



## La radioterapia “a medida” mejorará los tratamientos contra el cáncer

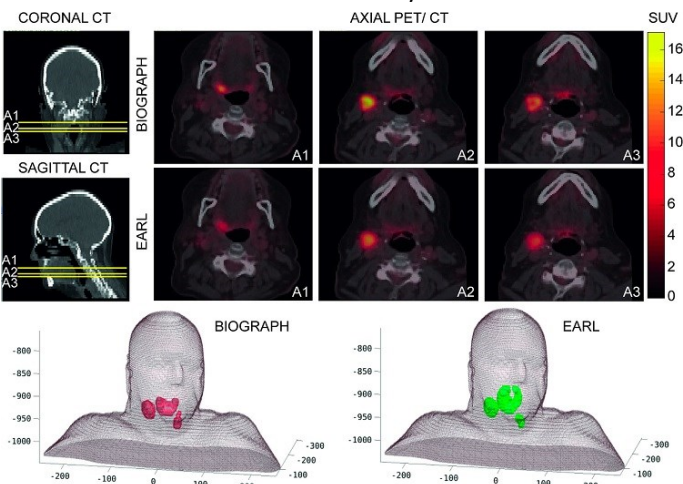
\* **Gracias a modelos matemáticos se podrá personalizar el tratamiento que recibe el paciente.**

\* **Para ello se empleará la técnica Dose Painting by Numbers, que permitirá dirigir y adaptar el tratamiento para cada caso concreto.**

La radioterapia que se ofrece en la actualidad, a pesar de atender a la particularidad del tipo de tumor o a factores genéticos, se sustenta en estudios basados en la evidencia, es decir, en la experiencia tras aplicar los tratamientos y evaluar los resultados obtenidos. Como resultado, la mayoría de tratamientos en radioterapia están basados en una medicina poblacional, donde la prescripción de dosis, así como la definición de los volúmenes de interés, se realiza sobre la imagen morfológica o anatómica, habitualmente obtenida por estudio de TAC del paciente. Estas actuaciones sobre la imagen se han ido reajustando según la evidencia de éxito o fracaso, promediadas a partir de una gran base de datos de pacientes con igual patología.

Un parámetro fundamental es necesario incluir en las planificaciones de radioterapia para conseguir tratamientos más ambiciosos. Se trata del tiempo, y con ello, describir la evolución de la enfermedad, puesto que permitiría minimizar la incertidumbre y definir con mayor precisión la extensión de los tejidos enfermos, a fin de que la dosis solamente afecte a la enfermedad, sin dañar tejido sano. A través de la planificación basada en la información funcional que puede aportar un dispositivo de imagen como el PET/TAC, es posible tener en cuenta las particularidades fisiológicas de la lesión en cada paciente, así como los cambios que se producen durante el curso del tratamiento, de forma que éste puede ser adaptado a dichos cambios, conduciendo a una radioterapia adaptativa fuertemente personalizada.

Como consecuencia de la investigación llevada a cabo en colaboración entre el grupo de Física Médica que dirige el profesor Antonio Leal en el Departamento de Fisiología Médica y Biofísica de la Universidad de Sevilla y el Centro Nacional de Aceleradores, se ha desarrollado un modelo de planificación de tratamientos radio-



terápicos basado exclusivamente en la imagen morfofuncional, considerando la información anatómica y fisiológica incluida en la imagen clínica del paciente. De esta manera, según nos indica la Dra. Jiménez Ortega **“a diferencia del procedimiento habitual basado en la evidencia poblacional, donde la prescripción de la dosis de tratamiento tiende a**

## El CNA colabora contra el tráfico ilegal de especies silvestres

\* El Centro Nacional de Aceleradores formará parte del PlanTIFIES.

\* Participará en las “Jornadas de identificación y control de marfil de procedencia ilegal”.



## Social Media y Webs

### Webs CNA:

[www.institucional.us.es/](http://www.institucional.us.es/)  
[divulgacioncna/](http://divulgacioncna/)  
[www.cna.us.es](http://www.cna.us.es)

### Email:

[divulgacion-cna@us.es](mailto:divulgacion-cna@us.es)  
[redescna@us.es](mailto:redescna@us.es)

### Social Media:

[Facebook](#)  
[Twitter](#)  
[LinkedIn](#)  
[Flickr](#)  
[Canal Youtube](#)



“Una manera de hacer Europa”





## UNIDAD DE CULTURA CIENTÍFICA Y DE LA INNOVACIÓN DEL CENTRO NACIONAL DE ACELERADORES (UCC+i)

Número 33



09 de julio de 2019

***ser homogénea a toda la lesión, se ha empleado una nueva forma de prescribir la dosis, conocida como Dose Painting by Numbers, tratando de aumentar la dosis en las zonas más resistentes o más activas del tumor”.***

La técnica Dose Painting by Numbers exige una alta precisión en el cálculo de la dosis que recibe el paciente. Para ello, el equipo de trabajo apostó por el método matemático conocido como full Monte Carlo. Con este modelo se tienen en cuenta tanto las posibles interacciones del haz de partículas terapéutico con los distintos componentes del acelerador, así como a través de los tejidos del paciente a tratar. Este método numérico permite una solución teórica precisa, en contraste con el cálculo analítico que se sigue en los planificadores comerciales instalados en los centros hospitalarios.

Como resultado de este trabajo, se han propuesto soluciones para tratamientos de radioterapia adaptativa basadas exclusivamente en los cambios en la imagen, lo que ayudará a una implementación de la técnica más flexible y abierta a propuestas de deep learning. Los responsables de este estudio remarcan que ***“el procedimiento además, ofrece una metodología robusta, capaz de controlar las incertidumbres asociadas a la imagen morfofuncional, con lo que se espera pueda animar a los especialistas a usar este tipo de herramientas y así incorporar consideraciones biológicas que ayuden a un tratamiento del cáncer más personalizado y eficiente”.***

Con objeto de que este procedimiento pudiera ser convenientemente reproducible, fue necesaria la realización de una serie de experimentos que han permitido certificar el equipo PET/TAC del CNA bajo acreditación internacional EARL de la Asociación Europea de Medicina Nuclear, poniendo a este equipo en un contexto internacional válido para futuros proyectos intercentro.

El Centro Nacional de Aceleradores es una ICTS de localización única que forma parte del Mapa de ICTS actualmente vigente, aprobado el 7 de octubre de 2014 por el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación (CPCTI).

Referencia bibliográfica:

[1] Accurate, robust and harmonized implementation of morpho-functional imaging in treatment planning for personalized radiotherapy

Elisa Jiménez-Ortega, Ana Ureba, Jose Antonio Baeza, Ana Rita Barbeiro, Marcin Balcerzyk, Ángel Parrado-Gallego, Amadeo Wals-Zurita, Francisco Javier García-Gómez, Antonio Leal

PLoS ONE 14(1) (2019). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210549>

## Desarrollo de centelleadores como detectores de radiación ionizante

***\* Este nuevo sistema permite identificar las partículas cargadas que atraviesan el material según el color de la “luz” emitida.***

***\* Para ello se ha desarrollado un sistema de multicapas luminiscente reactivo a la radiación cargada.***

La fluencia y energía de la radiación de haces de partículas cargadas se controlan utilizando diversos sistemas tales como células de ionización, películas radiocromáticas o pantallas de fósforo acopladas a fotodiodos. En general, se trata de sistemas de monitorización de la radiación que son empleados en equipos tales como aceleradores de partículas o ciclotrones donde se producen radiofármacos, tal y como ocurre en el Centro Nacional de Aceleradores. Otras instalaciones que requieren estos sistemas de detección de radiación son los reactores de fusión, donde las pérdidas de iones rápidos son claves para el correcto funcionamiento de estos reactores.

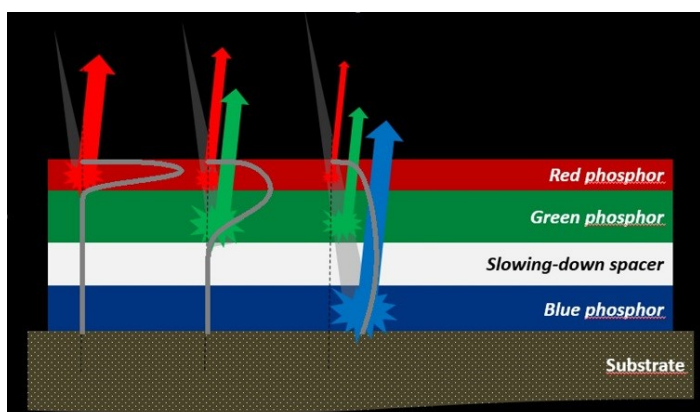


## UNIDAD DE CULTURA CIENTÍFICA Y DE LA INNOVACIÓN DEL CENTRO NACIONAL DE ACELERADORES (UCC+i)

Número 33



09 de julio de 2019



Un material luminiscente es aquél que emite en forma de luz, parte de la energía que se deposita en él. En el caso concreto del dispositivo desarrollado, cada capa luminiscente dentro del apilamiento consiste en una lámina de alta calidad óptica formada por óxidos transparentes dopados con tierras raras con una emisión luminiscente característica (un color emitido característico).

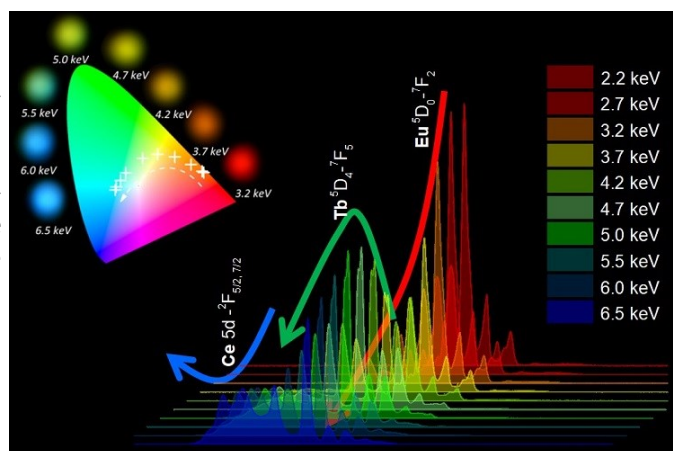
**“Cuando un haz de partículas cargadas (electrón, protones, partículas  $\alpha$ , etc.) interacciona con el apilamiento, deposita energía en las diferentes capas de manera distinta dependiendo de la energía y tipo de partícula incidente. Una parte de la energía depositada en cada capa se emitirá en forma**

**de luz, siendo el color de esta luz diferente para cada capa” (Dr. Ferrer).**

De tal modo que, realizando el diseño conveniente de la multicapa (espesor de cada capa, tipo de luminiscente, etc.), podremos relacionar de manera unívoca el color emitido con un determinado tipo y energía de partícula cargada.

Gracias a la colaboración entre el grupo Nanotechnology on Surfaces del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)) y el Centro Nacional de Aceleradores, se han diseñado y fabricado dos dispositivos para ilustrar las capacidades de estos nuevos tipos de detectores para evaluar la energía cinética de haces de electrones de unos pocos kilo-electronvoltios o partículas alfa de unos pocos mega-electronvoltios, si bien el concepto se puede extender a otras partículas y rangos de energía.

Este estudio se ha revelado como un enfoque poderoso y simple para el monitoreo de energía de haces de partículas cargadas, ya sea iones (es decir, basado en la detección de luminiscencia iónica) o electrones (es decir, catodoluminiscencia).



También se ha comprobado que estos dispositivos pueden diseñarse “a la carta” de acuerdo con el rango de energía y el tipo de partículas que se detectarán. Las señales emitidas desde tales detectores multicapa pueden recolectarse fácilmente en espectrómetros adecuados, y la señal espectral puede analizarse cuantitativamente usando como referencia los espectros característicos de cada capa luminiscente apilada en el dispositivo. Además, se ha demostrado que el concepto fotónico multicapa desarrollado en este estudio es totalmente compatible con detectores de color simples (incluido el ojo desnudo), donde, para determinados rangos de energías cinéticas, es posible una alta resolución en este parámetro seleccionando un apilamiento adecuado.

El Centro Nacional de Aceleradores es una ICTS de localización única que forma parte del Mapa de ICTS actualmente vigente, aprobado el 7 de octubre de 2014 por el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación (CPCTI).

Referencia bibliográfica:

Energy-Sensitive Ion- and Cathode-Luminescent Radiation-Beam Monitors Based on Multilayer Thin-Film Designs

Jorge Gil-Rostra, Francisco J. Ferrer, Juan Pedro Espinós, Agustín R. González-Elipse, Francisco Yubero

ACS Appl. Mater. Interfaces 9, 16313-16320 (2017)

DOI: 10.1021/acsami.7b01175





## El CNA colabora contra el tráfico ilegal de especies silvestres

**\* El Centro Nacional de Aceleradores formará parte del PlanTIFIES.**

**\* Participará en las "Jornadas de identificación y control de marfil de procedencia ilegal".**

Dentro de las contribuciones del Centro Nacional de Aceleradores a la sociedad y como Instalación Científica y Técnica Singular, cabe destacar que el CNA consta como entidad colaboradora del Plan de Acción Español Contra el Tráfico Ilegal y el Furtivismo Internacional de Especies Silvestres (PlanTIFIES).



El tráfico ilegal y el furtivismo de especies silvestres se han convertido en una de las actividades ilícitas organizadas más lucrativas a nivel mundial y por tanto es de gran importancia todo control que se pueda ejercer sobre estas actividades ante la posible puesta en riesgo e incluso extinción de especies tan destacadas como rinocerontes o elefantes.

En el marco de este proyecto el CNA ha llevado a cabo dataciones de marfiles de especies en peligro de extinción en la lucha contra el tráfico ilegal. Por citar ejemplos bien conocidos, el comercio ilícito de marfil se ha duplicado con creces desde 2007 y es más de tres veces superior al de 1998. En Sudáfrica, la caza furtiva del rinoceronte aumentó en un 7.000 % entre 2007 y 2013, lo que pone en peligro la supervivencia de esta especie.

Además de esta colaboración previa, durante dos semanas en mayo y junio de 2019, el CNA participará en las "Jornadas de identificación y control de marfil de procedencia ilegal", organizadas por el Ministerio para la Transición Ecológica en colaboración con el SEPRONA. En dichas jornadas de formación se reflejará, entre otros aspectos, la posibilidad de realizar dataciones de marfil para uso forense mediante la determinación de la concentración de radiocarbono.

El Centro Nacional de Aceleradores es una ICTS de localización única que forma parte del Mapa de ICTS actualmente vigente, aprobado el 7 de octubre de 2014 por el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación (CPCTI).



Aprobado por el Consejo de Ministros el 16/02/2018 (BOE nº 87)



### Referencia bibliográfica:

Plan de Acción Español Contra el Tráfico Ilegal y el Furtivismo Internacional de Especies Silvestres (PlanTIFIES) aprobado por el Consejo de Ministros el 16/02/2018 (BOE nº 87)  
<https://sites.google.com/gl.miteco.es/plan-tifies>



## Aceleradores de partículas para irradiar cultivos celulares

**\* El Centro Nacional de Aceleradores dispone de un dispositivo para irradiación de cultivos celulares con protones de bajas energías en el acelerador Tándem.**

**\* Con una nueva línea de trabajo en el ciclotrón se pretende irradiar los cultivos con energías superiores para realizar estudios biológicos que puedan aportar luz a los tratamientos de protonterapia en pacientes con tumores.**

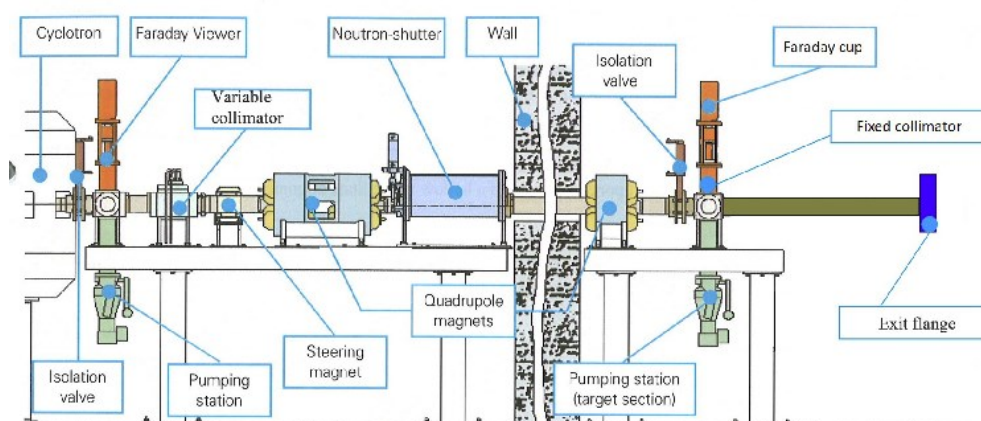
La Radiobiología es una parte de la Biología que estudia los efectos que inducen en los seres vivos las radiaciones ionizantes. Uno de los efectos de estas radiaciones es la generación de mutaciones genéticas, algunas de las cuales pueden inducir tumores. Por otro lado, también pueden destruir un tumor al incidir sobre él con las dosis adecuadas, de ahí que sea de gran interés conocer con profundidad qué posibles daños pueden generar estas radiaciones.

En el CNA existe actualmente un sistema para irradiar células con protones de bajas energías, por debajo de 5 MeV, en uso; este trabajo ha buscado la puesta a punto de un dispositivo que alcanza energías superiores, haciendo uso para ello del acelerador Ciclotrón, que proporciona protones de 18 MeV.

Estas energías de los haces de iones del ciclotrón que se emplearán para irradiar células y estudiar los daños inducidos, siguen siendo bastante menores comparadas con las que recibe un paciente en el propio tratamiento con protones, donde se puede llegar a alcanzar hasta los 200 MeV.

A pesar de esta gran diferencia de energía de radiación, las energías que llegan al tumor una vez el haz ha penetrado en el paciente son del orden de las que podemos generar en el CNA y por tanto se puede obtener algunas conclusiones del efecto de la radiación en la zona tumoral.

Varios estudios indican que la eficacia biológica relativa de los protones no es constante como se suele considerar, sino que crece conforme los protones se van frenando en los tejidos y alcanzan energías muy bajas. No hay muchos datos biológicos en este rango de energía, ya que no es fácil hacer experimentos a energías muy bajas en centros clínicos, donde la energía nominal de los protones es de varias decenas de MeV o superior. Por ello, es interesante hacer este tipo de medidas en los aceleradores tándem y ciclotrón del CNA.



Hasta ahora, en el ciclotrón, se han estudiado las características del haz (energía, perfiles, homogeneidad), estableciéndose un sistema para la irradiación de cultivos celulares monocapa.

Para conseguir esta irradiación, es necesario abrir el haz para que abarque toda la superficie del cultivo y de modo que la distribución de dosis en el cultivo sea uniforme. Estas necesidades se han cubierto variando parámetros tales

como distancias entre muestras y haz o haciendo uso de láminas dispersoras intermedias de wolframio.



## UNIDAD DE CULTURA CIENTÍFICA Y DE LA INNOVACIÓN DEL CENTRO NACIONAL DE ACELERADORES (UCC+i)

Número 33



09 de julio de 2019

Para monitorizar la dosis y medir los perfiles del haz, se hizo uso de una cámara de ionización y películas radiocrómicas EBT3, que se oscurecen de forma proporcional a la dosis cuando incide la radiación, comparando los resultados de nuestras medidas con simulaciones Monte Carlo (SRIM). Se ha conseguido obtener un perfil lo suficientemente grande y homogéneo, con desviaciones máximas en la homogeneidad de alrededor de un 5%.

Este trabajo ha sido desarrollado por investigadores del Departamento de FAMN de la Facultad de Física de Sevilla y del centro Nacional de Aceleradores, dentro del marco de trabajo existente gracias al proyecto europeo OMA, Optimization of Medical Accelerators, y al proyecto nacional Física Nuclear y Aplicaciones Médicas en el CNA e Instalaciones Internacionales.

El Centro Nacional de Aceleradores es una ICTS de localización única que forma parte del Mapa de ICTS actualmente vigente, aprobado el 7 de octubre de 2014 por el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación (CPCTI).

Referencia bibliográfica:

Feasibility Study of a Proton Irradiation Facility for Radiobiological Measurements at an 18 MeV Cyclotron

Anna Baratto-Roldán, María del Carmen Jiménez-Ramos, Maria Cristina Battaglia, Javier García-López, María Isabel Gallardo, Miguel A. Cortés-Giraldo, José M. Espino. Instruments 2 (26) (2018)

<https://doi.org/10.3390/instruments2040026>



## Concentraciones de berilio-10 en Sevilla

**\* En el CNA se ha llevado a cabo la determinación de Berilio-10 en la atmósfera.**

**\* Se trata de un radionúclido meteórico y que ha sido medido a baja altitud y en núcleo urbano.**

El Berilio-10 es un radioisótopo del Berilio que se forma en las capas altas de la atmósfera cuando átomos como el nitrógeno y el oxígeno son bombardeados por los rayos cósmicos incidentes. Su producción depende de la altitud y latitud y son mayores a grandes alturas y en los polos. Su presencia en la atmósfera varía desde el orden de dos semanas en la troposfera hasta varios años en la estratosfera, según la altitud donde se produce (troposfera o estratosfera). Después de este tiempo, el Berilio-10, comienza a caer y depositarse en la superficie de la tierra.

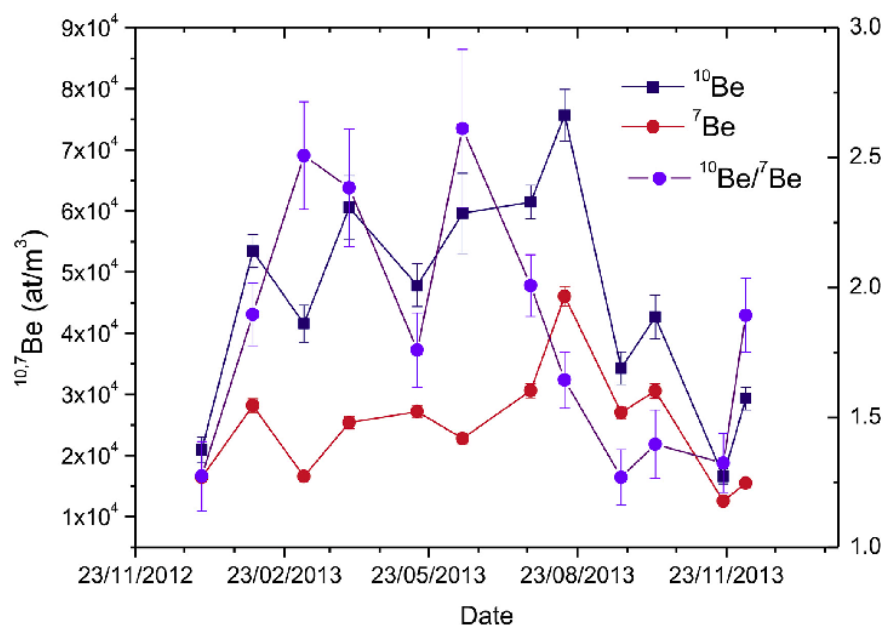
Estos radioisótopos llamados "cosmogénicos", cuando poseen vidas medias muy grandes, del orden de un millón de años como sucede con el  $^{10}\text{Be}$ , tienen una gran utilidad en campos científicos tales como la Geología o la Geocronología ya que se convierte en un cronómetro de procesos geológicos. En el estudio concreto que se presenta se han analizado filtros de aerosoles. El Berilio-10 en este tipo de muestras puede ser empleado como un trazador de procesos atmosféricos.





Normalmente, este tipo de muestras son tomadas a gran altitud y latitud, o incluso directamente con avión en la estratosfera, lo que condiciona a una mayor limpieza del filtro con el que se toma la muestra. En nuestro caso, la ciudad de Sevilla se encuentra a baja altitud y media latitud, lo que condiciona su producción y, además, las muestras se tomaron en pleno centro urbano, concretamente en la azotea de la Facultad de Física. Las muestras mostraron grandes cantidades de partículas diferentes, además de los aerosoles atmosféricos buscados, debido a las partículas en resuspensión que llegan al filtro tomado como muestra. Este hecho condujo a la necesidad de diseñar un nuevo procedimiento radioquímico en el laboratorio de AMS del Centro Nacional de Aceleradores (CNA), con el fin de la extracción y aislamiento total del  $^{10}\text{Be}$  de la muestra original, su medida en el Espectrómetro de Masas con Acelerador y, finalmente, la determinación de su concentración.

Las concentraciones obtenidas de meteórico en la atmósfera en este estudio se encontraron en un rango de  $1.67\text{-}7.57 \times 10^4$  at/m<sup>3</sup> (átomos de  $^{10}\text{Be}$  por metro cúbico de aire atmosférico absorbido). Estos resultados se encuentran en total concordancia, mismo orden de magnitud, con los encontrados en otros estudios, lo que pone de manifiesto que tanto la radioquímica como la medida en el AMS fueron correctas.



A su vez, la concentración de  $^{10}\text{Be}$  meteórico fue comparada con la concentración de  $^{7}\text{Be}$ , también producido en la atmósfera y tomado en dichos filtros. Esta comparación condujo a la conclusión de que no había un aporte extra de  $^{10}\text{Be}$  debido a la resuspensión de partículas del suelo e incorporadas al filtro. Estos nuevos datos, aportados a la comunidad científica, junto con otros pueden ser utilizados para la realización de modelos referidos a movimientos atmosféricos.

El Centro Nacional de Aceleradores es una ICTS de localización única que forma parte del Mapa de ICTS actualmente vigente, aprobado el 7 de octubre de 2014 por el Consejo de Política Científica, Tecnológica y de Innovación (CPCTI).

### Referencia bibliográfica:

Meteoric  $^{10}\text{Be}$  in aerosol filters in the city of Seville

Padilla, J.M. López-Gutiérrez, G. Manjón, R. García-Tenorio, J.A. Galván, M. García-León

Journal of Environmental Radioactivity 196, 15-21 (2019)

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.10.009>