (Ed.), ISBN: 978-953-307-378-1, InTech, (2012).

[2] A. Momose, "Recent advances in X-ray phase imaging," Jpn. J. Appl. Phys. 44, 6355–6367 (2005).

53

## Simulación de imágenes por contraste de fase de rayos X

Corresponding Author(s): diegogar@ucm.es

46

## TRAX-CHEM: a pre-chemical and chemical stage extension of the particle track structure code TRAX

Daria Boscolo<sup>1</sup> ; Michael Krämer<sup>1</sup> ; Marco Durante<sup>2</sup> ; Martina Fuss<sup>1</sup> ; Emanuele Scifoni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung

<sup>2</sup> Trento Institute for Fundamental Physics and Applications (TIFPA)

Corresponding Author(s): m.fuss@gsi.de

The indirect effect of radiation plays a very important role on the radiation effect on biological systems. The interaction of chemical species generated during water radiolysis, among themselves and with the target material, results to be especially relevant as they are responsible for a large portion of the radiation-induced biological damage. However the nanoscopic processes and mechanisms underlying the radicals diffusion and reaction along a particle track are still not completely known. In this context, the development of models and tools able to describe the chemical track evolution will allow not only to better investigate the indirect effect of radiation damage, but also to access problems where the chemical pathway seems unavoidable, namely nanoparticles sensitisation effect, the impact of the target oxygenation level on the tissue radiosensitivity and the possibility of investigating the role of radical scavengers on the chemical kinetics along an ion track.

Monte Carlo track structure codes are particularly suitable for studying the microscopic processes involved in the radiation damage thanks to their capability to handle the stochastic nature of radiation interaction with the target material. In this poster, the new implementation of the pre-chemical and chemical module of the Monte Carlo particle track structure code TRAX will be presented. Thanks to this extension the code is now able to describe with a step by step approach the production, diffusion and reaction of particle beam induced water-derived radicals. After a description of the implemented model, the chemical evolution of the most important products of water radiolysis,  $e_{aq}^-$ ,  $OH\cdot$ ,  $H\cdot$ ,  $H_3O^+$ ,  $H_2$ ,  $OH^-$  and  $H_2O_2$  is studied for electron, proton, helium, and carbon ion radiation at different energies. The validity of the model is verified by comparing the calculated time and LET dependent yield with experimental data from literature and other simulation approaches.

71

## Tratamiento de señales ópticas para diagnóstico no invasivo

Corresponding Author(s):

## Uso de la dosimetría en vivo en la verificación de dosis de los tratamientos de braquiterapia

Daniel Martínez Rodríguez<sup>None</sup> ; Víctor De La Llana Granja<sup>None</sup> ; Jesús María De Frutos Baraja<sup>None</sup> ; David Pérez Miguel<sup>None</sup> ; Carlos Andrés Rodríguez<sup>None</sup> ; Manuel Agulla Otero<sup>None</sup> ; Ricardo Torres Cabrera<sup>None</sup> ; Ángel Del Castillo Belmonte<sup>None</sup> ; Delfin Alonso Hernández<sup>None</sup> ; María Sánchez Belda<sup>None</sup> ; Pilar Alonso Martínez<sup>None</sup> ; Patricia Diezhandino García<sup>None</sup>

### Corresponding Author(s):

#### Introducción

Es conveniente utilizar dosimetría en vivo en braquiterapia con el objetivo de verificar que la dosis que está llegando a los volúmenes a tratar y a los órganos de riesgo del paciente es la que se ha planificado. En el Hospital Clínico Universitario de Valladolid se monitoriza la dosis en los tratamientos de carcinoma de cérvix y endometrio cuando se realizan los tratamientos de los mismos. Es un método para detectar grandes desviaciones, no está concebido para detectar pequeñas desviaciones de dosis en las aplicaciones de los tratamientos. En este tipo de tratamientos debe tenerse también en cuenta que existen grandes gradientes de dosis. El objetivo de este trabajo es presentar a otros usuarios la forma de verificar este tipo de dosimetrías.

#### Metodología

Para la aplicación de la braquiterapia se ha utilizado un dispositivo de alta tasa de Bebig modelo Sagi-nova. En esta unidad se utiliza una semilla de I-192. La planificación de los tratamientos fue realizada con el sistema de planificación SagiPlan Version 2.0.2. Los diodos utilizados para realizar las medidas son cinco diodos en un array modelo PTW T9112 para medidas de dosis en recto y un diodo modelo PTW T9113 para medida de dosis vesical. El electrómetro utilizado es PTW vivodos. Los aplicadores utilizados son cilindro tipo stump y Fletcher de diferente longitud (2-4-6-8 cm) con dos colpostatos. Se utiliza en pacientes con patología de cervix o endometrio que se tratan con braquiterapia con los aplicadores de Fletcher (Figuras 1 y 2) o cilindro (Figura 3), respectivamente. La planificación se realiza con una tomografía computarizada que se realiza a la paciente una vez se han implantado tanto los diodos como el aplicador con el que se va a realizar el tratamiento, inmediatamente tras la adquisición del CT para evitar posibles desplazamientos de los diodos y cambios fisiológicos en este intervalo de tiempo, que desde la realización del CT hasta la realización del tratamiento suele ser de 20-25 minutos. En la planificación se marcan con puntos las posiciones de los diodos, y se calcula en éstos las dosis que se recibirá. Durante el tratamiento se recoge con un electrómetro la carga de los diodos, obteniéndose la dosis en los órganos de riesgo y comparándose con la planificada.

#### Resultados.

A continuación se muestran los valores de medida obtenidos en un caso de cilindro y otro de aplicador Fletcher. Se muestran los valores para cada diodo obtenidos en el plan, obtenidos en la medida y la diferencia relativa entre estos valores:

Medidas cilindro (dosis absorbida, Gy): Sólo diodos rectales.

Plan: D1: 2,14; D2: 2,79; D3: 2,85; D4: 2,41; D5: 1,65

Medida: D1: 2,72; D2: 2,93; D3: 3,00; D4: 2,00; D5: 2,00

Diferencia(%): D1: 8,41; D2:-5,02; D3: 4,21; D4: 9,54; D5:-9,09

Medidas Fletcher:

Plan: D1: 2,72; D2: 1,68; D3: 1,11; D4: 0,77; D5: 0,55; DV: 4,87

Medida: D1: 2,80; D2: 1,73; D3: 1,15; D4: 0,78; D5: 0,56; DV: 3,98

Diferencia(%): D1:-2,94; D2:-2,98; D3:-3,60; D4:-1,30; D5:-1,82; DV: 18,28

#### Conclusión:

Se observa una buena correspondencia entre los valores medidos y planificados que puede ayudar a detectar posibles grandes errores en la aplicación del tratamiento de braquiterapia.



## Verificación de planes de arcoterapia multiisocentro

Daniel Martínez Rodríguez<sup>1</sup> ; Delfin Alonso Hernández<sup>1</sup> ; Víctor De La Llana Granja<sup>1</sup> ; David Miguel Pérez<sup>1</sup> ; Ángel Del Castillo Belmonte<sup>1</sup> ; Carlos Andrés Rodríguez<sup>1</sup> ; Manuel Agulla Otero<sup>1</sup> ; Jesús De Frutos Baraja<sup>1</sup> ; Ricardo Torres Cabrera<sup>1</sup> ; María Ruiz Aznar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Clínico Universitario de Valladolid

**Corresponding Author(s):** damartinez43@gmail.com

### Objetivo

El objetivo principal es obtener un método para validar la dosimetría de los planes de tratamiento cuando estos tienen varios arcos con diferentes isocentros y los arcos se superponen. Se pretende verificar que no se producen zonas de sobredosificación o subdosificación cuando se realiza el tratamiento completo.

### Metodología

La distribución de dosis fue calculada con el sistema de planificación de tratamientos de radioterapia (TPS) Eclipse versión 13.7 en la tomografía computarizada (CT) del paciente y en el maniquí que se ha utilizado para la comprobación de la dosimetría.

El tratamiento se llevó a cabo con un acelerador lineal Varian DHX y la dosis fue medida con el maniquí de medida Octavius 4D y la matriz de medida Octavius 729 de PTW. Los campos de tratamiento se midieron individualmente y los dispositivos de medida no se desplazaron durante la irradiación del tratamiento.

El plano de comparación que se iba a utilizar fue convertido a una imagen en formato de tipo tiff para cada campo con el software Verisoft de PTW. El mismo plano de dosis obtenido en el TPS también se convirtió en una imagen tiff.

Se creó una imagen compuesta con las imágenes de cada campo individual con el software imageJ. Cada imagen se desplazó en función de la diferencia de posición de los isocentros de cada campo y se obtuvo una imagen de la distribución de dosis completa con la suma compensada por la dosis máxima de cada campo.

La imagen del tratamiento completo obtenida del TPS se comparó con esta imagen.

### Resultados

Las imágenes se compararon utilizando diferentes perfiles. La diferencia promedio en las regiones de interés (donde había superposición de arcos) fue del 3,33%

La diferencia de dosis máxima encontrada fue del 23%. Se encontró una subdosificación en uno de los bordes del maniquí de cálculo en el sistema de planificación donde ya no había superposición de arcos en esa zona del tratamiento.

### Conclusiones

Dado que este es un método que permite comparar la dosis absorbida total que se recibirá en un plano al sumar las contribuciones de todos los campos medidos (irradiados) con la dosis calculada por el planificador, parece ser un método fiable para comprobar si un tratamiento de arcoterapia con varios isocentros puede ser realizado correctamente por el acelerador lineal.

## Óptica oftálmica para corrección de la visión

**Corresponding Author(s):**