

# Memoria de Investigación 2013-2014

---

## Research Report 2013-2014

---



El presente informe ha sido elaborado por Sergio David León Dueñas, Técnico Outreach de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación del Centro Nacional de Aceleradores.

Sevilla, jueves, 30 de abril de 2015

*This report has been done by Sergio David León Dueñas, Outreach Technician of Scientific Culture and Innovation Unit of National Accelerator Centre.*

*Seville, Thursday, April 30, 2015*





---

## Índice / Index

---



## Índice / Index

Capítulo / Chapter	Página
<b>1. Introducción / Introduction</b>	<b>11</b>
<b>2. Estructura y Personal / Structure and Staff</b>	<b>17</b>
2.1 Dirección del Centro / Centre Management	17
2.2 Junta Rectora / Governing Board	18
2.3 Comité Científico / Scientific Committee	18
2.4 Personal del Centro / Centre Staff	18
2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit	18
2.4.2 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit	19
2.4.3 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physic Research Unit	19
2.4.4 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit	20
2.4.5 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit	20
2.4.6 Unidad de Divulgación Científica (UCC+i) / Outreach Unit (UCC+i)	20
2.4.7 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular staff at CNA	21
2.4.8 Personal del HUVR en el CNA / HUVR staff at CNA	21
2.4.9 Personal con acceso	21
2.5 Datos del Centro / Centre information	22
<b>3. Infraestructuras / Facilities</b>	<b>25</b>
3.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	26
3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines	27
3.1.2 Técnicas disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / Available techniques at 3 MV Tandem accelerator	30
3.1.3 Laboratorios del Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Laboratories	32
3.2 Ciclotrón / Cyclotron	37
3.2.1 Línea de Haz de Experimentación / Experimental Beam Line	39
3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron laboratories	43
3.2.3 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radiopharmacy and Molecular Imaging	48
3.2.4 Tomógrafo PET y TAC para pequeños animales / Small animal PET and CT	49
3.3 Tomógrafo PET/TAC para humanos / PET/CT human scanner	52
3.4 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas (AMS) / 1 MV Tandetrón Accelerator with Mass Spectrometer (AMS)	54
3.4.1 Laboratorio asociado al Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / AMS Laboratory	58

3.5 Acelerador MiCaDaS / MiCaDaS Accelerator	60
3.5.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service	62
3.5.2 Laboratorio de grafitización del Centro Nacional de Aceleradores (AGE) / Automated Graphitisation Equipment (AGE)	64
3.6 Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory	67
<b>4. Investigación / Research</b>	<b>73</b>
4.1 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit	74
4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science	74
4.1.2 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facility	94
4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage	112
4.2 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physics Research Unit	119
4.2.1 Desarrollo de detectores y electrónica asociada para el trazado de haces de núcleos exóticos / Novel detector development for beam tracking of exotic nuclei	119
4.2.2 Estudio de núcleos exóticos / Study of exotic nuclei	120
4.2.3 Nuevo sistema de detección para la verificación de tratamientos complejos de radioterapia con fotones / Novel detection system for verification of complex radiotherapy treatments with photons	121
4.2.4 Estudio de los efectos radiobiológicos de los protones y partículas alfa utilizando las instalaciones del CNA / Study of radiobiological effects of protons and alpha particles using CNA facilities	122
4.2.5 Física experimental de neutrones y terapia por captura neutrónica / Experimental neutron physics and neutron capture therapy	123
4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit	126
4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy	126
4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging	128
4.4 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit	136
4.4.1 Medidas de $^{129}\text{I}$ por AMS / AMS $^{129}\text{I}$ measurements	137
4.4.2 Medidas de isótopos de plutonio, $^{239}\text{Pu}$ y $^{240}\text{Pu}$ , y de $^{236}\text{U}$ en sedimentos marinos / Measurements of plutonium isotopes, $^{239}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}$ , and $^{236}\text{U}$ in marine sediments	139
4.4.3 Medidas de $^{26}\text{Al}$ y $^{10}\text{Be}$ / $^{26}\text{Al}$ and $^{10}\text{Be}$ Measurements	143
4.4.4 Medidas de $^{41}\text{Ca}$ / $^{41}\text{Ca}$ Measurements	144
4.4.5 Medida de $^{14}\text{C}$ / $^{14}\text{C}$ measurements	146
<b>5. CNA y Sociedad / CNA and Society</b>	<b>149</b>
5.1 El CNA y la Salud / CNA and Health	149
5.2 El CNA y el Medio Ambiente. / CNA and Environment	150
5.3 El CNA y la Cultura / CNA and Cultural Heritage	151
5.4 El CNA y la Empresa / CNA and Company	152
<b>6. Cultura Científica / Outreach</b>	<b>155</b>
6.1 Presentación / Presentation	155

6.2 Acciones / Actions	157
6.3 Otras acciones / Other actions	164
6.3.1 Año 2013 / Year 2013	164
6.3.2 Año 2014 / Year 2014	165
6.4 Impacto de actividades / Activities impact	167
6.4.1 Visitantes de las instalaciones por año / Annual visitants	167
6.4.2 Procedencia de los centros visitantes / Origin of visitant centers	167
6.4.3 Visitantes a exposiciones y ferias / Visitants of exhibitions	168
6.4.4 Comunicación Científica / Scientific press notes	168
<b>7. Producción Científica / Scientific Production</b>	<b>171</b>
7.1 Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects, Agreements and Contracts	171
7.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects	171
7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic Projects	172
7.1.3 Convenios y contratos / Agreements and Contracts	174
7.2 Artículos publicados / Published Articles	176
7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles	176
7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles	182
7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books	183
7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations	185
7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings	185
7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings	198
7.4 Tesis Doctorales y Trabajo Fin de Máster / Theses and Final Master Projects	202
7.4.1 Tesis Doctorales/ Theses	202
7.4.2 Proyecto de Fin de Máster / Final Master Project	203
7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings	204
7.5.1 Cursos / Courses	204
7.5.2 Coloquios / Seminars	205
7.5.3 Eventos / Meetings	207
<b>8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users</b>	<b>211</b>
8.1 Estadísticas de uso / Statistics	211
8.2 Gráficos estadísticos de uso de las instalaciones del CNA / CNA Facilities use statistics graphics	214
8.2.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	214
8.2.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS)	215
8.2.3 Laboratorio RADLAB / RADLAB Laboratory	216
8.3 Usuarios de las Instalaciones del CNA / CNA Facilities users	217
<b>9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA</b>	<b>223</b>
9.1 Uso de tiempo de haz en el Acelerador Tándem de 3 MV. Análisis de	223

Espectros y elaboración de Informes / 3 MV Tandem Accelerator beam time. Data Analysis and Reports	
9.2 Medidas de $^{14}\text{C}$ y Datación / $^{14}\text{C}$ Measurements and Radiocarbon Dating	225
9.3 Uso del micro-TAC y micro-PET / Animal PET/CT Scanning	227
9.4 Análisis de Isótopos de Plutonio, $^{239}\text{Pu}$ y $^{240}\text{Pu}$ , por AMS / Pu isotopes analysis $^{239}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}$ , by AMS	228
9.5 Uso de la línea de haz externo del Ciclotrón / External beam line Cyclotron use	230
9.6 Uso de tiempo de haz en el laboratorio de radiación gamma / Gamma Irradiation Laboratory use	231
<b>10. Calidad / Quality</b>	<b>235</b>
10.1 Componentes de la Unidad de Calidad / Quality Unit Members	237





---

## 1. Introducción / Introduction

---



## 1. Introducción / Introduction

---

El Centro Nacional de Aceleradores (CNA) es un centro mixto de la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que tiene como misión el desarrollo de la investigación en aceleradores de partículas y sus múltiples aplicaciones. El CNA, reconocido como Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS) es un centro abierto para que la comunidad científica y tecnológica nacional e internacional pueda desarrollar investigaciones utilizando sus instalaciones.

Esta memoria es una introducción a la estructura, el personal, y el equipamiento del centro, y contiene la investigación realizada durante los años 2013 y 2014. Mostramos las capacidades del CNA, con el ánimo de favorecer el establecimiento de colaboraciones con los sectores científicos y tecnológicos.

El bienio 2013-2014 ha visto la consolidación de las capacidades del CNA. Actualmente tenemos seis grandes instalaciones en pleno funcionamiento. El acelerador Tándem de 3 MV, herramienta potente y versátil para Ciencia de Materiales e Instrumentación Nuclear. El acelerador Ciclotrón, factoría de radiofármacos y fuente de irradiación. El acelerador Tandetrón para AMS, que encuentra radionucléidos en el medioambiente en proporciones ínfimas. El acelerador compacto MICADAS, dedicado a la datación por  $^{14}\text{C}$ . El irradiador de  $^{60}\text{Co}$ , fuente de fotones para irradiación de componentes aeroespaciales. Y el tomógrafo PET-TAC, complemento del ciclotrón para el diagnóstico de cáncer.

La crisis económica ha seguido en 2013-2014, tan dura como en el bienio anterior. La contribución de las instituciones del CNA (Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC) ha permanecido congelada, y no se han creado plazas permanentes. La cuantía de los proyectos de investigación nacionales se ha visto muy reducida. A pesar de estas graves dificultades, el funcionamiento de las nuevas instalaciones nos ha permitido captar recursos con los que mantener la contratación del personal clave. Hemos incrementado los fondos europeos, la facturación por uso de las instalaciones, y la financiación por contratos con otras instituciones. El Servicio Andaluz de Salud (SAS), la empresa de radiofármacos IBA, la empresa de componentes aeroespaciales ALTER, la empresa ENRESA, el CIEMAT y otras empresas y entidades, proporcionan un porcentaje importante de la financiación del CNA, que nos ha permitido mantener, no sin dificultad, nuestro nivel de calidad científica y tecnológica.

En 2013 planteamos un nuevo plan estratégico, en base al cual conseguimos renovar nuestro carácter de Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS). El CNA es una de las 23 ICTS que hay en el mapa actual. El plan estratégico 2013-2016 mantiene los mismos objetivos del plan 2008-2012. El plan estratégico es la línea vertebradora tanto de la investigación del centro como del desarrollo de las instalaciones. Sus objetivos científicos son:

- 1.- Desarrollo de Técnicas de Análisis por Haces de Iones (IBA) para análisis de materiales.
- 2.- Desarrollo de pruebas de irradiación de componentes tecnológicos y biológicos.
- 3.- Desarrollo de detectores de radiación e instrumentación nuclear.
- 4.- Espectrometría de masas por aceleradores (AMS) y datación por  $^{14}\text{C}$ .
- 5.- Producción de radiofármacos e imagen molecular.

El acceso al CNA puede realizarse a través de los servicios prestados por el centro. El CNA ha mejorado cualitativa y cuantitativamente el uso de sus instalaciones. Realizamos medidas por técnicas IBA, datación por radiocarbono, irradiación de componentes tecnológicos, imagen TAC de objetos de interés arqueológicos y medidas por AMS de las trazas de elementos radioactivos en muestras naturales. Investigadores, empresas o particulares, pueden enviar sus muestras al CNA, y obtener informes, por procedimientos avalados por certificaciones de calidad. Es especialmente relevante la Unidad de Diagnóstico por Imagen molecular del CNA, desarrollada en colaboración con el personal del Servicio Andaluz de Salud, por el que más de 1000 pacientes al año se benefician de las técnicas de imagen PET-TAC para el diagnóstico del cáncer.

En el CNA somos conscientes de la importancia de que la Sociedad conozca y valore la investigación científica. Por ello, mantenemos un programa de divulgación, con visitas al centro todos los viernes lectivos del año, principalmente de grupos de alumnos de secundaria y bachillerato, pero también de universitarios, profesionales y público general. También participamos en la Feria de la Ciencia de Sevilla, y en la Semana de la Ciencia del CSIC, y mantenemos una presencia activa en las redes sociales.

El CNA tiene unas infraestructuras de calidad. Sin embargo, estas infraestructuras no serían de ningún valor, sin el equipo humano que permite sacarles el máximo partido. El personal del CNA ha de afrontar, en el día a día, retos cambiantes para desarrollar su labor. Los usuarios externos plantean situaciones nuevas que tienen que resolver los técnicos del CNA. Los investigadores del CNA combinan su propia investigación con el desarrollo de las capacidades del centro, y el apoyo a los usuarios externos. El personal administrativo debe afrontar los requerimientos de las tres instituciones que conforman el CNA, gestionar las diversas fuentes de financiación, y apoyar la gestión de los proyectos del personal del centro. El personal del CNA realiza sus funciones con eficacia y eficiencia, manteniendo un espíritu de ilusión, colaboración y respeto.

Agradezco a todo el personal del centro por realizar sus aportaciones a esta memoria, y en particular a Sergio David León Dueñas por el trabajo de coordinación y edición de este documento.

***martes, 19 de mayo de 2015***

***Joaquín Gómez Camacho***

***Director del CNA***

*The National Accelerator Centre (CNA) is a joint centre depending on the University of Seville, the Junta de Andalucía and the High Council of Scientific Research (CSIC). It has the mission of carrying out research in particle accelerators and its multiple applications. CNA is recognized as a Singular Scientific and Technological Facility and it is open for the national and international scientific community to carry out research using its equipment.*

*This report is an introduction to the structure, the personnel and the facilities of the Centre, and it contains the research carried out during 2013-2014. We show the capacities of CNA, in order to promote collaborations with the scientific and technological communities.*

*The years 2013-2014 have seen the consolidation of the capacities of CNA. Presently, we have six large facilities running. The 3MV Tandem accelerator is a versatile tool for materials science and nuclear instrumentation. The cyclotron accelerator is a factory of radiopharmaceuticals and a source for Irradiation. The AMS tandetron accelerator finds radionuclides in the environment in tiny fractions. The compact accelerator MICADAS is used for  $^{14}\text{C}$  dating. The  $^{60}\text{Co}$  irradiator is a source of photons for irradiating aerospace components. The PET-CT scanner is the complement of the Cyclotron for cancer diagnosis.*

*The economic crisis has been as hard in 2013-2014 as in the previous years. The contribution of the institutions that constitute CNA (U. Sevilla, J. Andalucía and CSIC) to the running costs of CNA has remained frozen, and permanent personnel positions have not been created. National research funding has been sharply reduced. Despite these difficulties, the use of the new facilities has allowed us to obtain resources to keep the key personnel. We have increased the funding from European sources, the external funding through the usage fees of our facilities and the funds associated to contracts with other institutions. The Andalusian Health Service (SAS), the radiopharmacy company IBA, the aerospace company ALTER, the company ENRESA, CIEMAT and other companies and institutions provide an important fraction of CNA funding, which allowed us to maintain, not without difficulties, our level of scientific and technologic quality.*

*In 2013 we presented a new strategic plan, with which we renewed our status as Singular Scientific and Technological Facility (ICTS). CNA is one of 23 ICTS in the present map in Spain. The strategic plan 2013-2016 maintains the same objectives as the previous plan 2008-2012, and is the backbone of CNA research as well as the development of the facilities. The scientific objectives are:*

- 1.- Development of Ion Beam Analysis (IBA) Techniques for material analysis.*
- 2.- Development of irradiation trials of technologic components and biological samples.*
- 3.- Development of radiation detectors and nuclear instrumentation.*
- 4.- Accelerator Mass Spectrometry (AMS) and  $^{14}\text{C}$  dating.*
- 5.- Radiopharmaceutical production and molecular imaging.*

*CNA facilities can be accessed through the services provided. We have improved quantitatively and qualitatively, the use of our facilities. We perform measurements by IBA techniques, radiocarbon dating, irradiation of technological components, TAC imaging of archaeological objects, and AMS measurements of radioactive element traces in natural samples. Researchers, companies or individuals can send their samples to CNA, and obtain information reports performed following quality certificated procedures. Especially relevant is the Molecular Imaging Diagnostic Unit, in collaboration with the personnel of the Andalusian Health Service (SAS), through which more than 1000 patients every year benefit from the PET-CT imaging techniques for cancer diagnosis.*

*We are conscious at CNA of how important it is that society knows and values scientific research. For that purpose, we maintain a scientific outreach program, with visits to CNA every school Friday, mainly directed to secondary school students, but also for university students, and groups of professionals and general public. We also participate in scientific fairs, and in the CSIC science week, and maintain a high profile in social networks.*

*CNA infrastructures are high quality. However, they would be useless without the human team which makes the most out of it. CNA personnel have to face new challenges every day. External users have demands that have to be solved by CNA technicians. CNA researchers combine their own research with developing the facilities and supporting external users. Administrative personnel have to respond to the requirements of the three parent institutions of CNA, manage diverse funding sources, and support research projects. CNA personnel do their job with efficacy and efficiency, in a spirit of illusion, collaboration and respect.*

*I would like to thank all the persons that contributed to this report, and especially to Sergio David Leon Dueñas, that was in charge of collecting and editing this document.*

**Thursday, April 30, 2015**  
**Joaquín Gómez Camacho**  
**CNA Director**



---

## 2. Estructura y Personal / Structure and Staff

---





## 2. Estructura y Personal / Structure and Staff

---

El CNA surge del acuerdo entre la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Una Junta Rectora del Centro, formada por representantes de las tres instituciones, marca las líneas generales del gobierno del Centro que ejecuta su Director. Existe, además, un Comité Científico, formado por científicos de prestigio nombrados a propuesta de las tres instituciones, que asesora al Director del CNA en la política científica del mismo y distribuye y ordena el uso de la infraestructuras del Centro.

El personal científico del Centro se distribuye en Unidades de Investigación, formadas por personal de distintas instituciones, y que se crean alrededor de las distintas infraestructuras y capacidades científicas del Centro. El citado personal desarrolla toda o buena parte de su actividad investigadora en el CNA. Además, existe una Unidad Técnica y de Servicios en la que se integra el personal de administración del Centro y el personal técnico de apoyo a los usuarios externos del CNA.

*The CNA was originated from an agreement among the Universidad de Sevilla, the Junta de Andalucía and the CSIC. The Governing Board of the Centre, constituted by spokesmen of the three institutions, indicates the general strategy and policy issues of the Centre, which are carried out by the CNA Director. There is also a Scientific Committee, with scientists proposed by the three institutions, which advises the Director on the scientific strategy and regulates the use of CNA facilities.*

*The scientific personnel of the Centre are distributed in Research Units, which have professionals from diverse institutions. These units are organized around the different infrastructures and capabilities of the Centre and the personnel carry out all or most of the research activity at CNA. Besides that, there is an Administration and Technical Unit which provides administrative and technical support to the Centre and to the external CNA users.*

### 2.1 Dirección del Centro / Centre Management

---

**Director:** Dr. Joaquín Gómez Camacho

**Vicedirector:** Dr. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

**Gerente:** D. Jerónimo Castilla Guerra

**Subdirector Área Técnica:** Dr. Celestino Ignacio Sánchez Angulo

**Coordinador del Acelerador Tándem de 3 MV:** Dr. Francisco Javier García López

**Coordinador del Acelerador Tandetrón de 1 MV:** Dr. José María López Gutiérrez

## 2.2 Junta Rectora / Governing Board

---

- Dra. Alicia Castro Lozano, Vicepresidenta de Investigaciones Científica y Técnica (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)
- Dr. Javier Sánchez Herencia, Vicepresidente Adjunto de Programación Científica (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)
- Dr. Manuel García León, Vicerrector de Investigación (Universidad de Sevilla)
- Dr. Ramón González Carvajal, Vicerrector de Transferencia Tecnológica (Universidad de Sevilla)
- D. Francisco Andrés Triguero Ruiz, Secretario General de Universidades, Investigación y Tecnología (Junta de Andalucía)
- D<sup>a</sup>. Eva María Vázquez Sánchez, Directora General de Investigación, Tecnología y Empresa (Junta de Andalucía)
- Dr. Joaquín Gómez Camacho, Director del CNA
- D. Jerónimo Castilla Guerra, Secretario

## 2.3 Comité Científico / Scientific Committee

---

- Dra. Josefa Capel Martínez, Profesora Titular del Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada
- Dra. Dolores Cortina Gil, Profesora Titular del Departamento de Física de Partículas, Universidad de Santiago de Compostela
- Dr. Ricardo Vázquez Albertino, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen del Rocío de Sevilla
- Dr. Emilio Galán Huertos, Catedrático del Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla
- Dr. José Manuel Llamas Elvira, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen de las Nieves de Granada
- Dr. Sebastián Cerdán García de Esteller, Científico Titular del Instituto de Investigaciones Biomédicas “Alberto Sols”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Dr. José Gonzalo de los Reyes, Científico Titular del Instituto de Óptica “Daza de Valdés”, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Dr. Jordi Fraxedas Calduch, Científico Titular del Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Dr. Daniel Cano Ott, Investigador Titular del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

## 2.4 Personal del Centro / Centre Staff

---

### 2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit

- D. Jerónimo Castilla Guerra, Gerente, Universidad de Sevilla

- Dr. Celestino Ignacio Sánchez Angulo, Titulado Superior, Director Técnico, Universidad de Sevilla
- D. Arcadio Borrallo del Castillo, Gestor, Universidad de Sevilla
- D. Miguel Calderón Reyes, Administrativo, Universidad de Sevilla
- D. Jaime García de Vinuesa Pacheco, Auxiliar Administrativo, Universidad de Sevilla
- D. Juan Ángel Labrador Bernal, Titulado de Grado Medio para Investigación, Universidad de Sevilla
- D. Antonio Manuel Casado Sola, Técnico Auxiliar de Laboratorio, Universidad de Sevilla
- D. Ángel Jesús Romero Serrano, Titulado de Grado Medio de Aceleradores, Contrato CNA
- D. Francisco Calle Blanco, Titulado de Grado Medio Informático, Contrato CNA
- D. Sergio David León Dueñas, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA
- D<sup>a</sup>. Nuria Romero Castillo, Técnico de Informática, Contrato PTA

#### **2.4.2 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit**

- Dr. Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, Catedrático, Universidad de Sevilla
- Dr. Francisco Javier García López, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dr. Francisco José Ager Vázquez, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dra. Blanca María Gómez Tubio, Profesora Titular, Universidad de Sevilla
- Dra. Yolanda Morilla García, Titulada Superior para Investigación, Universidad de Sevilla
- Dr. Manuel García Muñoz, Investigador, Programa Ramón y Cajal
- Dra. Anabelle Kriznar, Investigadora, Programa Juan de la Cierva
- Dra. Inés Ortega Feliu, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA
- Dr. Francisco Javier Ferrer Fernández, Titulado Superior para Investigación, Contrato PTA
- D<sup>a</sup>. María del Carmen Jiménez Ramos, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA
- D<sup>a</sup>. Gema Muñoz Romero, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA
- D<sup>a</sup>. Ana Isabel Moreno Suárez, Becaria de Investigación, Plan Propio Universidad de Sevilla
- D. Kilian Laclavetine, Becario de Investigación, Proyecto Nacional
- D<sup>a</sup>. Simona Scrivano, Becaria de Investigación, Proyecto Nacional
- D. Salvatore Bruschetta, Becario de Investigación, Proyecto Europeo
- D. Mauricio Rodríguez Ramos, Becario de Investigación, Plan Propio de la Universidad de Sevilla
- D. Joaquín Galdón Quiroga, Becario de Investigación, Proyecto Europeo
- D<sup>a</sup>. Lucía Sanchís Sánchez, Becaria de Investigación, Proyecto Nacional

#### **2.4.3 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physics Research Unit**

- Dr. Joaquín Gómez Camacho, Catedrático, Universidad de Sevilla

- Dr. José Manuel Espino Navas, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dra. Begoña Fernández Martínez, Titulada Superior para Investigación, Proyecto Nacional
- D<sup>a</sup>. Cristina Battaglia, Becaria de Investigación, Proyecto Europeo

#### 2.4.4 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit

- Dr. Ramón Risco Delgado, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dr. Marcin Balcerzyk, Titulado Superior para Investigación, Contrato CNA
- Dra. Laura Fernández Maza, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA
- D. Ángel Luis Parrado Gallego, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA
- D<sup>a</sup>. Isabel Fernández Gómez, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA

#### 2.4.5 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit

- Dr. Manuel García León, Catedrático, Universidad de Sevilla
- Dr. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda, Catedrático, Universidad de Sevilla
- Dr. José María López Gutiérrez, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dr. Guillermo Manjón Collado, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dr. José Luis Mas Balbuena, Profesor Titular, Universidad de Sevilla
- Dr. Francisco Javier Santos Arévalo, Titulado Superior para Investigación, CSIC
- D<sup>a</sup>. Isabel Gómez Martínez, Titulado de Grado Medio para Investigación, Universidad de Sevilla
- Dra. Elena Chamizo Calvo, Titulado Superior para Investigación, Universidad de Sevilla
- D<sup>a</sup>. Lidia Agulló García, Titulado Superior para Investigación, Contrato CNA
- D. Juan Ignacio Peruchena Fernández, Titulado Superior para Investigación, Contrato CNA
- D. Juan Alcalde García, Titulado Superior de Aceleradores, Contrato CNA
- D<sup>a</sup>. Aurora Diéguez Ferrari, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA
- D. Santiago Padilla Domínguez, Becario de Investigación, Proyecto Nacional
- D<sup>a</sup>. Grazia Scognamiglio, Becaria de Investigación, Proyecto Europeo
- D<sup>a</sup>. Mercedes López Lora, Becaria de Investigación, Proyecto Nacional
- D. Carlos Vivo Sánchez, Becario de Investigación, Proyecto Nacional

#### 2.4.6 Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i) / Outreach Unit (UCC+i)

- D. Jerónimo Castilla Guerra, Coordinador de la Unidad de Divulgación Científica
- D. Sergio David León Dueñas, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA
- D<sup>a</sup>. Inmaculada Díaz Francés, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato FECYT
- D. José Antonio Galván Moreno, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato FECYT
- D<sup>a</sup>. Celia Falcón Carrero, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato FECYT
- D<sup>a</sup>. Esther Sanjuán Ballano, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato FECYT

#### 2.4.7 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular staff at CNA

- D. Federico Moreno Jiménez, Director Técnico
- D<sup>a</sup>. Elena Santos Prieto, Responsable de Control de Calidad y Directora Técnica Suplente
- D<sup>a</sup>. Mercedes Serrano Sánchez-Toscano, Responsable de Nuevas Moléculas
- D. Manuel Blasco Espinosa, Responsable de Producción
- D<sup>a</sup>. Sonia López Navas, Responsable de Almacén
- D. Jorge Vadillo, Coordinador de Radiofarmacias en Andalucía
- D. Lázaro García Pérez, Ingeniero de Servicio
- D<sup>a</sup>. Cristina Vázquez, Técnico de Medicina Nuclear
- D. Ildefonso Mazo Cabrera, Técnico de Laboratorio
- D<sup>a</sup>. Pilar Ellston, Técnico de Laboratorio
- D. Jorge Ocaña Layosa, Técnico de Laboratorio
- D. José Antonio Durán Suárez, Técnico de Laboratorio
- D<sup>a</sup>. Susana del Mar González Rodríguez, Técnico de Laboratorio
- D<sup>a</sup>. Purificación López Martín, Administrativa

#### 2.4.8 Personal del HUVR en el CNA / HUVR staff at CNA

- D<sup>a</sup>. Isabel Borrego Dorado
- D<sup>a</sup>. Irene Acevedo Sánchez
- D<sup>a</sup>. Lucía Alarcón Pato
- D<sup>a</sup>. Lourdes Bravo Peñalver
- D. Luis Caballero Gullón
- D<sup>a</sup>. Rosa Fernández López
- D. Francisco Javier García Gómez
- D<sup>a</sup>. Rocío Iglesias Jerez
- D. Pedro Jiménez Granero
- D. Andrés Martínez Esteve
- D<sup>a</sup>. Carmen Moreno González
- D. Víctor Manuel Pachón Garrudo
- D<sup>a</sup>. Carmen Tello Cabañas
- D<sup>a</sup>. Cristina Vázquez Benítez
- D. Alberto Zájara Saucedo

#### 2.4.9 Personal con acceso

- Dr. Rafael Álvarez Molina, Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC)
- Dr. Alberto Palmero Acebedo, Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC)
- Dr. José Cotrino Bautista, Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC)
- Dr. José Miguel Carmona Torres, Added Value Solutions (AVS)
- D. Antonio Romero Mallén, Alter Technology
- D. Antonio Manuel Amigo Atanet, Alter Technology
- D. José Joaquín González Luján, Alter Technology
- D. Eugenio Muñoz Plaza, Alter Technology
- D<sup>a</sup>. Esperanza Bernabéu Torres, Alter Technology
- D. Jesús Merino Cabello, Alter Technology

- D. Pedro Martín Holgado, Alter Technology
- D. José Andrés Izquierdo Fernández, Alter Technology
- D. Manuel Domínguez Álvarez, Alter Technology
- D. Daniel Cruz Fuentes, Alter Technology
- D. Luis Ortiz Liñán, Alter Technology
- D. José María Rábade Marín, Alter Technology
- D. Vicente García Salas, Alter Technology
- D. Francisco Luis Barrera Limón, Trablisa Seguridad
- D. Enrique Noreña Valverde, Trablisa Seguridad
- D. Manuel Jesús Carreño Redaño, Trablisa Seguridad
- D. José Antonio Gutiérrez Fernández, Trablisa Seguridad
- D. Francisco Alfonso Bellido, Trablisa Seguridad
- D<sup>a</sup>. Eva María Tiravit Bizcocho, Ferroser Limpieza
- D<sup>a</sup>. Mercedes Gómez Rodríguez, Ferroser Limpieza

## 2.5 Datos del Centro / Centre information

Nombre / <i>Name</i>	Centro Nacional de Aceleradores (CNA)
Dirección / <i>Address</i>	Av. Thomas Alva Edison, nº 7
Ubicación / <i>Location</i>	Parque Científico y Tecnológico Cartuja
Ciudad / <i>City</i>	Sevilla / <i>Seville</i>
País / <i>Country</i>	España / <i>Spain</i>
Código Postal / <i>Postal Code</i>	E-41092
Teléfono / <i>Phone</i>	(+34) 954.460.553
Fax	(+34) 954.460.145
E-mail	<a href="mailto:cna@us.es">cna@us.es</a>
Web	<a href="http://www.cna.us.es">www.cna.us.es</a>



---

## 3. Infraestructuras / Facilities

---





### 3. Infraestructuras / Facilities

---

El CNA es un Centro pionero de España en la instalación y puesta a disposición de la comunidad científica de aceleradores de partículas para investigación. El primer acelerador instalado data de 1998. Reafirmando su actividad pionera, desde ese momento y hasta ahora se han instalado 3 nuevos aceleradores junto con las técnicas asociadas a los mismos, así como otras 2 nuevas instalaciones. Actualmente, el CNA dispone de 4 aceleradores para cumplir sus objetivos: un Acelerador de tipo Tándem van de Graaff de 3 MV, un Ciclotrón que proporciona protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV, un Acelerador de tipo Tándem Cockcroft-Walton de 1 MV (llamado AMS), que realmente es un espectrómetro de masas, y un Acelerador ultracompacto MiCaDaS (Mini Radiocarbon Dating System). Las otras infraestructuras incorporadas al CNA recientemente han sido un escáner PET/TAC para humanos y un irradiador de  $^{60}\text{Co}$ .

Con estos aceleradores se ponen a disposición de la comunidad investigadora herramientas de investigación únicas: técnicas IBA (Ion Beam Analysis) para la caracterización de materiales, técnicas de modificación e irradiación de materiales, irradiación con fotones, producción de radionucleidos PET ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ) y Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) de la que deriva un Servicio de datación por  $^{14}\text{C}$  mediante AMS. El desarrollo de las técnicas que ponemos a disposición de la comunidad investigadora se facilita por la existencia de laboratorios de investigación asociados para la preparación de muestras dotadas con material suficiente que permite llevar a cabo la mayoría de las preparaciones necesarias.

*The CNA is a pioneering centre in Spain in the field of particle accelerators for research purposes. The first accelerator was installed at CNA in 1998 and nowadays three other accelerators and techniques associated to them are available and also two other facilities. Therefore, the CNA has 4 particle accelerators: a 3 MV van de Graaff Tandem Accelerator, a Cyclotron which supplies 18 MeV protons and 9 MeV deuterons, a 1 MV Cockcroft-Walton Tandem Accelerator used to mass spectrometry (called AMS) and a MiCaDaS (a small accelerator used to radiocarbon dating). The last facilities which have arrived at CNA are a Human Scanner PET/CT and a  $^{60}\text{Co}$  Irradiator.*

*These accelerators provide a series of unique research tools to the scientific community: Ion Beam Analysis (IBA) for material characterization, modification and irradiation of materials, irradiation with photons, production of radionuclides ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{18}\text{F}$ ) for Positron Emission Tomography (PET) and the Accelerator Mass Spectrometer (AMS) that includes a  $^{14}\text{C}$  dating service using AMS. At CNA, there are also research laboratories for sample preparation that facilitate the application of the presented techniques.*

### 3.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

---

El primer acelerador que llegó al CNA fue un Tándem tipo Pelletron (Figura 3.1), modelo 9SDH-2, de National Electrostatics Corporation (NEC). Este acelerador está principalmente dedicado a la caracterización y modificación de materiales mediante el uso de técnicas IBA e implantación iónica, así como al estudio y desarrollo de instrumentación nuclear, fundamentalmente detectores de radiación.

Los iones se obtienen de tres fuentes de iones. Una está basada en el uso de radiofrecuencias (Alphatross) y genera iones negativos a partir de gases (H, He, N, ...). Otra es una fuente de bombardeo con cesio (SNICS) que genera iones negativos a partir de una muestra sólida. Y la más reciente de las tres, es una fuente tipo Duoplasmatron, que es muy estable y proporciona un haz de alto brillo. Las fuentes están conectadas mediante distintos puertos a un deflector magnético que selecciona la masa deseada.

En un tanque de aceleración, mediante transporte mecánico de carga con pellets, se aceleran los iones seleccionados previamente, siendo el voltaje máximo en el terminal de 3 MV. Con el conjunto de herramientas necesarias, el haz de iones se dirige, focaliza y se monitoriza tras su paso por el acelerador. Al final de la línea experimental, el haz puede pasar directamente a la línea de 0° o puede ser desviado por un deflector magnético hacia una de las seis líneas de trabajo disponibles.

Para la detección de partículas y fotones se cuenta con detectores SiLi y LEGe de Canberra, un HPGe de Ortec, un detector de NaI(Tl) y detectores de Si de implantación iónica.

*The first accelerator at CNA was a Pelletron 3 MV Tandem (Figure 3.1), model 9SDH-2, made by National Electrostatics Corporation (NEC). It is primarily focused on material characterization and modification by means of IBA techniques and ion implantation, as well as to the study and development of nuclear instrumentation, especially radiation detectors.*

*Ions are produced by three ion sources. The first one is based on radiofrequency techniques (Alphatross) and generates negative ions from gases (H, He, N, ...). There is also a caesium sputtering source (SNICS) which produces negative ions from solid samples. The most recent one is a Duoplasmatron source, which is very reliable and provides a high-brightness beam. The sources are connected by ports to an injection magnet that selects the desired ion mass.*

*In the two-pellet chain tandem accelerator, the selected ions are accelerated with a maximum terminal voltage of 3 MV. The beam line, which is situated after the accelerator, includes several instruments for focusing, steering and monitoring the*

beam. At the line end, the beam can pass directly to the 0° line or it can be deflected by the switcher magnet towards one of the five beam lines.

Photons and particles are detected using standard detectors: SiLi and LGe from Canberra, an Ortec HPGe, a NaI(Tl) detector and ion-implanted silicon detectors.



Figura 3.1: Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

### 3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines

Actualmente, el acelerador Tándem dispone de seis líneas de haz disponibles para caracterizar y modificar materiales, así como para realizar investigaciones en Física Nuclear Básica.

A continuación, se da una breve descripción de las diferentes líneas (Figura 3.2):

Línea de -30°: Línea de Física Nuclear Básica. En esta línea se desarrollan y se prueban elementos de instrumentación nuclear (detectores, electrónica, etc) que posteriormente se utilizarán en instalaciones internacionales de Física Nuclear.

Línea de -15°: Microsonda Nuclear. El sistema de focalización está fabricado por Oxford Microbeam Ltd. Con este sistema es posible incidir sobre la muestra con un haz de pocas micras. El modo de barrido permite obtener mapas elementales que dan a conocer la distribución espacial de concentraciones en las muestra. Las bobinas del sistema de barrido permiten un área máxima de barrido de  $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$  para protones de 3 MeV.

Línea de 0°: Cámara multipropósito. Esta cámara ha sido diseñada para realizar simultáneamente experimentos mediante RBS, PIXE, NRA y PIGE. Un conjunto de detectores de fotones y de partículas se usan para combinar todas estas técnicas IBA. A continuación de esta línea se ha diseñado e instalado una nueva cámara de vacío para estudios de ionolumiscencia hasta temperaturas de 500 °C.

Línea de +15°: Cámara de irradiación. Esta cámara diseñada en el CNA tiene como objetivo la irradiación de grandes superficies (16x20 cm<sup>2</sup>) barridas por el haz mediante un deflector magnético.

Línea de +30°: Cámara de canalización. Esta línea está principalmente dedicada al estudio mediante canalización iónica de muestras cristalinas. Mediante un sistema telescópico formado por un sistema de dos rendijas se consigue un haz paralelo muy bien definido. Cada una de las rendijas tiene cuatro componentes de tántalo.

Esta línea también incluye una Beam Profile Monitor (BPM) y una cámara de Faraday. La cámara está equipada con dos detectores de partículas y un detector de Rayos-X. El portamuestras está montado con un goniómetro de precisión que permite movimientos en los cuatro ejes, direcciones X e Y y dos ángulos de giro.

Línea de +45°: Haz externo. Los estudios de Arte y Arqueometría son el objetivo principal de esta línea. Debido a la heterogeneidad natural de este tipo de objetos, es obvio que el uso de un haz externo combinado con una buena resolución presenta grandes ventajas en el análisis.

Para obtener una buena resolución espacial (~ 60 µm), se han adquirido un conjunto de elementos fabricados por Oxford Microbeams, incluida una abertura que se define con cuatro slits de precisión y una nariz de salida con un ajuste micrométrico.

*At the present time, Tandem accelerator has six available beam lines to characterize and to modify materials, as well as for Nuclear Physics research.*

*A brief description of the different lines is given below (Figure 3.2):*

*-30° Beam Line: Nuclear Physics Beam Line. In this beamline different nuclear instrumentation (detectors, electronics, etc) is developed and tested. This instrumentation will be used in international Nuclear Physics facilities.*

*-15° Beam Line: Microbeam Chamber. The microprobe focusing system was manufactured by Oxford Microbeam Ltd. It is possible to form a spot of a few microns on the specimen with this system. Elemental maps that provide the spatial distribution concentration in the samples are obtained with the scanning mode. The scanning coils allow a maximum scanning area of 2.5x2.5 mm<sup>2</sup> for 3 MeV protons.*

0° Beam Line: Multipurpose IBA Chamber. This target chamber has been designed to carry out RBS, PIXE, NRA and PIGE experiments simultaneously. A set of gamma-particle and X-Ray detectors is used to combine all these IBA techniques. Downstream this beamline a new vacuum chamber has been designed and installed for ionoluminescence studies at temperatures up to 500 °C.



Figura 3.2: Líneas de haz / Beam lines

+15° Beam Line: Irradiation Chamber. This home-made scattering chamber has been designed to allow the irradiation of large areas (16x20 cm<sup>2</sup>) by raster scanning of the beam through magnetic deflection.

+30° Beam Line: Channeling Chamber. This line is primarily devoted to channeling analysis of crystalline samples. A well-defined parallel beam is obtained with a telescopic system formed by two slit assemblies, each one incorporating four independent tantalum slit elements.

The beam line also includes a BPM and a Faraday cup. The chamber is equipped with two particle detectors and an X-Ray detector. The sample holder is mounted in a 4-axis klinger/microcontrol goniometer with X-tilt and Y-tilt angular positioning.

+45° Beam Line: External Beam. This line is mainly used in Art and Archaeometry studies. Due to the frequent inhomogeneous nature of this kind of objects, the use of external ion beam analysis (combined with a good resolution) exhibits numerous advantages.

*With the idea of achieving good spatial resolutions ( $\sim 60 \mu\text{m}$ ), a series of elements have been purchased from Oxford Microbeams, including a precision four-jaw object slit and an exit nozzle set with micrometer adjustment.*

#### **3.1.2 Técnicas disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / Available techniques at 3 MV Tandem Accelerator**

IBA es un término genérico que engloba un conjunto de técnicas específicas, de las cuales las principales son:

- Espectrometría de Retrodispersión Rutherford (RBS).
- Análisis por Detección de Retrocesos Elásticos (ERDA).
- Análisis por Reacciones Nucleares (NRA).
- Emisión de Rayos- $\gamma$  Inducidos por Partículas (PIGE).
- Emisión de Rayos-X Inducidos por Partículas (PIXE).

Cuando una muestra se expone a un haz de iones, se inducen diferentes procesos atómicos y nucleares. Como fruto de estos procesos se generan varios productos, y cada producto aporta información sobre las propiedades del material (composición, estructura, etc.)

Las aplicaciones fundamentales de las técnicas IBA son:

Espectrometría de Retrodispersión Rutherford (RBS). La técnica de análisis RBS es multielemental y no-destructiva. Mediante RBS es posible conocer la composición elemental (estequiometría) sin estándar y obtener los perfiles elementales de concentración en profundidad. También pueden conocerse las impurezas superficiales y la distribución de impurezas en profundidad. Se pueden medir espesores de láminas delgadas y de interfases. Mediante el uso de Canalización-RBS se pueden determinar la localización de impurezas en la red de un monocristal, así como la distribución de defectos en profundidad en el mismo.

Análisis por detección de retrocesos elásticos (ERDA). Esta técnica se basa en los fundamentos físicos de la dispersión elástica. En ella se utilizan haces de iones pesados para recoger los núcleos ligeros en retroceso que salen de la muestra. ERDA es una técnica eficiente para obtener perfiles en profundidad con alta resolución.

Análisis por Reacciones Nucleares (NRA)/Emisión de Rayos- $\gamma$  Inducidos por Partículas (PIGE). Con el análisis mediante reacciones nucleares (NRA) se obtienen los perfiles en profundidad de elementos ligeros de forma no destructiva, y elementos como el H, D, Li, B, C, O y el F pueden ser analizados. Es una técnica complementaria al RBS, pero el análisis por reacciones nucleares es isotópicamente sensible. Entre los productos de una reacción nuclear puede aparecer radiación gamma, y entonces es posible realizar PIGE. PIGE se usa normalmente para medir Na, Mg, Al, Si y P.

Emisión de Rayos-X Inducidos por Partículas (PIXE). La técnica PIXE es no destructiva y se emplea para obtener información multielemental tanto de elementos mayoritarios como de elementos traza. Se combina con RBS para obtener de forma más precisa la caracterización de elementos con una Z intermedia hasta elementos pesados, y se combina con NRA y PIGE para estudiar elementos de  $Z < 12$ .

En estos últimos años hemos desarrollado dos nuevas técnicas de análisis no disponibles hasta ahora en el CNA, la Ionoluminiscencia (IL) y la Carga Inducida mediante Haz de Iones (IBIC). La IL que consiste en el análisis de la luz emitida por un material bombardeado con un haz de iones y la IBIC permite estudiar propiedades de transporte en detectores semiconductores.

Además de estas técnicas de análisis, se dispone de capacidad para la modificación de materiales. Esto ofrece posibilidades de trabajo muy atractivas. Hay que resaltar que la implantación iónica ha supuesto una revolución en campos como la microelectrónica, la metalurgia o la fabricación de implantes biológicos. La mayoría del trabajo llevado a cabo en este dominio ha sido realizado con pequeños aceleradores electrostáticos que aceleran los iones desde algunas decenas hasta algunas centenas de keV. Hoy en día, va tomando cada vez más interés la implantación a más altas energías (algunos MeV), permitiendo obtener perfiles de implantación más profundos. La línea de implantación del CNA permite realizar trabajos de irradiación de materiales para el posterior análisis de los efectos producidos por irradiación.

*IBA is a broad term that covers several specific techniques, mainly:*

- Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS).*
- Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA).*
- Nuclear Reaction Analysis (NRA).*
- Particle Induced  $\gamma$ -Ray Emission (PIGE).*
- Particle Induced X-Ray Emission (PIXE) Analysis.*

*Different atomic and nuclear processes are induced when the samples are exposed to the ion beam. In these processes, several products are induced and each product provides information about material properties (composition, structure, etc.)*

*The fundamental applications of the IBA techniques are:*

Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS). *RBS is a non-destructive and multielemental analysis technique. With RBS, it is possible to obtain elemental depth profiles and to determine elemental compositions (stoichiometry) without using standards. Furthermore, surface impurities and in-depth impurity distribution can be established. The thickness of thin films and interfaces can also be measured with RBS. On the other hand, the lattice location of impurities and the defect distribution depth profile in single crystalline samples are determined by Channelling-RBS.*

Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA). This technique is based on the physical principles of elastic scattering. It requires heavier ions in the beam in order to recoil light nuclei from the sample. ERDA is an efficient technique for high resolution depth profiling.

Nuclear Reaction Analysis (NRA)/ Particle Induced  $\gamma$ -Ray Emission (PIGE). Light-element depth profiles are obtained non-destructively with NRA and elements such as H, D, Li, B, C, O and F can be analyzed. This technique is complementary to RBS, but NRA is isotopically sensitive. It is possible to carry out PIGE if gamma radiation is one of the NRA products. PIGE is usually employed in Na, Mg, Al, Si and P measurements.

Particle Induced X-Ray Emission (PIXE) Analysis. PIXE is a non-destructive technique which is used to obtain multielemental information of trace elements and major elements. It is used jointly with RBS for accurate mass identification of medium to heavy elements with similar masses and with NRA and PIGE for the study of elements with  $Z < 12$ .

In the last years we have developed two new techniques not available at the CNA. The Ionoluminescence (IL), which analyses the light emitted by a sample bombarded with an ion beam and the Ion Beam Induced Charge (IBIC), which allows the study of transport properties in semiconductor detectors.

Besides these analysis techniques, the centre has capability for modification of materials. It should be highlighted that ion implantation has supposed a revolution in microelectronics, metallurgy or the manufacturing of biological implants. Most of the work in this field has been carried out with small electrostatic accelerators that accelerate ions from some tens to some hundreds of keV. Nowadays, the implantation at higher energies (some MeV) is becoming more and more important because it affords deeper implantation profiles. The CNA implantation line allows material irradiation work and the analysis of the effects produced by the bombardments.

### **3.1.3 Laboratorios asociados al Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Laboratories**

El Centro Nacional de Aceleradores dispone de distintos laboratorios de investigación así como de preparación de muestras asociados al Acelerador Tándem de 3 MV.

A continuación, se describen los distintos laboratorios:

Laboratorio de Fluorescencia y Transmisión Gamma / X-Ray Fluorescence and Gamma-Ray Transmission Laboratory. Este laboratorio cuenta con una serie de fuentes radioactivas y de tubos de Rayos-X asociados a distintos proyectos del grupo de investigación de Física Nuclear Aplicada.

Este equipamiento está dedicado al estudio de diferentes objetos y materiales, especialmente en el campo del Arte y de la Arqueometría. Esto permite realizar



análisis independiente o complementario a los análisis llevados a cabo en el acelerador Tándem.

Las dos técnicas de las que se dispone son Fluorescencia por Rayos-X (XRF) y Transmisión de Rayos-Gamma (GRT).

La técnica de Fluorescencia de Rayos-X, XRF, es una técnica no destructiva similar a PIXE pero de menor coste y con equipos portátiles. Permite conocer la composición elemental superficial de las muestras.

La técnica de Transmisión de Rayos-Gamma, GRT, es una técnica no destructiva complementaria tanto para XRF como, incluso, para PIXE. Basada en la atenuación que sufren los rayos gamma al atravesar la muestra, proporciona información complementaria sobre la composición elemental volumétrica de dicha muestra.

*This laboratory utilizes radioactive sources and X-Ray tubes that are associated to several research projects of the Nuclear Applied Physics group.*

*This laboratory is devoted to the study of objects and materials, especially in the fields of Art and Archaeometry. The use of such equipment makes possible the analysis of materials independently or complementarily to the use of the Tandem accelerator.*

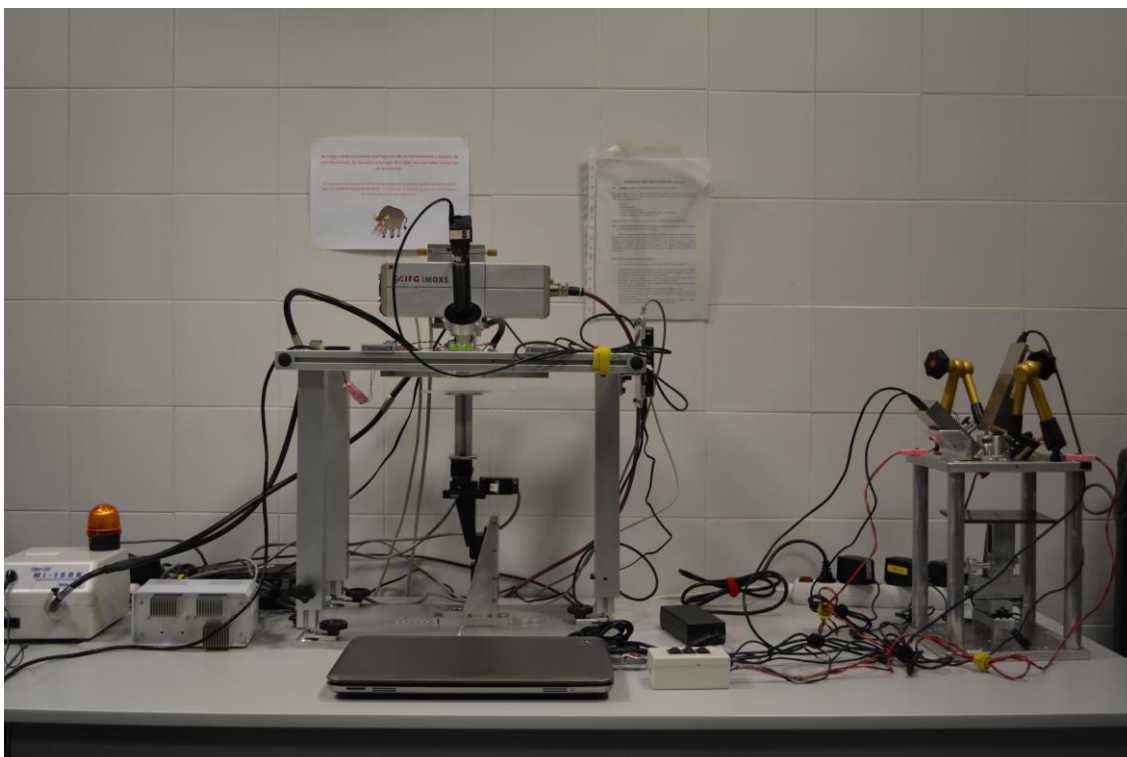


Figura 3.3: Laboratorio de Fluorescencia de Rayos-X y Transmisión de Rayos-Gamma / X-Ray Fluorescent and Gamma-Ray Transmission Laboratory

*In this laboratory, two techniques are applied: XRF and GRT.*

*X-Ray Fluorescence, XRF, is a non-destructive technique similar to PIXE but with portable equipment and low cost. It allows to know the superficial elementary composition of the sample.*

*Transmission Gamma-Ray Technique, GRT, is a non-destructive technique, such as XRF, and complementary to XRF and PIXE. It is based on attenuation which gamma rays suffer when they cross the sample and it give us complementary information about volumetric elemental composition of this sample.*

**Laboratorio de Detectores / Detectors Laboratory.** El laboratorio de detectores (Figura 3.4) cuenta con una cabina de pesada para muestreo de la empresa TELSTAR, capaz de generar un ambiente de trabajo considerado limpio, a través de un flujo de aire laminado que permite trabajar con detectores abiertos y manipular con más seguridad sus distintas piezas componentes, en un ambiente aislado, minimizando los riesgos de ruptura o contaminación de dichas piezas por distintos tipos de accidentes o por la presencia de impurezas en el ambiente.



Figura 3.4: Laboratorio de Detectores / Detectors Laboratory

El laboratorio también cuenta con distintas equipos y herramientas para operar o montar partes de ciertos prototipos de detectores de partículas, principalmente los mini prototipos de detectores de electrones secundarios (SED) de gas a baja presión.

El objetivo es seguir equipando dichos laboratorios, en los próximos años, siguiendo las prioridades y necesidades del mismo, dentro de los presupuestos del CNA.

*Detectors laboratory (Figure 3.4) has a weighing and protection cabinet by TELSTAR, capable of generating a considered working environment clean. A laminated airflow allows working with open detectors and manipulating with more security different parts inside an isolated environment. In that way, it can be minimized the risks of rupture or contamination of such parts by different types of accidents or by the presence of impurities in the environment.*

*The laboratory also has different equipments and tools to operate or ride parts of certain prototypes of particle detectors, primarily mini prototypes of secondary electron detectors at low pressure (SED).*

*The aim is further equipping these laboratories in the coming years, according to priorities and needs, within the budgets of the CNA.*

#### Laboratorio de Electrónica Multipropósito / Multipurpose Electronics Laboratory.

Actualmente, el laboratorio dispone de un sistema básico de simulación de circuitos por ordenador, diseño e incluso montaje y reparación de placas de circuitos impresos (printed circuit boards-PCB), principalmente aquéllas referentes a electrónica que pueden ser probadas como parte de la instrumentación nuclear asociada a los detectores de partículas.

El laboratorio cuenta con un osciloscopio de última generación, con alta velocidad, frecuencia de muestreo y memoria, de la empresa Le Croy. También se ha adquirido una estación de soldadura versátil con extracción de humo acoplada. El laboratorio dispone de fuentes de alimentación y corriente, un generador de pulsos, además de la obtención de licencias para operar con distintos tipos de “software” en un ordenador instalado en el propio laboratorio.

*Presently, the laboratory has got different systems for electrical simulations and design software, development of printed circuit boards (PCB), soldering, improvement and testing. In fact, it will be possible to implement all the steps for developing electronics front-ends for particle tracking detectors.*

*Nowadays, different electrical instrumentation, such as high speed and sampling oscilloscope, power supply, arbitrary function generator, millimetre, is available, in the multipurpose electronics laboratory at CNA. There is a digital soldering/desoldering station with fume extraction, too. Different cables and connectors may be used as well as a personal computer where electrical licensed software is installed.*

#### Laboratorio del Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Laboratory.

A pesar de que generalmente las muestras que se analizan por técnicas IBA no necesitan de una exhaustiva preparación, el laboratorio asociado al acelerador Tándem de 3 MV

(Figura 3.5) dispone del equipamiento necesario para realizar diversos tratamientos a las muestras, previos a su estudio.



Figura 3.5: Laboratorio de preparación de muestras del Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Laboratory

Entre el equipamiento propio del laboratorio cabe destacar: el molino de bolas, morteros de ágata y prensa para la molienda, homogeneización y prensado; una pulidora con diferentes paños para el pulido de muestras; y un horno para el calcinado de las mismas y una liofilizadora. Por otro lado, dispone de diversos productos químicos propios de laboratorio y patrones de referencia de diversa naturaleza, tales como sangre, cenizas o suelos, entre otros.

*Generally the samples which are measured by IBA techniques do not need exhaustive preparation. Nevertheless, the 3 MV Tandem Accelerator Laboratory (Figure 3.5) has the necessary equipment to carry out different treatments to the samples before they are studied.*

*The laboratory has own equipment such: a ball grinder, an agate mortars and a press for grinding, homogenization and pressing; a polisher with different laminas for the sample polishing; an oven for the sample calcining and a freeze drier. Also, the laboratory has various chemical products and reference standards, such as blood, ashes, soil, .....*

### 3.2 Ciclotrón / Cyclotron

El Ciclotrón (Figura 3.6) fue el segundo acelerador de partículas que se instaló en el Centro Nacional de Aceleradores (año 2004). Este tipo de acelerador consigue acelerar iones en órbitas de radio y energía crecientes mediante la aplicación combinada de un campo eléctrico oscilante y de un campo magnético. Se trata de un ciclotrón Cyclone 18/9 fabricado por Ion Beam Applications (IBA, Bélgica), capaz de acelerar protones y deuterones a 18 y 9 MeV, respectivamente. Las intensidades de corriente máximas que pueden ser extraídas en el blanco son de  $80 \mu\text{A} \pm 10\%$  para protones y de  $35 \mu\text{A} \pm 10\%$  para deuterones.

Este acelerador permite la irradiación sobre un único blanco o simultáneamente con la misma partícula sobre dos blancos diametralmente opuestos (Dual Beam Mode). Este acelerador cuenta con ocho puertos de irradiación, de los cuales siete están dedicados a la producción de radionúclidos emisores de positrones. De esta forma, el CNA ofrece la posibilidad de producir los radioisótopos más empleados en la modalidad de imagen médica PET (Tomografía por Emisión de Positrones).



Figura 3.6: Ciclotrón 18/9 MeV del CNA / Cyclone 18/9 MeV at CNA

La descripción de los blancos dispuestos en los ocho puertos disponibles es la siguiente:

- 1.- Blanco de gran volumen (2 ml) con agua enriquecida en  $^{18}\text{O}$  en su interior ( $[^{18}\text{O}]\text{-H}_2\text{O}$ , pureza > 95% en  $^{18}\text{O}$ ), para producir  $^{18}\text{F}$  en forma de  $[^{18}\text{F}]\text{-Fluoruro}$  mediante la reacción  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ .
- 2-3.- Dos blancos de volumen grande (2 ml), con las cavidades fabricadas en niobio y rellenos de agua enriquecida en  $^{18}\text{O}$  ( $[^{18}\text{O}]\text{-H}_2\text{O}$ , pureza > 95% en  $^{18}\text{O}$ ). Están destinados también a la producción de  $^{18}\text{F}$  en forma de  $[^{18}\text{F}]\text{-Fluoruro}$  mediante la reacción nuclear  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ .
- 4.- Blanco de 1,7 ml relleno de una mezcla agua-etanol para la obtención dentro del blanco de  $^{13}\text{N}$  en forma de  $[^{13}\text{N}]\text{-Amoniac}$  mediante la reacción  $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$ .
- 5.- Blanco de 30 ml que contiene  $^{18}\text{O}_2$  y utilizado en la obtención de  $^{18}\text{F}$  en forma de  $[^{18}\text{F}]\text{-F}_2$  mediante bombardeo con protones.
- 6.- Blanco gaseoso de 60 ml, en el que se bombardea una mezcla nitrógeno-oxígeno con protones para obtener  $^{11}\text{C}$  en forma de  $[^{11}\text{C}]\text{-CO}_2$  mediante la reacción  $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ .
- 7.- Blanco de 60 ml relleno de una mezcla nitrógeno-oxígeno para la obtención de  $^{15}\text{O}$  en forma de  $[^{15}\text{O}]\text{-O}_2$  mediante la reacción  $^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$ .
- 8.- En el último puerto existe una ventana de salida de haz en la que se ha instalado una línea que transporta el haz de partículas a una segunda sala blindada donde se ubica una cámara de reacción para la irradiación de materiales de interés tecnológico.

*The Cyclotron (Figure 3.6) was the second particle accelerator installed at CNA (year 2004). In this accelerator, ions are accelerated through the combined application of an electric and a magnetic field. It was manufactured by IBA (Belgium) and it accelerates protons and deuterons to 18 and 9 MeV, respectively. The extracted maximum beam intensities in the internal target ports are  $80 \mu\text{A} \pm 10\%$  for protons and  $35 \mu\text{A} \pm 10\%$  for deuterons.*

*The Cyclone 18/9 allows the simultaneous bombardment with the same particle of one or two targets that are located in opposite positions (Dual Beam Mode). Seven out of the eight targets are devoted to the production of positron emitters. Thus, CNA offers the possibility to produce the most frequent radioisotopes employed in the imaging modality Positron Emission Tomography (PET).*

*This is the description of the available targets at the CNA Cyclotron:*

- 1.- Large-volume target (2 ml) filled with  $^{18}\text{O}$ -enriched water ( $[^{18}\text{O}]\text{-H}_2\text{O}$ , purity > 95% in  $^{18}\text{O}$ ). It is used for the production of  $^{18}\text{F}$  as  $[^{18}\text{F}]\text{-Fluoride}$  through the  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$  nuclear reaction.

2-3.- Two large-volume targets (2 ml) with the cavities made of niobium and filled with  $^{18}\text{O}$ -enriched water ( $[^{18}\text{O}]\text{-H}_2\text{O}$ , purity > 95% in  $^{18}\text{O}$ ). They are utilized for the production of  $^{18}\text{F}$  as  $[^{18}\text{F}]\text{-Fluoride}$  through the  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$  nuclear reaction.

4.- 1.7 ml target filled with an ethanol-water mixture for the in-target production of  $^{13}\text{N}$  in the form of  $[^{13}\text{N}]\text{-Ammonia}$  using the  $^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$  nuclear reaction.

5.- 60 ml target containing  $^{18}\text{O}_2$  gas used to produce  $^{18}\text{F}$  as  $[^{18}\text{F}]\text{-F}_2$  by protons bombardment.

6.- 60 ml target, where a nitrogen-oxygen mixture is bombarded with protons, obtaining  $^{11}\text{C}$  as  $[^{11}\text{C}]\text{-CO}_2$  through the  $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$  nuclear reaction.

7.- 60 ml target filled with a nitrogen-oxygen mixture and used to produce  $^{15}\text{O}$  as  $[^{15}\text{O}]\text{-O}_2$  by means of the  $^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$  nuclear reaction.

8.- Finally, there is an exit line (Experimental Beam Line) in the last target port which transports the beam line to a second vault. A reaction chamber devoted to the irradiation of technological materials is located in this second room.

### 3.2.1 Línea de Haz de Experimentación / Experimental Beam Line

Los trabajos que requieren el uso de protones y deuterones, con energía superior a 6 MeV, han de llevarse a cabo en la línea de transporte de haz del Ciclotrón (Figura 3.7). Hasta el año 2010, se había trabajado en vacío ensamblando la línea móvil de irradiación e implantación que puede ser acoplada tanto al Acelerador Tándem de 3 MV como al Ciclotrón.

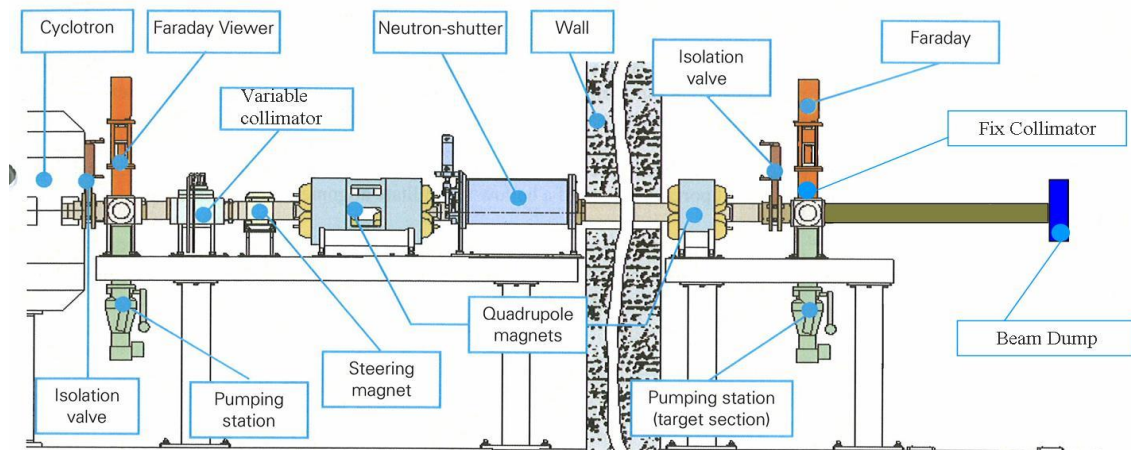


Figura 3.7: Línea de haz externo del Ciclotrón / Cyclotron external ion beam line

En 2010 se realizaron una serie de modificaciones en dicha línea conducentes a ampliar la versatilidad de este acelerador. En cuanto a la energía de las partículas, el Ciclotrón compacto está limitado a suministrar protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV. Se ha instalado una línea de haz externo propiamente dicho, ya que el haz de

partículas sale al aire antes de incidir sobre el blanco, como puede apreciarse en la Figura 3.8.

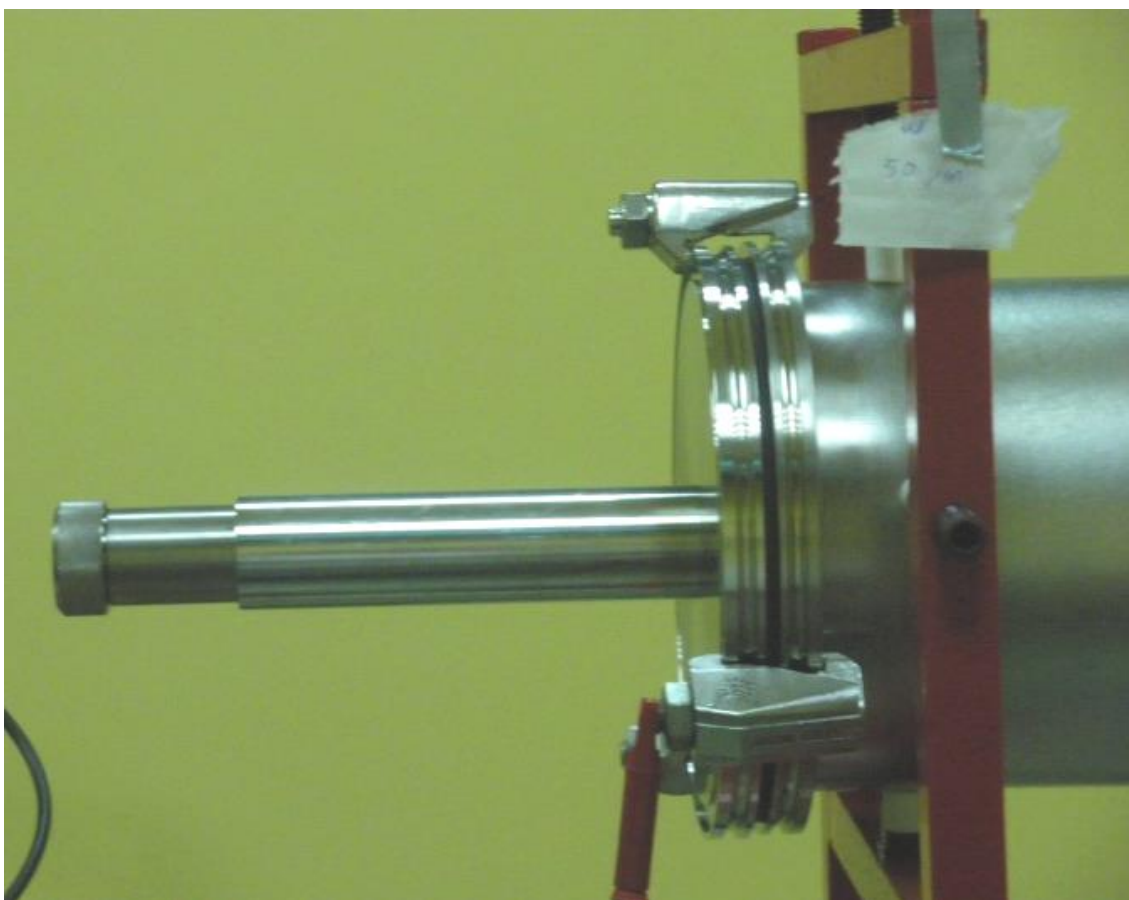


Figura 3.8: Línea de haz externo / External beam line

Desde el punto de vista analítico, esto presenta algunas ventajas respecto al uso de una cámara de vacío, como la disminución del fondo en los espectros de Rayos-X adquiridos mediante la técnica PIXE. Por otro lado, el montaje de algunos experimentos de irradiación se simplifica, la temperatura que se alcanza en el blanco es inferior que trabajando en vacío y el tamaño de las muestras a irradiar no está limitado por el de la cámara. Sin embargo, se dificulta la monitorización de la densidad de corriente del haz y en muchos casos hay que realizar medidas indirectas a través de calibración. En caso de trabajar con flujos de partículas en torno a microamperios, se hace una lectura directa de la corriente en diferentes colimadores de grafito y/o en el propio blanco. Para la medida de flujos muy bajos se utilizan detectores de partículas o de centelleo.

La línea es sencilla y versátil, pudiendo ser modificada con los elementos necesarios para cada ensayo sin mucha dificultad. Se encuentra acoplada a la línea fija del ciclotrón y en la terminación se pueden intercambiar varios colimadores con ventanas de distintos materiales adaptables a cada trabajo. Esto resulta muy interesante, ya que las muchas aplicaciones que tiene conllevan muy diferentes necesidades experimentales (energía, flujo, tamaño de haz...) implicando el uso de diversos



dispositivos de degradación del haz y/o de diagnóstico. Aunque no existe posibilidad de barrido, permite tener un rango variado de áreas de irradiación, ya que se puede ajustar jugando con el material de la ventana de salida y la distancia del blanco.

*The research which requires the use of protons and deuterons, with energies above 6 MeV, must be carried out in the Cyclotron beam transport line (Figure 3.7). Until 2010, it had worked in vacuum coupling the portable irradiation and implantation line. This line can be fixed to both, the 3 MV Tandem Accelerator and the Cyclotron. At 2010, it had been a number of changes in the line leading to expand the versatility of this accelerator. Regarding the energy of the particles, the compact Cyclotron is limited to supply 18 MeV protons and deuterons of 9 MeV. In 2010, a “true” external beam line has been installed, as the particle beam goes to the air before impacting on the target, as shown in Figure 3.8.*

*From the analytical standpoint, this presents some advantages over the use of a vacuum chamber, such as the low background X-Ray spectra obtained by PIXE technique. On the other hand, the assembly of some irradiation experiments is simplified, the temperature reached in the target is lower than working in vacuum, and the size of the samples to be irradiated is not limited by the chamber dimensions. However, it is difficult to monitor the beam current density and in many cases is necessary to do indirect measurements through calibration. When working with particles fluxes around microamps, a direct reading of current in different graphite collimators and/or the target itself is done. To measure very low fluxes, particle or scintillation detectors are used.*

*The line is elementary and versatile; it can be modified with the necessary elements for each investigation without much complexity. This is now coupled to the fixed line of the Cyclotron and there are various sizes collimators available, where can be adapted different materials windows according to the study concerned. This is very interesting, since the many applications imply very different experimental needs (energy, flux, beam size ...) involving the use of various devices for the beam degradation and/or diagnosis. Although there is not possibility of scanning, it allows for a diverse range of irradiation areas by playing with the material of the exit window and the target distance.*

En lo referente a la obtención de haces con distintos valores de energía, se ha diseñado y fabricado un sistema de degradadores variables. Se trata de un carrusel, acoplado a la línea de vacío, donde se pueden introducir hasta cuatro láminas simultáneamente y son fácilmente intercambiables (Figura 3.9). La naturaleza y espesor de las láminas que se coloquen permite abrir el abanico de valores de LET (Linear Energy Transfer) que pueden obtenerse con la irradiación de protones y deuterones. Por tanto es posible llevar a cabo experimentos, tanto en vacío como en aire, por debajo de los 18 MeV. Como puede apreciarse, no existe una configuración permanente de esta línea ya que no hay muchos componentes fijos. En este sentido, ésta es una línea “viva”.

Recientemente se ha diseñado e instalado un portamuestras motorizado que permite cambiar de punto de análisis y/o de muestra desde la sala de control, sin necesidad de acceder al búnker de la línea. Esto último es una gran ventaja ya que evita los tiempos de espera relacionados con el enfriamiento de las partes de la línea que pueden quedar activas tras cada irradiación. La precisión del movimiento en las dos direcciones perpendiculares al haz es de  $\pm 80 \mu\text{m}$ .

*Concerning the possibility to obtain beams with different energy values, it has been designed and manufactured a variable degraders system. It is a carousel, assembled to the vacuum line, where it is possible to introduce up to four films simultaneously which are easily interchangeable (Figure 3.9). The variability in the nature and thickness of the sited foil open the range of LET (Linear Energy Transfer) that can be obtained with protons and deuterons irradiation. It is therefore feasible to carry out experiments, both in vacuum and air, below 18 MeV. As can be seen, there is not a permanent configuration for this line, not many fixed components. In this sense it is an "alive" line.*

*Recently, has been designed and installed a sample motorized sample-holder. This system avoids going into the beamline vault to change the point under analysis because it is possible to do that from the control room. With this new sample-holder the experiments are less time consuming because it is no necessary to wait for the decay of the activate pieces after irradiations. The movement accuracy is of  $\pm 80 \mu\text{m}$  in the both beam perpendicular directions.*

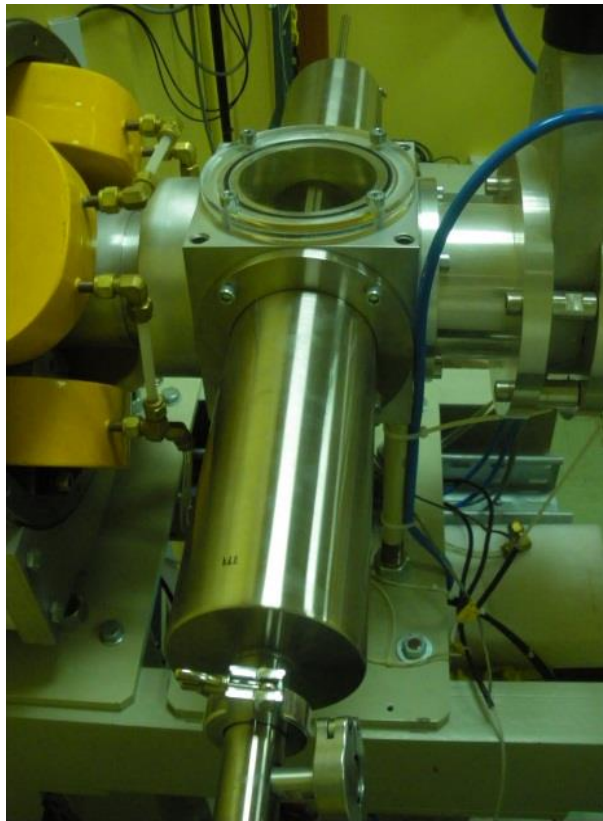


Figura 3.9: Carrusel de láminas para variar la energía del haz / Carousel of sheets to vary beam energy

### 3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron Laboratories

Laboratorios de Radiofarmacia / Radiopharmacy Laboratories. Fueron diseñados para trabajar bajo las normas de buenas prácticas de fabricación farmacéutica (normas GMP). En la actualidad, se dispone de un laboratorio denominado “de producción de  $^{18}\text{F}$ -FDG” y de otro “de investigación” donde se preparan radiofármacos PET para ensayos clínicos y preclínicos. Estos dos laboratorios son complementados por el laboratorio de control de calidad, donde se analiza la calidad de los radiofármacos sintetizados siguiendo los requerimientos de la Farmacopea. Tras haber obtenido las correspondientes autorizaciones de los Ministerios de Industria (como instalación radioactiva) y de Sanidad (como laboratorio farmacéutico), y dentro del marco de acuerdo con la empresa farmacéutica IBA Molecular, se comenzó la fabricación y distribución de  $^{18}\text{F}$ -(2-fluoro-2-desoxi-D-glucosa) (FDG) al propio CNA y a centros externos (Andalucía, Castilla-La Mancha, Portugal) a partir de mayo de 2005.

El Laboratorio de Producción de FDG (Figura 3.10) dispone de dos celdas blindadas fabricadas por Comcer (Castel Bolognese, Italia) que albergan sendos módulos dobles de síntesis GE Tracerlab FX-FDG. Existe también una celda de fraccionamiento y dispensación aséptica de monodosis de FDG, donde se fabrica la especialidad farmacéutica “Flucis” bajo el registro de CisBio.

El Laboratorio de Investigación dispone de cinco celdas blindadas Comcer en las que se sintetizan otros radiofármacos de interés para el estudio de procesos metabólicos o funcionales ( $^{18}\text{F}$ -FDOPA,  $^{18}\text{F}$ -Fluorotimidina ( $^{18}\text{F}$ -FLT),  $^{18}\text{F}$ -Fluoromisonidazol ( $^{18}\text{F}$ -FMISO),  $^{18}\text{F}$ -Fluoruro sódico ( $^{18}\text{F}$ -NaF),  $^{11}\text{C}$ -Colina,  $^{11}\text{C}$ -Metionina,  $^{13}\text{N}$ -Amonio,  $^{15}\text{O}$ -Agua, etc... La configuración de este laboratorio es la siguiente:

1.- Celda de síntesis de compuestos marcados con carbono-11, en la que se encuentra un módulo GE Tracerlab FX-C. La metilación de distintos grupos funcionales (aminas, alcoholes, tioles, ácidos carboxílicos) con yoduro de metilo radiactivo ( $^{11}\text{C}$ -MeI) es el modo más común de producir radiofármacos marcados con carbono-11. El módulo permite la metilación de gran número de moléculas orgánicas.

2.- Celda de síntesis de compuestos marcados con flúor-18 que alberga el módulo GE Tracerlab FX-FE. Este módulo de síntesis emplea  $^{18}\text{F}$ -F<sub>2</sub> o  $^{18}\text{F}$ -Hipofluorito de acetilo ( $^{18}\text{F}$ -CH<sub>3</sub>COOF) para marcar alquenos y compuestos aromáticos ricos en electrones por sustitución electrofílica.

3.- Celda de síntesis de  $^{15}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O y de recogida de  $^{13}\text{N}$ -NH<sub>3</sub>. El  $^{15}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O es un radiotrazador empleado para la determinación y cuantificación del flujo sanguíneo. El oxígeno radiactivo procedente del ciclotrón está en forma molecular ( $^{15}\text{O}$ -O<sub>2</sub>), reacciona en la celda de síntesis con hidrógeno y paladio a 150 °C para obtener  $^{15}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O. Por otro lado, el  $^{13}\text{N}$ -Amonio se utiliza en PET para estudios de perfusión miocárdica.

Este radiofármaco se obtiene directamente en el blanco del ciclotrón mediante la irradiación con protones de una mezcla de agua y etanol. Posteriormente, el [ $^{13}\text{N}$ ]-Amonio es atrapado en la celda mediante una unidad de recogida.

4.- Celda de síntesis de compuestos marcados con flúor-18 mediante el módulo GE Tracerlab FX-FN. En este caso, el flúor-18 se utiliza en forma de [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluoruro ( $^{18}\text{F}^-$ ), en el marcaje de moléculas por sustitución nucleofílica.

Existe también una celda en la que se llevan a cabo labores de dispensación y fraccionamiento de muestras, además de posibilitar la ejecución de radiosíntesis manuales.

En la misma sala limpia se ubica una campana de flujo laminar vertical, para la preparación aséptica de reactivos.



Figura 3.10: Laboratorio de Producción de FDG / FDG Production Laboratory

*The laboratories were designed to comply with Good Manufacturing Practices (GMP) regulations. At the present time, the unit is composed of an  $^{18}\text{F}$ -FDG Production Lab and a Research Lab where PET radiopharmaceuticals are prepared for clinical and preclinical studies. These two laboratories are complemented by a quality control laboratory, where the quality of the synthesized radiopharmaceuticals is analyzed according to Pharmacopeia protocols.*

The production of 2-deoxy-2- $^{18}\text{F}$ -Fluoro-D-glucose ( $^{18}\text{F}$ -FDG) at CNA began in 2005 as part of a contract agreement with IBA Molecular and after receiving the authorizations by the Ministry of Industry (as radioactive facility) and the Ministry of Health (as a pharmaceutical laboratory).  $^{18}\text{F}$ -FDG is currently distributed to CNA and to hospitals in Andalucía, Castilla-La Mancha and Portugal.

The FDG Production Lab (Figure 3.10) has two hot cells made by Comecer (Castel Bolognese, Italy) that hold two double GE Tracerlab FX-FDG synthesis modules. There is also a fractioning and dispensation cell, where single-dose FDG is made under the "Flucis" CisBio registry. The Research Lab has five Comecer hot cells where radiopharmaceuticals that trace metabolic or functional processes ( $^{18}\text{F}$ -FDOPA,  $^{18}\text{F}$ -FLT,  $^{18}\text{F}$ -Fluoromisonidazol ( $^{18}\text{F}$ -FMISO), sodium- $^{18}\text{F}$ -fluoride,  $^{11}\text{C}$ -Choline,  $^{11}\text{C}$ -Methionine,  $^{13}\text{N}$ -Ammonia,  $^{15}\text{O}$ -Water, etc.) are synthesized. The configuration of this laboratory is:

1.- Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-C module for carbon-11 labeled compounds. The methylation of different functional groups (amines, alcohols, thiols, carboxylic acids) with radioactive methyl iodide ( $^{11}\text{C}$ -MeI) is the most common method to label molecules with carbon-11. The synthesizer allows the methylation of numerous organic molecules.

2.- Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-FE module for fluorine-18 labeled compounds. This module uses  $^{18}\text{F}$ -F<sub>2</sub> or  $^{18}\text{F}$ -Acetyl hypofluorite ( $^{18}\text{F}$ -CH<sub>3</sub>COOF) to label electron-rich alkenes and aromatic compounds by electrophilic substitutions.

3.- Cell for  $^{15}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O synthesis and  $^{13}\text{N}$ -NH<sub>3</sub> collection.  $^{15}\text{O}$ -Water is a radiotracer utilized in the determination and quantification of blood flow. The radioactive oxygen coming from the cyclotron is in the form of  $^{15}\text{O}$ -O<sub>2</sub>, which is mixed in the hot cell with hydrogen and palladium at 150 °C to obtain  $^{15}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O. On the other hand,  $^{13}\text{N}$ -Ammonia is used in PET for perfusion studies.

This radiopharmaceutical is directly produced in the cyclotron target by irradiating a water-ethanol mixture with protons. Finally,  $^{13}\text{N}$ -Ammonia is trapped in the cell using a collection unit.

4.- Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-FN module for fluorine-18 labeled compounds. In this case, fluorine-18 is used as  $^{18}\text{F}$ -Fluoride [ $^{18}\text{F}$ ], which participates in nucleophilic substitution reactions.

There is also a hot cell for sample fractioning and dispensation that can also be used for manual radiosyntheses.

In the same clean room there is a vertical laminar flow cabinet to prepare reagents aseptically.

Laboratorio de Control de Calidad / Quality Control Laboratory. La pureza química y radioquímica de los compuestos marcados se evalúa mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y cromatografía en capa fina (TLC).

La pureza radionucleídica es comprobada con un espectrómetro gamma y la presencia de disolventes residuales en los radiofármacos se realiza mediante cromatografía de gases (Figura 3.11).

*It contains all the necessary equipment to certify the satisfactory quality of the synthesized products (Figure 3.11).*

*The chemical and radiochemical purity of compounds is assessed with High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Thin Layer Chromatography (TLC). The radionucleidic purity is evaluated with a gamma spectrometer and the presence of residual solvents in the radiopharmaceuticals is analyzed with gas chromatography.*



Figura 3.11: Laboratorio de Control de Calidad / Quality Control Laboratory

Laboratorio para desarrollo de investigación básica y experimentación de nuevos trazadores PET / Basic research and synthesis new PET tracers Laboratory. El laboratorio cuenta con una central de gases de Argón así como la preinstalación de 4 módulos con dispensador de gases de alta pureza de N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> dirigidos a una campana extractora.

La pureza química de los compuestos marcados se evalúa mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) consta de bomba analítica de gradiente cuaternario, totalmente programable y con sistema de inyección automático. Consta de tres detectores, UV, con un amplio rango de trabajo y alta resolución que permite la obtención precisa de espectros UV en determinación de compuestos principales e impurezas. Posee además detector amperométrico y detector de conductividad para cromatografía iónica de alta sensibilidad y extrema estabilidad. El equipo es programable con control desde el teclado o mediante software, con gran versatilidad, permitiendo la monitorización en tiempo real de espectros y la dispensación de fase líquida. El HPLC dispone de un detector de conductividad para cromatografía iónica y software de adquisición/tratamiento de datos.

El laboratorio contiene el equipamiento necesario para permitir el desarrollo de nuevas líneas de síntesis de radiofármacos PET y que la calidad de los productos sintetizados sea satisfactoria.



Figura 3.12: Laboratorio para desarrollo de investigación básica y experimentación de nuevos trazadores PET / Basic research and synthesis new PET tracers Laboratory

*The laboratory has a central argon gas system and the pre-installation of 4 modules with high purity gases  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  and  $O_2$ .*

*The chemical purity of labeled compounds is evaluated by high performance liquid chromatography (HPLC). The high performance liquid chromatography (HPLC) analytical comprises a quaternary gradient pump which is fully programmable, an*

*automatic injection system, an injection reproducibility and a detector with a wide working range and high resolution which allows obtaining accurate determination of UV spectra of major compounds and impurities. HPLC is highly sensitive and extremely stable. HPLC is programmable to be controlled from the keyboard or by software, with great versatility and allows real time monitoring of the spectra and dispenser of liquid phase. HPLC contains conductivity detector for ion chromatography and software acquisition / data processing.*

*The quality control laboratory contains the equipment necessary to enable the development of new lines of synthesis of PET radiopharmaceuticals and the quality of the synthetic products is satisfactory.*

### **3.2.3 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radiopharmacy and Molecular Imaging**

En la Unidad de Radiofarmacia sintetizamos radiofármacos para investigación preclínica en pequeños animales de experimentación. Actualmente se está implantando la normativa GMP y la validación de los procesos de síntesis para pasar de la investigación preclínica a la clínica. Entre los radiofármacos para investigación en pequeños animales, en el CNA producimos [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluorotimidina ([ $^{18}\text{F}$ ]-FLT), que es un marcador de proliferación celular, [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluoromisonidazol ([ $^{18}\text{F}$ ]-MISO) trazador de hipoxia, útil en estudios de hipoxia tumoral e hipoxia inducida por traumatismos, [ $^{11}\text{C}$ ]-Metionina para diagnóstico y seguimiento de tumores cerebrales, [ $^{11}\text{C}$ ]-Colina para cáncer de próstata y [ $^{18}\text{F}$ ]-Tetrafluoroborato sódico ([ $^{18}\text{F}$ ]-TFB) para el estudio de patologías tiroideas.

También disponemos en el CNA de radiofármacos autorizados, disponibles para investigación clínica en el tomógrafo PET/TAC de humanos, como la [ $^{18}\text{F}$ ]-Fludesoxiglucosa ([ $^{18}\text{F}$ ]-FDG), marcador de metabolismo glicídico, la [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluorometilcolina para estudio de cáncer de próstata y la [ $^{18}\text{F}$ ]-DOPA, radiofármaco PET para el estudio de la Enfermedad de Parkinson y tumores neuroendocrinos.

Además de estos radiofármacos PET ya conocidos, desarrollamos métodos de marcaje de moléculas nuevas. Mediante sustitución nucleofílica con [ $^{18}\text{F}$ ] podemos marcar moléculas de interés para la industria farmacéutica u otros grupos de investigación que deseen hacer estudios de biodistribución de su compuesto por imagen molecular. Con este mismo fin podemos marcar sustancias por otra ruta sintética; la metilación con yoduro de metilo radiactivo [ $^{11}\text{C}$ ]-MeI y metiltriflato radiactivo [ $^{11}\text{C}$ ]-MeTF.

*The Radiopharmacy Unit produces radiopharmaceuticals for preclinical investigation in little animals. Nowadays we are implementing the GMP rules y validating synthesis processes to go to the clinical practice. Among the radiotracers for little animals, we produce [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluorothymidine ([ $^{18}\text{F}$ ]-FLT), cellular proliferation PET tracer, [ $^{18}\text{F}$ ]-Fluoromisonidazol ([ $^{18}\text{F}$ ]-FMISO) for hypoxia, tumoral and trauma-induced hypoxia, [ $^{11}\text{C}$ ]-Methionine for brain tumors, [ $^{11}\text{C}$ ]-Choline to study prostate cancer, and sodium [ $^{18}\text{F}$ ]-Tetrafluoroborate ([ $^{18}\text{F}$ ]-TFB) for thyroid pathologies.*



*We also have authorized radiopharmaceuticals for clinical research at the human PET/CT scanner, like the [<sup>18</sup>F]-Fludeoxyglucose ([<sup>18</sup>F]-FDG) for glycidic metabolism, [<sup>18</sup>F]-Fluoromethylcholine, to study prostate cancer and [<sup>18</sup>F]-FDOPA for Parkinson Disease and neuroendocrine tumors.*

*We apply also custom-made PET tracers for drug biodistribution studies. We develop synthesis methods to label new molecules for pharmaceutical industries or investigation groups, which are interested in molecular imaging of their compounds. The most common methods we use are nucleophilic substitution with [<sup>18</sup>F] and radioactive methylation with methyl iodide ([<sup>11</sup>C]-MeI) and methyl-triflate ([<sup>11</sup>C]-MeTF).*

#### **3.2.4 Tomógrafo PET y TAC para pequeños animales / Small animal PET and CT**

El CNA dispone de un tomógrafo PET para pequeños animales modelo Mosaic y fabricado por Philips (Figura 3.13). El sistema de detección del aparato está basado en 14456 cristales de GSO (ortosilicato de gadolinio activado con cerio, Gd<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce) de dimensiones 2x2x10 mm<sup>3</sup> y distribuidos en 52 anillos con 278 cristales cada uno. Los cristales de GSO están pegados a una guía de luz continua de 1,2 mm de grosor y con ranuras de una profundidad de 0,5 mm. Dichos cristales están conectados a un conjunto hexagonal de 288 tubos fotomultiplicadores que tienen un diámetro de 19 mm. El escáner trabaja exclusivamente en modo 3D y su resolución espacial en el centro es de 2,7 mm.

En octubre de 2008 quedó instalado un equipo de microTAC preclínico marca Bioscan, modelo NanoCT (instalado por Philips Sistemas Médicos). El sistema NanoCT es un tomógrafo TAC helicoidal, que opera a una tensión máxima de 65 kV, y ofrece imágenes con una resolución espacial mejor que 200 μm, con un campo de visión axial de 270 mm y transaxial de 76 mm. Este equipo se utiliza para la obtención de imágenes de pequeños animales o de objetos de interés tecnológico o arqueológico mediante tomografía axial computerizada (TAC) con Rayos-X.

El equipo dispone de camillas de exploración compatibles con las del tomógrafo PET Mosaic, de forma que permite la adquisición secuencial de imágenes PET/TAC de animales de experimentación. De esta forma, y tras la fusión de las imágenes obtenidas por ambas técnicas, permite obtener una imagen única multimodalidad, que engloba la información metabólica ofrecida por la tomografía PET con la información morfológica de la tomografía axial con Rayos-X.

El laboratorio dispone de programas de evaluación y análisis de imágenes TAC, PET y otras modalidades como RMI: Imalytics, Invivoquant 1.43 y PMOD 3.6. Dispone de contratos de mantenimiento que garantizan siempre la última versión del programa. Especialmente cuenta con PMOD, que desde 2014 consiste de los siguientes módulos: VIEW (operación básica con imágenes, procesamiento de los imágenes en serie, "batch"), KINETIC (modelización cinética de radiofármacos), PXM0D (mapas paramétricas pixel a pixel de modelos cinéticos), FUSION y FUSEIT (para fusión de imágenes de distintos modalidades y estandarización a las plantillas de los cerebros

humano, rata, ratón y mono), SEGMENT (para segmentación de las imágenes según valores de los píxeles), 3D (para representación tridimensional de las imágenes), ALZHEIMER (evaluación de estado de paciente con signos clínicos de la enfermedad de Alzheimer en base de estudio de FDG-PET; la herramienta es para uso preclínico), NEURO (delineación semiautomática de las regiones de interés según anatomía de los núcleos en imagen PET o RMI).



Figura 3.13 Sala del tomógrafo microPET y microTAC para pequeños animales / Small animal microPET and microCT

*The CNA small-animal PET scanner was made by Philips (model Mosaic, Figure 3.13). The detection system is based on 14,456 GSO crystals ( $Gd_2SiO_5:Ce$ , gadolinium orthosilicate activated with cerium) with dimensions of  $2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$  and is arranged in 52 rings of 278 crystals each. The GSO crystals are glued to a continuous light guide with a thickness of 1.2 mm and 0.5 mm deep slots. The crystals are read out by a hexagonal array of 288 photo multiplier tubes (PMTs) with a diameter of 19 mm each. The scanner operates exclusively in 3D mode and the spatial resolution is 2.7 mm at the centre. The unit also has capability for housing up to thirty animals in environmentally controlled rooms.*

*In October 2008, a new preclinical microCT system (made by Bioscan, model NanoCT) was installed by Philips Medical Systems. The NanoCT system is a helical CT scanner which operates at 65 kV maximum voltage, obtaining images with a spatial resolution higher than  $200 \mu\text{m}$ . The scanner has an axial field of view (FOV) of 270 mm and a transaxial FOV of 76 mm. This unit will be used to obtain computed tomography (CT)*

*images with X-Rays from small animals and objects of technological or archaeological interest.*

*The system is equipped with exploration beds that are fully compatible with the Mosaic PET scanner. Sequential image acquisition with both techniques (PET/CT) in experimental animals is thus possible and a unique multimodality PET/CT image is finally obtained. This single set of images combines PET metabolic and CT morphologic information.*

*The laboratory has several programs for the evaluation and analysis of CT, PET images and other modalities as MRI: imalytics, Invivoquant 1.43 and PMOD 3.6 for which has the maintenance contracts which allow to update always to the newest version of the program. The most used one, PMOD, has from 2014 the following modules: VIEW (basic operation with the images, batch image processing), KINETIC (kinetic modelling of the radiotracers), PXMOD (pixel by pixel parametric mapping of kinetic models), FUSION and FUSEIT (for fusion/overlay of the images of different modalities, normalization to brain templates of human, rat, mouse or macaque [cynomologus monkey]), SEGMENT (for image segmentation according to the pixel values), ALZHEIMER (evaluation of the patient with clinical signs of Alzheimer's disease based on FDG-PET scan; this is not a clinical tool), NEURO (semiautomatic delineation of the regions of interest of the brain according to nuclear anatomy in PET or MRI images).*

### 3.3 Tomógrafo PET/TAC para humanos / PET/CT human scanner

Desde finales de 2011, el Centro Nacional de Aceleradores dispone de un escáner PET/TAC para humanos (Figura 3.14), lo que permite recibir pacientes en las instalaciones del CNA, concretamente en el Centro de Diagnóstico por Imagen del CNA (CDI). Se trata de un equipo Siemens Biograph mCT con detectores PET con un campo de vista axial de 162 mm, y detectores para TAC que permiten obtener imágenes de hasta 64 cortes.

Este equipo permite la preparación de estudios muy flexibles desde (i) examen estándar PET/TAC de cuerpo completo hasta (ii) exámenes dinámicos PET con campo de visión mayor que un anillo detector por debajo de 3 s por cama, (iii) exámenes dinámicos TAC con campo de visión superior a 67 mm y por debajo de 1 s de resolución temporal, (iv) PET o TAC con gating respiratorio, (v) PET o TAC con gating cardiaco y (vi) adquisición PET en modo lista.



Figura 3.14: Tomógrafo PET/TAC / PET/CT scanner

El escáner de humanos se encuentra instalado a pocos metros de los laboratorios de Radiofarmacia, lo que permite estudios con radiofármacos marcados con radioisótopos PET de semivida corta, como el  $^{11}\text{C}$ . Hay un convenio con el Servicio de Medicina Nuclear de Hospital Universitario del Virgen del Rocío para el uso y soporte de Unidad del Diagnóstico Molecular de CNA.

Actualmente se hacen exámenes de los pacientes hospitalarios de interés científico durante tres días a la semana, quedando los dos días restantes disponibles con el servicio que proporciona personal cualificado (facultativos especialistas en Medicina Nuclear, personal de Enfermería y técnicos en imagen) para estudios en humanos propuestos por personal científico no hospitalario. Además de los estudios con pacientes, el escáner se usa para exámenes de objetos de gran tamaño de patrimonio cultural, empleando para ello el TAC y para estudios con animales que tienen tamaño o masa que no permita el uso de escáner de animales pequeños.

*Since late 2011, the National Accelerator Centre has a PET/CT for humans (Figure 3.14), which allows receiving patients at CNA facilities, particularly in the Diagnostic Imaging Center of CNA (CDI). It is Siemens Biograph mCT with 162 mm axial field of view PET detectors combined with a 64-slices CT.*

*It allows very flexible study preparation from (i) standard whole body PET and CT scans to (ii) dynamic PET scans with field of view longer than one detector ring down to 3 s per bed, (iii) dynamic CT scans of up to 67 mm field of view and down to 1 s resolution, (iv) respiratory gated PET or CT scans, (v) cardiac gated PET or CT scans and (vi) flexible list mode acquisition in PET.*

*Human scanner shares its control room with that of a small animal PET and CT scanner. It is installed a few meters away from the radiopharmacy laboratory, which allows studies with short half-life PET radioisotopes, as  $^{11}\text{C}$  based radiopharmaceuticals. There is an agreement with the Nuclear Medicine Service of the University Hospital Virgen del Rocio to use and support the research facility in CNA.*

*Presently, Hospital patients of research interest are scanned at CNA three days per week, and for the remaining two days the Service provides the qualified staff (Nuclear Medicine specialists, nursery and technicians staff) for the human studies proposed by non-Hospital scientific personnel. Moreover, the CT scanner is used for examination of art large objects and animals which due to their size or mass do not fit in the animal scanner.*

---

### 3.4 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas (AMS) / 1 MV Tandetrón Accelerator with Mass Spectrometer (AMS)

---

La Unidad de AMS del Centro Nacional de Aceleradores se origina en septiembre de 2005 con la llegada del sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) adquirido a la empresa holandesa High Voltage Engineering Europe. De este modo se convierte en la única instalación de AMS en España.

La espectrometría de masas con aceleradores es una técnica nuclear destinada a la detección de radionúclidos muy poco abundantes en la naturaleza. En concreto, se aplica a aquellos isótopos que son muy difíciles de detectar mediante técnicas radiométricas debido a que tienen una semivida muy grande. En AMS no se detecta la radiación que emiten estos isótopos sino la señal que ellos mismos producen en un detector nuclear después de haber sido seleccionados mediante campos eléctricos y magnéticos.

La presencia de un acelerador de partículas tipo tándem permite aumentar sensiblemente la energía de los iones hasta valores en el orden del MeV/uma. De este modo es posible utilizar propiedades nucleares para discriminar unos isótopos de otros. Además, en el stripper del acelerador se produce la rotura de las moléculas de la misma masa que el isótopo de interés, lo cual permite reducir aún más las interferencias. Estas cuestiones hacen que AMS posea una mayor sensibilidad que cualquier otra técnica de detección de radionúclidos, lo cual la hace eficaz en multitud de problemas científicos imposibles de abordar de otro modo.

Los núcleos que se pueden detectar mediante AMS son variados. En el caso de la instalación del CNA, el sistema, basado en un Acelerador Tándem de 1 MV, se diseñó originalmente para la medida de  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu. En los últimos años, las líneas más activas se han centrado en los análisis de muestras para la detección de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu, aunque se han comenzado las pruebas para estudiar la capacidad del equipo para la detección de nuevos radioisótopos como el  $^{41}\text{Ca}$  y el  $^{36}\text{Cl}$ .

*The AMS Unit of the Centro Nacional de Aceleradores was created in September 2005 right before the arrival of the Accelerator Mass Spectrometry (AMS) system acquired the Dutch company High Voltage Engineering Europe. Thus becomes the only facility of AMS in Spain.*

*Accelerator Mass Spectrometry is a nuclear technique for the detection of radionuclides which are in very small amounts in nature. In particular, it is applied to those isotopes which are very difficult to detect using radiometric techniques because they have a very long half-life. AMS does not detect radiation emitted by these isotopes, but the signal they produced in a nuclear detector after being selected by electric and magnetic fields.*

*The presence of a tandem particle accelerator can significantly increase the energy of the ions to values in the order of MeV/uma. This can be used to discriminate them from other isotopes by their nuclear properties. In addition, the accelerator stripper breaks the molecules of the same mass as the isotope of interest, which further reduces interference. These issues make AMS more sensitive than any other radionuclide detection technique, which makes it effective in many scientific problems cannot be met otherwise.*

*Nuclei detected by AMS are varied. The facility at CNA, based on a 1 MV Tandem Accelerator, was originally designed for the measurement of  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  and isotopes of Pu. In the last years, active lines have focused on the analysis of samples for  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  and Pu isotopes, but tests to study the team's ability to detect new radioisotopes as the  $^{41}\text{Ca}$  and  $^{36}\text{Cl}$  have begun.*

La técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, del inglés Accelerator Mass Spectrometry) es una técnica ultrasensible que combina las técnicas de espectrometría de masas convencionales con un acelerador de partículas que permite dotar a las partículas de energías muy superiores a las habituales. Su aplicación fundamental es la detección de isótopos radiactivos de semivida muy larga y con muy escasa presencia en la naturaleza.

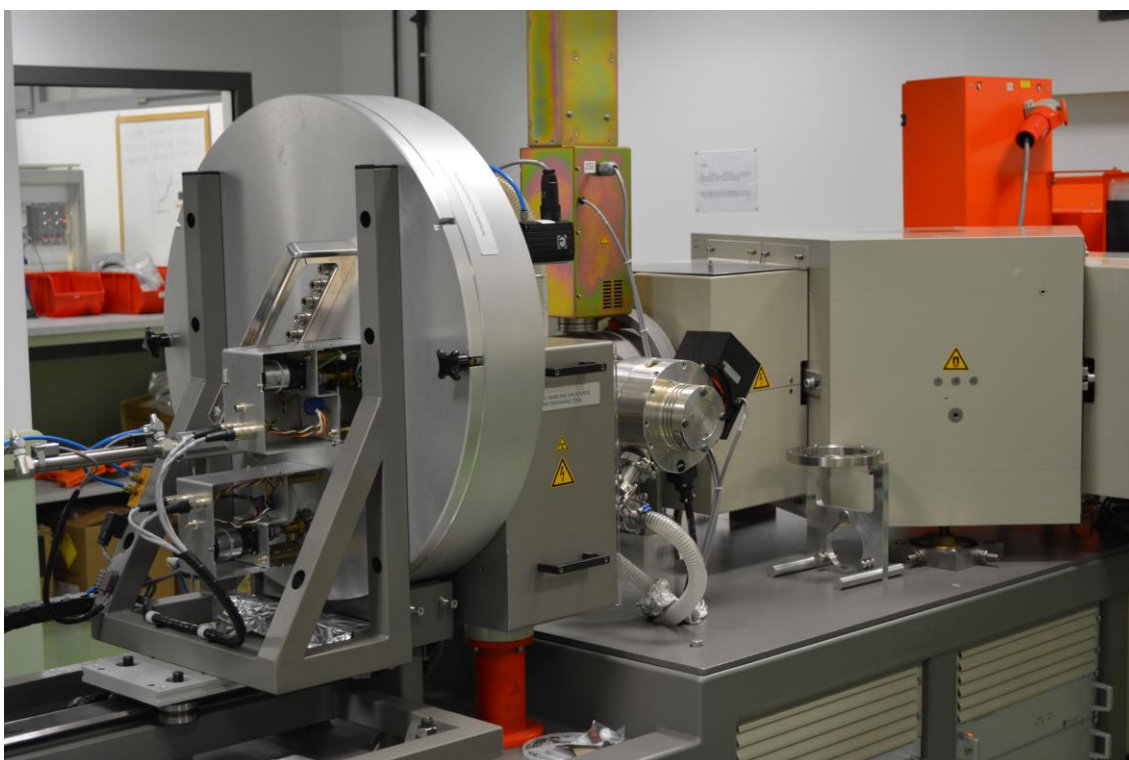


Figura 3.15: Carrusel de almacenamiento de muestras y deflector magnético / Sample carousel and injector

En las técnicas de espectrometría, de masas se analizan los componentes de un haz en virtud de su masa, energía y estado de carga, con la idea de cuantificar un tipo de

partícula determinada, caracterizada por una masa específica. Para ello se utilizan diferentes filtros cinemáticos, basados en la aplicación de campos eléctricos y magnéticos y el comportamiento de las partículas cargadas en el seno de los mismos.

La sensibilidad está sin embargo limitada por la presencia de partículas con las mismas características cinemáticas que la partícula de interés, como por ejemplo moléculas de igual masa o isóbaros.

En AMS, se obtienen resultados mucho más sensibles debido a sus características más definitorias:

- Formación inicial de iones negativos. Esto elimina en ocasiones la presencia de interferentes que no son estables como ión negativo.
- Eliminación de moléculas. En el propio acelerador se produce un proceso de cambio de carga tras el que las partículas son positivas, y en el que las moléculas se disocian, de modo que los interferentes moleculares se reducen drásticamente.
- Uso de detectores nucleares. La mayor energía alcanzada por las partículas permite el uso de detectores nucleares con los que determinar la energía total de la partícula, o su poder de frenado. Con estos detectores se consigue una efectiva distinción isotópica.



Figura 3.16: Acelerador Tandetrón de 1 MV / 1 MV Tandetrón Accelerator

Gracias a estos factores, con AMS se consiguen medidas extremadamente sensibles, varios órdenes de magnitud por encima de las técnicas espectrométricas de masas convencionales. Típicamente, las relaciones isotópicas determinadas mediante AMS



(isótopo radiactivo/isótopo estable) están entre  $10^{-12}$ - $10^{-15}$ , es decir, la técnica es capaz de identificar una partícula entre mil billones. Los isótopos que habitualmente se determinan mediante AMS son, entre otros,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu.

*Accelerator Mass Spectrometry (AMS) is a highly sensitive technique that combines mass spectrometry with particle accelerators. The use of high energies makes possible the detection of radioactive isotopes with long half-lives. Mass spectrometry (MS) uses the fact that a charged particle follows a trajectory that depends on its mass and its charge. The use of kinematic filters based on magnetic and electrostatic fields makes possible the selection of the desired particles. However, its sensitivity is limited due to the existence of interferences such as molecules or isobars.*

*In AMS, the discrimination of the radioisotope under study and the interferences is possible thanks to the use of high energies. For example, elements that do not form negative ions are eliminated in the ion source. Molecules are broken in the tandem accelerator and isobars can be discriminated from its different stopping power in the ionization chamber.*

*Thanks to this, it is possible to reach very high sensitivities, several orders of magnitude over the traditional MS techniques. Typically, AMS determines isotopic ratios in the order of  $10^{-12}$ - $10^{-15}$  (radioactive isotope to stable isotope).*

Se han realizado dos mejoras técnicas relevantes en el equipo de AMS del CNA en el año 2014. En primer lugar, se ha modificado la estructura interior del acelerador tándem para cambiar el gas de stripping de Ar a He. Esta modificación se ha llevado a cabo ya en otras instalaciones de AMS del mundo y permite obtener transmisiones mucho mayores que con Ar en la mayoría de los isótopos que se miden por AMS, lo que se traduce en un aumento muy importante en la eficiencia de detección y por tanto una reducción en el tiempo de medida. Ya se han realizado pruebas con  $^{236}\text{U}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{10}\text{Be}$  y  $^{41}\text{Ca}$  en el CNA que así lo demuestran.

Asimismo, se ha cambiado la cámara de ionización original por una diseñada en el ETH de Zúrich, más compacta y de la cual se espera una mejor resolución en energías, que permita reducir la contribución del fondo de medida especialmente en isótopos como el  $^{10}\text{Be}$ . Este detector incorpora la propiedad de que los preamplificadores necesarios para la gestión de la señal están directamente colocados sobre los ánodos. Esto reduce sensiblemente el ruido electrónico y mejora por tanto la resolución de la señal.

*During 2014 two important developments of the AMS system at CNA have been carried out. First, the stripping system in the Tandatron accelerator has been modified in order to use He instead of Ar gas. This change will provide much higher transmissions increasing this way the transport efficiency along the system for most of the radionuclides analyzed at CNA. This has already been shown for  $^{236}\text{U}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{10}\text{Be}$  and  $^{41}\text{Ca}$*

*and will be checked for other radioisotopes. This change has a direct implication in the time needed for the analysis, as well as in the sensitivity of the technique.*

*Secondly, a new ionization chamber has been installed to detect the radioactive ions at the end of the line. It has been designed at the ETH Zurich and is expected to increase the resolution of the detection system. This is particularly important for radionuclides as  $^{10}\text{Be}$ , for which the interferences have to be effectively separated at the detector.*

#### **3.4.1 Laboratorio asociado al Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / AMS Laboratory**

En el laboratorio se trabaja con muestras para posteriormente poder medir los siguientes isótopos:  $^{129}\text{I}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{10}\text{Be}$  y  $^{236}\text{U}$ , entre otros. Para ello, y en función de la matriz en la que se encuentren los radioisótopos de trabajo, se utilizan diferentes métodos de preparación de las muestras, cuyo objetivo principal es aislar el isótopo de interés del resto de posibles interferentes para su futura medida por AMS.

Estos métodos pueden incluir entre otros:

- Digestión.
- Digestión ácida.
- Digestión ácida con flujo de gas inerte.
- Digestión por microondas.
- Resinas de intercambio iónico.

Finalmente, y después de la mayor purificación posible, las muestras se prensan en un cátodo de cobre o aluminio (en función del isótopo de interés) en un sistema paralelo al del laboratorio de preparación de muestras de  $^{14}\text{C}$ .

*We measure isotopes such as  $^{129}\text{I}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{10}\text{Be}$  and  $^{236}\text{U}$ , among others. According to the matrix in which radioisotopes are located, different sample preparation methods are used, whose main objective is to isolate the isotope, which we interest us, from other possible interferences for the future measure by AMS.*

*These methods include, among others:*

- Digestion.*
- Acid digestion.*
- Acid digestion with an inert gas flow.*
- Microwave digestion.*
- Ionic exchange resins.*

*Finally, and after further possible purification, samples are pressed into a copper or aluminum cathode (depending on the isotope) in a parallel system to the radiocarbon laboratory.*



Figura 3.17: Laboratorio de preparación de muestras para AMS /  
AMS samples preparation Laboratory

### 3.5 Acelerador MiCaDaS / MiCaDaS Accelerator

El sistema MiCaDaS (Figura 3.18) es un instrumento para realizar Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, del inglés Accelerator Mass Spectrometry), específico para el análisis de muestras de  $^{14}\text{C}$ .

Su diseño y funcionamiento siguen el patrón básico de otras instalaciones de AMS como el propio sistema SARA en el CNA. Las muestras pueden ser sólidas o gaseosas, y en la fuente de iones el material es bombardeado con iones de  $\text{Cs}^+$  para producir un haz de iones negativos. Este haz es analizado por un campo magnético antes de entrar en la zona de aceleración de 200 kV. Dentro de la zona de aceleración, los iones interactúan con el gas de stripper, de modo que los iones cambian su estado de carga de negativo a neutral o positivo. Los iones positivos son acelerados nuevamente hasta potencial de tierra y son analizados en función de su masa y carga.

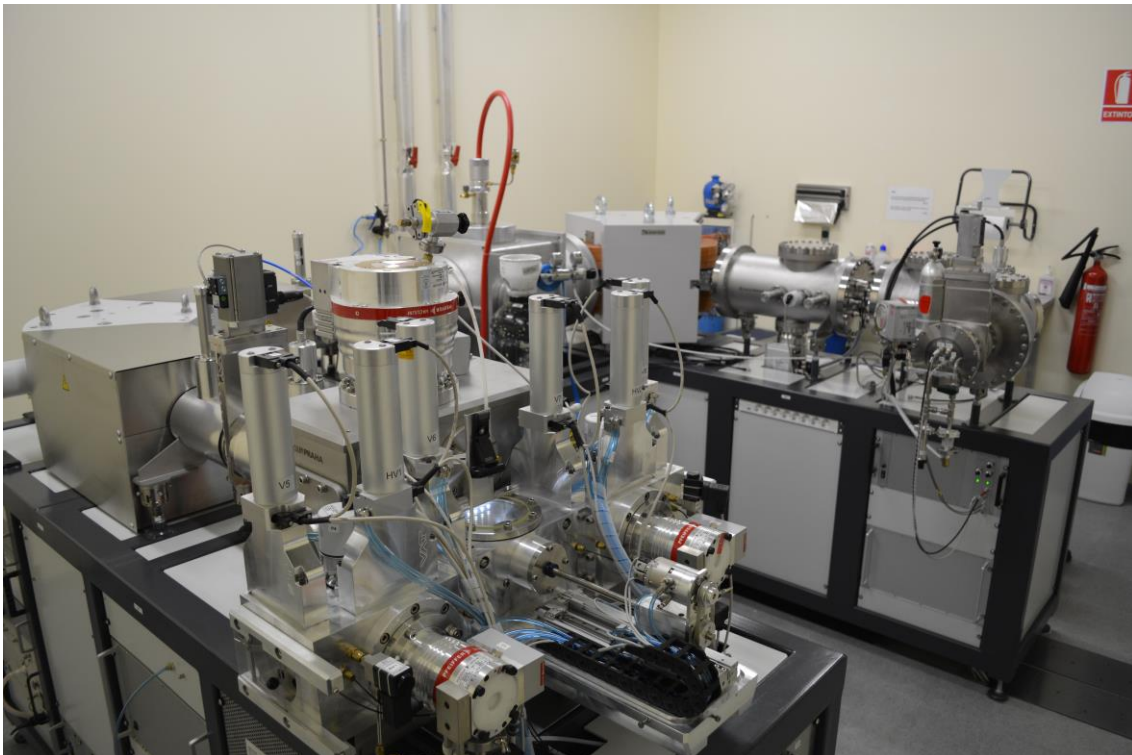


Figura 3.18: MiCaDaS (Mini Radiocarbon Dating System)

El sistema de AMS determina de forma precisa el cociente  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  de las muestras, para lo que mide los diferentes isótopos en distintas zonas del sistema. En la zona de baja energía mide la intensidad del haz de  $^{12}\text{C}$ . En la zona de alta energía mide la intensidad de los haces de  $^{12}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$ , así como  $^{13}\text{C}$  procedente de la rotura de las moléculas de  $^{13}\text{CH}$ . Además, mide el número de iones de  $^{14}\text{C}$ .

Las corrientes se miden en cámaras de Faraday, mientras que el  $^{14}\text{C}$  se detecta en un detector de ionización. Los cocientes se corrigen tanto por los niveles de fondo como

por el fraccionamiento utilizando todos los valores medidos en las diferentes cámaras de Faraday.

El sistema MiCaDaS está diseñado para medir muestras con un cociente en el rango de 0.005 hasta 10 fMC con alta precisión, lo que incluye todo el rango de posibles muestras arqueológicas y de estudios ambientales. El sistema de intercambio de muestras está equipado con cámaras independientes que permiten un proceso de medida continuo, sin interrupciones.

En comparación a otros sistemas de AMS, MiCaDaS permite una alta precisión en las medidas de radiocarbono con un sistema muy compacto y menos complejo, de modo que puede ser instalado en laboratorios en combinación con otros sistemas complementarios. Se trata de un sistema muy robusto y relativamente fácil en su operación.

*MiCaDaS system (Figure 3.18) is an instrument to perform AMS analysis specifically designed for  $^{14}\text{C}$  measurements. Its design and functioning follow the basic scheme of other AMS facilities, like the SARA system at CNA. Samples can be either solid or gaseous, and in any case they are sputtered by  $\text{Cs}^+$  ions in the ion source, producing a negative ion beam. This beam is analyzed by a magnetic field before entering the accelerating part, with 200 kV. In the accelerating stage ions interact with the stripper gas, changing from negative to neutral or positive charge, so that positive ions are accelerated a second time until ground potential, and finally analyzed with magnetic and electric field depending on the charge and mass.*

*AMS systems determine in a precise way the  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio in the samples, measuring different isotopes in different parts of the system. At the low energy side the  $^{12}\text{C}$  beam intensity is measured. At the high energy side beam intensity for  $^{12}\text{C}$  and  $^{13}\text{C}$ , as well as  $^{13}\text{C}$  coming from the breakup of  $^{13}\text{CH}$  molecules is measured.  $^{14}\text{C}$  counts are also measured.*

*Currents are measured in Faraday cups, meanwhile  $^{14}\text{C}$  counts are detected in an ionization chamber. Ratios are fractionation and background corrected using the currents measured.*

*The MiCaDaS system is designed to measure samples with a ratio in the range of 0.005 to 10 fMC with high precision, which includes all the range of the possible archaeological and environmental applications. The sample changing system is equipped with two independent locks allowing a continuous measurement sequence.*

*Compared to other AMS systems, MiCaDaS allows a high precision radiocarbon dating with a very compact and less complex instrument. Therefore it can be housed in laboratories in combination with other complementary equipment. It is a robust and friendly user system.*

### 3.5.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service

Como se sabe, es posible estudiar la edad de muestras de interés arqueológico, artístico, histórico, etc, mediante la medida de su contenido en  $^{14}\text{C}$ , radioisótopo que se produce en la naturaleza y que es un isótopo del carbono, por lo que tiene su mismo comportamiento químico.

Asociado al Acelerador MiCaDaS existe un Servicio de Datación por Radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ). En este servicio se incluye un completo laboratorio de preparación de muestras, siendo el primero de su naturaleza en España. Existen en España laboratorios de datación por  $^{14}\text{C}$ , pero que usan el método tradicional radiométrico, es decir, con detectores de radiación. Por razones científicas la técnica tradicional de datación por  $^{14}\text{C}$  es altamente destructiva (necesita gramos de carbón para datar), consume mucho tiempo de trabajo (al menos se necesitan varias horas por muestra) y es poco productiva (por las razones anteriores).

El uso de un Espectrómetro de Masas con Acelerador (AMS) permite:

- Reducir la cantidad de muestra necesaria para producir una fecha hasta fracciones de miligramo (casi no destructiva, muy importante para objetos de interés especial).
- Realizar la medición en fracciones de hora por muestra y, consecuentemente, es capaz de producir una mayor cantidad de fechas por unidad de tiempo que el método tradicional. La razón para todo ello reside en que mientras que con el método tradicional se mide la radiación emitida por  $^{14}\text{C}$ , con AMS se mide el número de átomos de  $^{14}\text{C}$  presente en la muestra.

*Samples (archaeological, artistic, historical, etc.) can be dated by measuring their  $^{14}\text{C}$  content. This radioisotope is produced naturally and has the same chemical behavior as other carbon isotopes.*

*At CNA, there is a Radiocarbon Dating Service ( $^{14}\text{C}$ ) associated to MiCaDaS Accelerator. This service includes a fully-equipped laboratory for sample preparation, the first of its kind in Spain. There are other  $^{14}\text{C}$ -dating laboratories in Spain, but they use traditional radiometric methods (radiation detectors). These methods are highly destructive (grams of carbon are required for the analysis), time-consuming (hours per sample) and less productive.*

*The use of Accelerator Mass Spectrometry allows:*

- The reduction to the sub-milligram scale of the sample amount that is required for dating (almost non-destructive, which is really important in the analysis of valuable material).*
- Sample measurements in less than one hour, producing a higher number of dating analyses per day than conventional methods (higher productivity). All these advantages are due to the fact that in the traditional procedures, the radiation emitted by  $^{14}\text{C}$  is*

*measured, but with AMS, we measure the total number of  $^{14}\text{C}$  atoms that are contained in the sample.*

Durante los años 2013 y 2014 se ha producido la definitiva consolidación del servicio de datación por radiocarbono, siendo un bienio en el que los equipos instalados y testados anteriormente han podido funcionar a pleno rendimiento. Incluso ha habido alguna actualización de equipamiento en el laboratorio que está en fase de pruebas. En el laboratorio los sistemas de grafitización manual y automático han funcionado tal y como se esperaba, y se han podido preparar 377 y 689 muestras desconocidas en los años 2013 y 2014 respectivamente. Se trata de un aumento realmente significativo respecto al bienio anterior. A finales de 2014 el CNA ha proporcionado prácticamente 2500 dataciones a diferentes instituciones.

En 2013 se ha consolidado el funcionamiento del nuevo sistema de medida de C-14, el llamado Micadas (MIni CARbon DAting System), también desarrollado por el ETH de Zurich. Se utiliza de forma rutinaria en las medidas de C-14, y el anterior sistema, SARA, se utiliza en caso de reparaciones o mantenimiento de larga duración, o bien en el caso de experimentos. A finales de 2014 se ha incorporado un nuevo sistema automático desarrollado por la unidad de AMS del ETH de Zurich y la empresa IonPlus, que podrá reemplazar al sistema de grafitización manual que venía utilizándose para la preparación de muestras de carbonato. Dicho equipo está en fase de pruebas, y se espera que pueda utilizarse también para la preparación de determinados tipos de muestras líquidas.

*The definitive consolidation of the radiocarbon dating service has taken place during years 2013-2014. In these two years the equipment previously installed and tested has been working at full capacity. There has been even a new upgrade in the laboratory which is still being tested. The manual and automatic graphitization systems in the lab have been working as expected, and 377 and 689 unknown samples could be prepared in 2013 and 2014 respectively. It has been a significant increase respect the two previous years. By the end of 2014 the CNA has provided circa 2500 radiocarbon datings to different institutions.*

*By the end of 2014, a new equipment has been incorporated in the lab. It is an automatic equipment developed by the AMS unit at ETH Zurich and IonPlus Company, which will be used for carbonate sample preparation instead of the manual system that was previously in use. The system is still in the testing stage, and we expect that it can actually be also used for some kind of liquid samples. In 2013 the new system for C-14 detection, the so called Micadas (MIni CARbon DAting System), developed by the ETH Zurich, has been consolidated. It is routinely used for the C-14 measurements, and the SARA system which was previously used is now only used in the case of reparations or long term service of the system, or for experiments.*

### 3.5.2 Laboratorio de grafitización del Centro Nacional de Aceleradores (AGE) / Automated Graphitisation Equipment (AGE)

Dentro de la preparación de muestras de  $^{14}\text{C}$  para AMS, la línea de grafitización es el sistema más complejo y más específico del laboratorio. En pocas palabras, consiste en un sistema capaz de convertir  $\text{CO}_2$  en grafito, que es el material que se necesita en la fuente de iones de un sistema de AMS para medir radiocarbono. El sistema propuesto por el ETH de Zurich incluye además el paso previo de obtención del  $\text{CO}_2$ . A continuación, pasamos a describir el sistema con más detalle.

El primer paso para la obtención de grafito es extraer el carbono presente en la muestra en forma de  $\text{CO}_2$ . Habitualmente, en los laboratorios de AMS, y entre ellos, hasta hace el poco, en el CNA, este  $\text{CO}_2$  se obtiene mediante combustión de la muestra en un tubo de cuarzo bajo vacío, y en presencia de óxido de cobre (portador de oxígeno) y plata (para purificar el  $\text{CO}_2$ ). Es un proceso relativamente lento, porque hay que esperar a que haya un buen vacío en los tubos de cuarzo donde están todos los reactivos, y luego hay que sellarlos usando un soplete, proceso manual que entraña cierta habilidad para evitar peligros. El proceso de combustión dura varias horas. En el sistema propuesto por el ETH se utiliza un analizador elemental (EA, Elemental Analyzer), de la casa Elementar, que combustiona la muestra a muy alta temperatura en presencia de oxígeno gaseoso, produciendo una descomposición casi inmediata de la muestra en sus compuestos elementales, típicamente C, H, N y S. Estos elementos son retenidos en una columna cromatográfica, y posteriormente son eluidos de forma separada. El analizador está conectado a la línea de grafitización, de modo que en el momento de la liberación del  $\text{CO}_2$ , este es inyectado a la línea.

La utilización de este EA para la generación del  $\text{CO}_2$  tiene dos ventajas principales: la primera, una mayor rapidez y seguridad en la preparación de las muestras y la segunda, un menor coste de producción, pues los tubos de cuarzo necesarios en el método tradicional tienen un coste muy elevado.

El  $\text{CO}_2$  proveniente del analizador es atrapado en una cápsula de zeolita, que no atrapa el resto de gases de la combustión, para luego ser liberado por aumento de temperatura, conduciéndolo hacia el reactor correspondiente, donde se mezcla con hidrógeno, en presencia de hierro como catalizador. En este reactor, aplicando temperaturas del orden de  $550^\circ\text{C}$  tiene lugar la conversión de  $\text{CO}_2$  a grafito, y se produce agua, que es retenida por un dedo frío basado también en enfriamiento por efecto Peltier. El sistema ofrecido por el ETH está diseñado de un modo muy compacto, ya que prescinde del uso de nitrógeno líquido para la transferencia de gases de una zona a otra de la línea. En la mayoría de las líneas, el uso de nitrógeno es básico para conducir el  $\text{CO}_2$  de una zona a otra, e implica el uso de tuberías para este nitrógeno o de vasos Dewar, lo que conlleva un importante espacio. El diseño de esta línea, basado en tubos capilares, hace innecesaria la utilización de nitrógeno líquido, y por tanto el espacio ocupado es mucho menor.



La línea está diseñada para poder llevar a cabo siete reacciones de grafitización en paralelo, correspondientes a siete muestras diferentes. Todo el proceso está controlado automáticamente vía software, de modo que todas las aperturas y cierres de válvulas, las rampas de subida de temperatura, o el tiempo de la reacción no precisan más que de una supervisión general por parte del operador. El ritmo de producción estimado de esta línea es de siete muestras diarias, lo que supone un importante incremento respecto de las posibilidades anteriores del CNA.

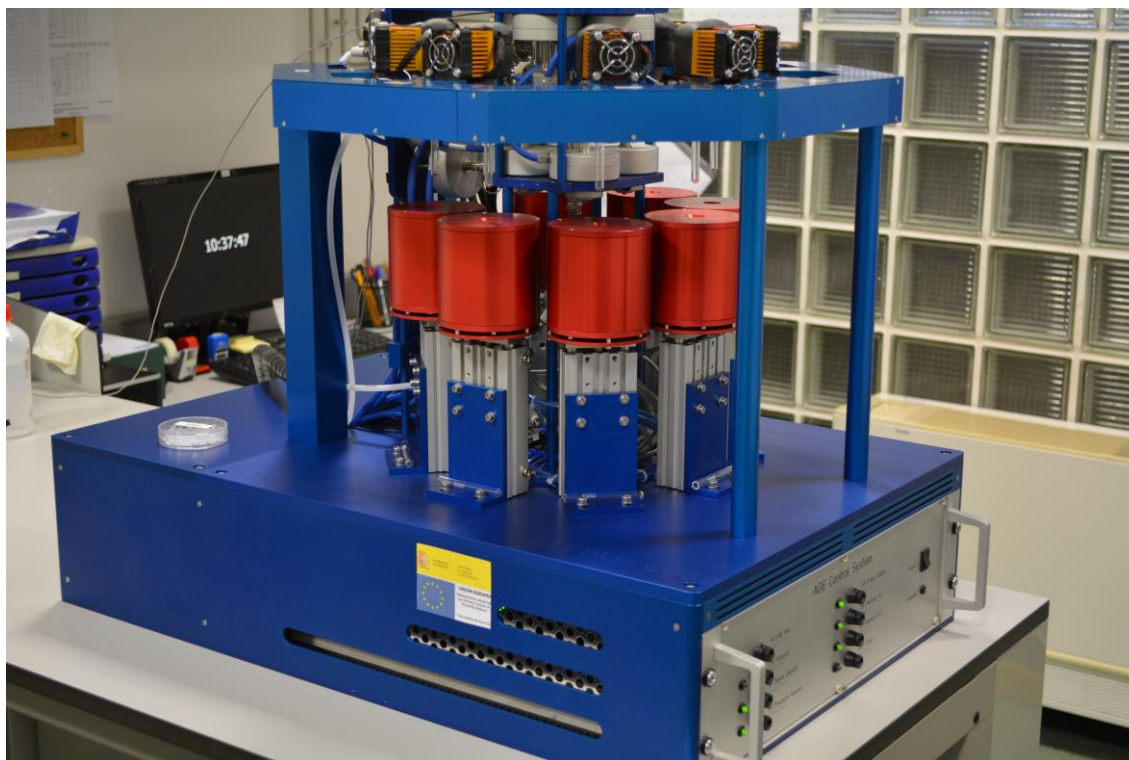


Figura 3.19: Línea de grafitización / Graphitization line

*For radiocarbon measurements with accelerator mass spectrometry (AMS) solid graphite targets are required. Samples with organic material are therefore cleaned, combusted and the formed  $CO_2$  is reduced to graphite with a graphitization system.*

*The Automated Graphitization Equipment (AGE) features a graphitization that is directly coupled to the sample combustion in an elemental analyzer (EA). AGE has been developed for fast and efficient sample preparations for radiocarbon measurement by means of accelerator mass spectrometry.*

*Traditionally, the cryogenic transport of  $CO_2$  into the graphitization reactors with liquid nitrogen is used after sample combustion. AGE uses instead a column filled with zeolite to trap the  $CO_2$  coming from the combustion in the EA. The  $CO_2$  can then be easily released by heating the zeolite trap and transferred to the reactor by gas expansion. The consequence of the AGE avoiding the use of liquid nitrogen is, that it is very compact and allows running fully automated for sample combustion and graphitization.*

*The Automated Graphitization Equipment (AGE) produces graphite reducing the CO<sub>2</sub> from sample combustion in an EA with hydrogen on an iron catalyst. The samples are combusted in the EA and the produced CO<sub>2</sub> is adsorbed in a column filled with zeolite material. Later the CO<sub>2</sub> is thermally released from the zeolite trap and transferred to the reactor by gas expansion. Hydrogen is finally added to reduce the CO<sub>2</sub> in the reactor at a temperature of 550 °C in presence of an iron catalyst.*

*The entire system with valves, ovens, temperature and pressure sensors is computer controlled. A LabVIEW program runs through all consecutive steps when processing a sample: catalyst preconditioning, sample combustion in the EA and CO<sub>2</sub> trapping, thermal CO<sub>2</sub> release from the trap into the reactor, and finally the graphitization reaction itself.*

*Key features are:*

- Sample combustion and graphitization are combined in AGE.*
- Fully automated: no user input required after samples are loaded to EA.*
- Very compact design.*
- No liquid nitrogen required.*
- Fast graphitization process of < 2 hours.*
- Pressure and temperature history for all samples is logged in files.*
- User-friendly software.*

Como resultado, se obtiene grafito en polvo que se prensa en un cátodo de aluminio con forma cilíndrica listo para ser introducido en el carrusel de muestras de la fuente de iones del acelerador (Figura 3.20).

*The final graphite powder is pressed into an aluminum cylindrical target, which is ready for AMS measurement (Figure 3.20).*

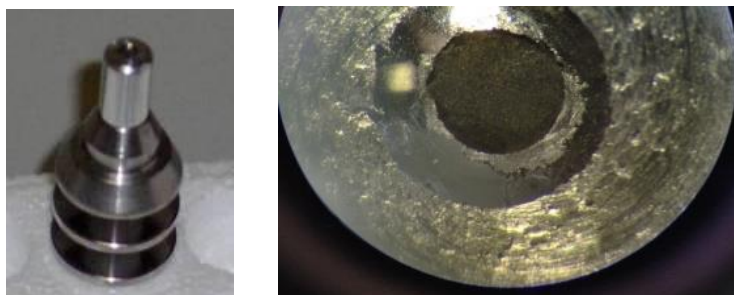


Figura 3.20: Cátodo de aluminio donde se sitúa la muestra grafitizada / Aluminum target with graphitized sample

---

### 3.6 Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory

---

Gracias a su condición de ICTS, el Centro Nacional de Aceleradores ha podido ampliar sus infraestructuras con un nuevo laboratorio, RADLAB basado en un sistema de irradiación con fotones gamma. Complementando así la línea de investigación en irradiación con partículas desarrollada en los Aceleradores Tándem de 3 MV y Ciclotrón.

El laboratorio se encuentra situado en la planta sub sótano del edificio. El irradiador y los sistemas auxiliares se alojan en una sala de 5.8x4.8x3 m<sup>3</sup>, construida con un blindaje a base de muros y techo de hormigón armado especialmente diseñados para cumplir con la normativa vigente sobre Protección Radiológica. Un pasillo en forma de laberinto da acceso a la sala de control, igualmente blindada, donde se encuentra la consola de control del irradiador, el sistema de seguimiento dosimétrico, así como los equipos asociados a vigilancia y seguridad radiológica.

Se cuenta con uno de los equipos de radiación gamma para investigación más versátiles disponibles en el mercado hoy en día, el modelo Gammabeam<sup>®</sup> X200 (GBX200) (Figura 3.21) de la empresa Best Theratronics. Consiste en un cabezal rotatorio (360°) de acero, relleno de plomo y tungsteno, donde se aloja una fuente radiactiva de cobalto (<sup>60</sup>Co). Mediante un pistón neumático, la fuente se desplaza horizontalmente entre las posiciones de reposo y exposición. En esta posición, el blindaje tiene una apertura cónica donde se encuentra un colimador ajustable, que permite obtener diferentes campos de irradiación cuadrados. Además, se le puede añadir un sistema auxiliar de plomo para reducir la penumbra, donde cabe la posibilidad de adaptar máscaras de diferentes tamaños y formas para seleccionar áreas de irradiación específicas.

El GBX200 contiene una fuente isotópica de cobalto-60 fabricada por MDS-Nordion. Mediante el bombardeo neutrónico de <sup>59</sup>Co en un reactor se produce el isótopo <sup>60</sup>Co. Éste, con una vida media de 5.26 años, decae a <sup>60</sup>Ni mediante desintegración beta emitiendo rayos gamma de 1.17 y 1.33 MeV. La fuente instalada en el irradiador del CNA cuenta con una actividad de 307 TBq (8297 Ci) a fecha de enero de 2015. Variando la distancia de la muestra a la fuente (mínimo 50 cm) y con el uso de un atenuador, es posible obtener un amplio rango de tasa de dosis entre 0.05 y 400 Gy/h. El tamaño de campo de irradiación es variable, siendo el mayor de 140x140 cm<sup>2</sup> a la máxima distancia posible del blanco a la fuente.

En RADLAB, los procedimientos de calibración y dosimetría, tanto en agua como en aire, se han establecidos conforme a los protocolos TRS-398 y TRS-469 de la IAEA respectivamente. Asimismo, los procedimientos dosimétricos se han sometido satisfactoriamente a un ejercicio de intercomparación junto a otros destacados laboratorios europeos (ESTEC-ESA y CRC-UCL).

Esta instalación está disponible para la utilización por parte de toda la comunidad científica y empresas interesadas en diferentes campos de aplicación. La puesta a punto del laboratorio se ha realizado junto a la empresa ALTER Technology (TÜV NORD). El uso principal es llevar a cabo ensayos de irradiación sobre materiales y componentes de uso aeroespacial, sector donde se exceden los requerimientos demandados por la normativa actual aplicable (ESCC, MIL-STD o ASTM). Además del campo aeroespacial, se hace uso de la instalación para aplicaciones en Física de Altas Energías, Ciencia de Materiales, Medicina y Agricultura.

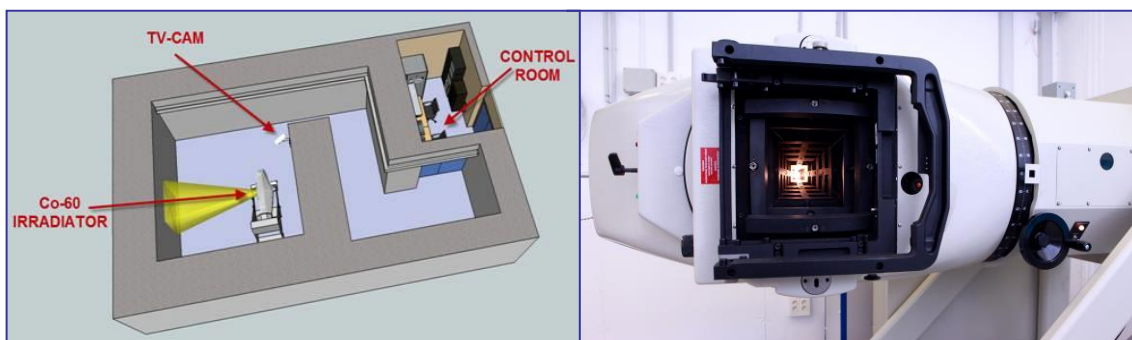


Figura 3.21: Plano general del Laboratorio de Radiación Gamma del CNA (RADLAB).  
Detalle del irradiador GBX200 / General layout of the CNA Gamma Radiation  
Laboratory (RADLAB). Detail of the GBX200 irradiator

*Thanks to its status as ICTS, the National Centre for Accelerators has expanded their infrastructure with a new laboratory, RADLAB based on a gamma photon irradiation system. Therefore, complementing the research in ion irradiation developed in the 3 MV Tandem and Cyclotron Accelerators.*

*The laboratory is sited in the basement of the building. The irradiator and auxiliary systems are housed in a room ( $5.8 \times 4.8 \times 3 \text{ m}^3$ ) built with walls and ceiling shielded made of reinforced concrete, especially designed based on current regulations of radiation protection. A labyrinth shaped passage gives access to the control room, also shielded, where are placed the irradiator control console, the dosimetric monitoring system and the radiation safety monitoring equipment.*

*The CNA has one of the gamma radiation equipment for research most versatile on the market today, the model Gammabeam<sup>®</sup> X200 (GBX200) (Figure 3.21) of Best Theratronics company. It comprises a steel rotary head ( $360^\circ$ ) filled with lead and tungsten, where is placed a radioactive source of cobalt ( $^{60}\text{Co}$ ). By using an air cylinder, the double-encapsulated source is slid horizontally between the fully shielded position and the fully exposed position. In this location, the shield has a conical opening which contains a variable collimator system, providing different square irradiation fields. Moreover, detachable trimmers, which provide an improved penumbra, are available and it is also possible to adapt on them masks of different sizes and shapes to select specific areas of irradiation.*

*The GBX200 contains an isotopic source of cobalt-60 manufactured by MDS-Nordion. The  $^{60}\text{Co}$  isotope is produced in a reactor by neutron bombardment of the  $^{59}\text{Co}$  stable isotope. With a half-life of 5.26 years, the  $^{60}\text{Co}$  nucleus decays to become  $^{60}\text{Ni}$  by beta emission and two associated gamma rays with energy of 1.17 and 1.33 MeV. The source installed in the irradiator of this Centre has an activity of 307 TBq (8297 Ci), in January 2015. By adjusting the distance of the sample to the source (minimum 50 cm) and by means of an attenuator, it is possible to obtain a wide range of dose rate from 0.05 to 400 Gy/h. The irradiation field size is also variable; the largest field is 140x140 cm<sup>2</sup> at the maximum distance from the source.*

*In RADLAB, the calibration and dosimetry procedures are performed in full compliance, either in water or in air, with TRS-398 and TRS-469 IAEA protocols. Also dosimetry procedures were successfully undergone intercomparison exercise with other headlining European laboratories (ESTEC-ESA y CRC-UCL).*

*This facility is available for use by the whole scientific community and companies interested in different fields of application. The laboratory set-up has been done together with the company ALTER Technology (Member of TÜV NORD). The primary objective is to perform irradiation tests on materials and devices for aerospace application. Our facility will exceed the requirements currently demanded by the industrial sector and applicable standards such as ESCC, MIL-STD or ASTM. Besides aerospace, the facility is used for applications in High Energy Physics, Materials Science, Biomedical and Agriculture.*





---

## 4. Investigación / Research

---





## 4. Investigación / Research

---

El Centro Nacional de Aceleradores dispone de 4 Unidades de Investigación:

- La Unidad de Investigación en Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones (IBA).
- La Unidad de Investigación de Física Nuclear Experimental Básica (FNB).
- La Unidad de Investigación del Ciclotrón.
- La Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS).

Además de los experimentos realizados mediante colaboraciones o servicios externos, existen líneas de investigación sostenidas por las diferentes Unidades de Investigación del Centro.

En este apartado se recogen de manera global las líneas de investigación de cada una de las unidades.

*CNA, Centro Nacional de Aceleradores, has 4 Research Units:*

- Analysis Techniques and Materials Modification with Ion Beams Research Unit (IBA).*
- Basic Nuclear Physics Research Unit (FNB).*
- Cyclotron Research Unit.*
- Accelerator Mass Spectrometry Research Unit (AMS).*

*In addition to the experiments conducted through partnerships or outsourcing, there are areas of research supported by the different Research Units of the Centre.*

*This section includes in a comprehensive manner the research of each of the units. This section shows each unit research.*

#### 4.1 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit

---

Los campos de aplicación de las líneas de investigación desarrolladas por esta Unidad, tanto en el Acelerador Tándem como en el Ciclotrón, en estos dos últimos años son principalmente: Ciencia de Materiales, Irradiación y Patrimonio Cultural. A la actividad en los aceleradores en materia de irradiación, hay que añadir la realizada en el nuevo Laboratorio de Radiación Gamma-RADLAB.

*The fields of application of the research carried out by this unit, both in the Tandem Accelerator as in the Cyclotron, in the last two years are mainly: Materials Science, Irradiation and Cultural Heritage. To our irradiation activities using particles accelerators we have to add the work carried out using the new Gamma Radiation Laboratory-RADLAB.*

##### 4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science

El uso del Acelerador Tándem de 3 MV ha sido de especial relevancia para investigar numerosos problemas relacionados con la Ciencia de Materiales. Un gran número de los trabajos realizados han tenido como meta el estudio de la composición de las muestras analizadas y su correlación con las propiedades físicas de las mismas, recurriendo para ello a las diversas técnicas analíticas de las que dispone el CNA, tales como RBS, PIXE, NRA, PIGE, ERD y canalización iónica.

Cabe destacar la puesta a punto en este periodo de dos nuevas técnicas hasta ahora no disponibles en nuestro laboratorio, como son la ionoluminiscencia (estudio de la luz emitida por ciertos materiales bajo irradiación iónica) y el IBIC (Ion Beam Induced Charge). A continuación, se describen brevemente las principales líneas de investigación en estos años.

*The use of 3 MV Tandem Accelerator has been especially important to investigate many problems related to materials science. A large number of studies have been aimed at studying the composition of the samples and their correlation with the physical properties using various analytical techniques available to the CNA, such as RBS, PIXE, NRA, PIGE, ERD and channeling.*

*We emphasize the set up of two new techniques in our laboratory, i.e, the ionoluminescence (the study of the light emitted by some materials under ion bombardment) and the IBIC (Ion Beam Induced Chage). Below, we briefly describe the main research lines in these years.*

Utilización de aceleradores de iones para el estudio y el modelado de los defectos inducidos por radiación en semiconductores y aislantes. Este trabajo forma parte de un Proyecto coordinado de la IAEA, cuyo objetivo principal es mejorar nuestro

conocimiento sobre los tipos de defectos formados mediante irradiación con haces de iones y electrones, combinando una gran variedad de técnicas analíticas, modelos teóricos y simulación. Nuestra tarea principal dentro del Proyecto es la producción de defectos en diodos de Si y SiC utilizando diversos haces de iones y energías y el estudio de propiedades de transporte mediante IBIC.

*Use of ion accelerators to the study and modeling of radiation induced defects in semiconductors and insulators. This work is done in the frame of IAEA Coordinated Project, with the main goal of enhancing our knowledge about what types of defects are formed by ion and electron irradiation, combining a great variety of analytical techniques with theoretical modeling and simulation. The CNA is in charge of the defects production in Si and SiC diodes by irradiation with various kinds of ions and energies and the study of transport properties by IBIC.*

Estudio de materiales centelleadores con aplicaciones en fusión nuclear. Un problema inherente de los reactores de fusión son las pérdidas de iones rápidos que escapan del plasma debido a inestabilidades magnetohidrodinámicas. Estas pérdidas afectan negativamente al rendimiento del reactor, ya que, por un lado, se produce una disminución en la potencia del plasma y, por otra parte, los iones que escapan pueden dañar las paredes del reactor. Los detectores FILD (Fast Ion Loss Detector), desarrollados por miembros de nuestro grupo, se basan en la producción de luz por un material centelleador cuando es impactado por un ion, y se encuentran en funcionamiento en diversos reactores, como el ASDEX Upgrade del Instituto Max-Planck para la Física del Plasma en Munich.

En el CNA estamos estudiando el rendimiento ionoluminiscente absoluto de diversos materiales, así como su degradación frente a la radiación iónica, con el fin de desarrollar un detector FILD con vistas a ser utilizado en el futuro reactor nuclear de próxima generación, ITER. De vital importancia es también el estudio de la respuesta luminiscente de dichos materiales en función de la temperatura, para ello una nueva cámara IBA, diseñada expresamente para las medidas de ionoluminiscencia a diferentes temperaturas, ha sido instalado en el CNA. La función de dicha cámara es ofrecer unas condiciones de temperatura similares a las que se encuentra el detector FILD en los distintos dispositivos de fusión nuclear.

La correcta cuantificación del rendimiento luminiscente permitirá obtener una medida absoluta de las pérdidas de iones rápidos en los reactores de fusión y servirá para testear los códigos de simulación actuales más avanzados sobre la dinámica de los iones rápidos.

*Study of scintillator materials for nuclear fusion applications. The fast ion losses produced in fusion plasmas due to magnetohydrodynamic instabilities represent a twofold problem for the reactor performance. Indeed, on the one hand they do not contribute to the plasma heating leading to a decrease of the plasma power and, on the other hand, the first wall of the reactor can be damaged by the impinging particles.*

*The principal diagnostic to obtain information about the wave-particle interaction in a magnetic fusion device are scintillator based fast-ion loss detectors (FILD) which are located at the plasma edge. The FILD were recently developed by members of our group and are working in different reactors, as the ASDEX Upgrade at the Max-Planck Institute for Plasma Physics in Munich.*

*At the CNA we are studying the ion luminescent behavior of different scintillator screens (absolute yield, degradation with ion fluence) in view of developing a FILD detector for use in the new generation fusion reactor, ITER. The study of the luminescent response of these materials as a function of temperature is also of great importance. To this end, a new IBA chamber, with a sample holder specifically designed for measuring ionoluminescence at different temperatures, has been installed at the CNA. The role of this vacuum chamber is to offer similar temperature conditions to the ones found in the FILD detector used in different plasma devices where we are attempting nuclear fusion.*

*The correct quantification of the luminescent yield will allow us to obtain an absolute measurement of the loss of fast ions in fusion reactors, and will make it possible to test the most advanced current simulation codes on fast ion dynamics.*

Utilización de espectroscopía de retrodispersión elástica (EBS) con protones para cuantificación simultánea de elementos ligeros en capas delgadas depositadas sobre sustratos de silicio. La cuantificación del contenido de elementos ligeros en películas delgadas es una cuestión importante y difícil en muchos campos tecnológicos tales como películas poliméricas funcionales delgadas, dispositivos orgánicos de película delgada, biomateriales y estructuras semiconductoras dopadas.

Los elementos ligeros son difíciles de detectar con técnicas basadas en la emisión de Rayos-X, como el análisis por dispersión de energía de Rayos-X (EDAX). Otras técnicas, como la espectroscopia de fotoelectrones de Rayos-X (XPS), pueden cuantificar fácilmente el contenido de los elementos ligeros de una superficie, pero a menudo estas medidas de superficie no son representativas de la composición global de elementos ligeros en la película delgada. La espectroscopía de retrodispersión Rutherford (RBS) estándar, utilizando partículas alfa como proyectiles sonda, no es una buena opción para medir elementos ligeros depositados en sustratos compuestos de elementos más pesados como el Si o el vidrio. El análisis de reacciones nucleares (NRA) ofrece un buen método de cuantificación, pero la mayoría de las reacciones nucleares utilizadas son selectivas para la cuantificación de un solo elemento, por lo que son necesarios varias reacciones y análisis para medir diferentes elementos.

En este estudio, se ha utilizado espectroscopía de retrodispersión elástica de (EBS) utilizando haces de protones de 2,0 MeV para cuantificar simultáneamente diferentes elementos ligeros (helio, carbono, nitrógeno, oxígeno y flúor) contenidas en películas delgadas soportadas sobre sustratos de silicio. Las capacidades del método de cuantificación propuesto se han ilustrado con ejemplos del análisis de una serie de

muestras de película delgada: silicio amorfo con burbujas de helio, sílice fluorado, carbono tipo diamante fluorado y películas delgadas orgánicas. Se ha demostrado que este procedimiento simple y versátil permite la cuantificación simultánea de elementos ligeros en películas delgadas con espesores en el intervalo de 200-500 nm y contenidos inferiores a 10% at.

Las diferentes láminas delgadas analizadas en este estudio fueron aportadas por los grupos Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla) y Materiales Nanoestructurados y Microestructura (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla).

*Simultaneous quantification of light elements in thin films deposited on Si substrates using proton EBS. Quantification of light elements content in thin films is an important and difficult issue in many technological fields such as polymeric functional thin films, organic thin film devices, biomaterials, and doped semiconducting structures.*

*Light elements are difficult to detect with techniques based on X-Ray emission, such as energy dispersive analysis of X-Ray (EDAX). Other techniques, like X-Ray photoelectron spectroscopy (XPS), can easily quantify the content of light elements within a surface but often these surface measurements are not representative of the lights elements global composition of the thin film. Standard Rutherford backscattering spectroscopy (RBS), using alpha particles as probe projectiles, is not a good option to measure light elements deposited on substrates composed of heavier elements like Si or glass. Nuclear Reaction Analysis (NRA) offers a good quantification method, but most of the nuclear reactions used are selective for the quantification of only one element, so several reactions and analysis are necessary to measure different elements.*

*In this study, proton-Rutherford Backscattering Spectrometry (p-RBS) using proton beams of 2.0 MeV simultaneously quantified different light elements (helium, carbon, nitrogen, oxygen, and fluorine) contained in thin films supported on silicon substrates. The capabilities of the proposed quantification method are illustrated with examples of the analysis for a series of thin film samples: amorphous silicon with helium bubbles, fluorinated silica, fluorinated diamond-like carbon and organic thin films. It is shown that this simple and versatile procedure allows the simultaneous quantification of light elements in thin films with thicknesses in the 200-500 nm range and contents lower than 10 at. %.*

*The various thin films analyzed in this study were provided by the groups Surfaces, Interfaces and Thin Layers (Institute of Materials Science of Sevilla) and Nanostructured Materials and Microstructure (Institute of Materials Science of Sevilla).*

Medidas de la cantidad de metal (Ag, Au, Fe, PbS, Pd, Pt) sobre nanocolumnas de TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> y WO<sub>3</sub>. Las nanopartículas metálicas (MNPS) han sido objeto de numerosos estudios durante las últimas décadas debido al fenómeno de la resonancia de plasmones superficiales (SPR), un hecho que induce una fuerte absorción de la luz en

el rango visible y la mejora del campo electromagnético en el interior y en las inmediaciones de la MNPs.

En este contexto, MNPs/NC ( $M = \text{Ag, Au, Fe, PbS, Pd, Pt}$ ;  $\text{NC} = \text{TiO}_2, \text{SiO}_2, \text{WO}_3$ ) han sido crecidas por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla) en sustratos de silicio y cuarzo mediante un proceso de dos pasos. Primero, se han crecido nanocolumnas (NC) de  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$  o  $\text{WO}_3$  transparente y amorfo por GAPVD a temperatura ambiente sobre sustratos de cuarzo y silicio. La geometría rasante produce las láminas con microestructura de columnas inclinadas. Una característica de estas láminas es que son muy porosas. A continuación, las láminas  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$  o  $\text{WO}_3$  se sumergen en soluciones organometálicas para formar las MNPs. El control de la forma, tamaño y organización (cuando se dispersan dentro de matrices o depositadas sobre sustratos) de las MNPs es obligatoria para el desarrollo de dispositivos eficientes, ya que estos factores son cruciales para el control de la respuesta espectral de la MNPs.

Mediante análisis de RBS se ha conseguido cuantificar el contenido total de  $M$  ( $\text{at}/\text{cm}^2$ ) en el sistema y sobre la migración de MNP a través de poros de las capas de  $\text{TiO}_2$  o  $\text{SiO}_2$  en NC.

*Measurements of the amount of metal (Ag, Au, Fe, Pb, Pd, Pt) on nanocolumns of  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$  and  $\text{WO}_3$ . Metal nanoparticles (MNPs) have been the focus of plenty of studies during the last decades due to the surface plasmon resonance (SPR) phenomenon, which induces a strong absorption of light in the visible range and the enhancement of the electromagnetic field inside and at the vicinity of the MNPs.*

*In this context, MNPs/NC ( $M = \text{Ag, Au, Fe, Pb, Pd, Pt}$ ;  $\text{NC} = \text{TiO}_2, \text{SiO}_2, \text{WO}_3$ ) have been grown on silicon and quartz substrates by Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Sevilla) by a two-step process. First, we have grown transparent and amorphous nanocolumns (NC) of  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$  or  $\text{WO}_3$  at room temperature by GAPVD on quartz substrates and silicon. The glancing geometry produces films with a tilted columnar microstructure. A feature of these films is that they are very porous. Then, the  $\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$  or  $\text{WO}_3$  films are immersed in organometallics solutions to form MNPs. The control of the MNPs shape, size, and organization (when dispersed inside matrices or deposited onto substrates) is mandatory for developing efficient devices, since these factors are crucial for the control of the spectral response of the MNPs.*

*Using RBS analysis, we have quantified the total content of  $M$  ( $\text{at}/\text{cm}^2$ ) in the system and MNP migration through the pores of  $\text{TiO}_2$  or  $\text{SiO}_2$  layers of NC.*

Análisis de capas finas luminiscentes mediante RBS e ionoluminiscencia. Dentro de una colaboración entre el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla) y el CNA, se ha procedido al desarrollo de sistemas basados en capas luminiscentes formadas por una matriz de óxidos químicamente robustos y

resistentes, dopadas con cationes de tierras raras. Estos materiales se están fabricando con tecnología de plasma de capa delgada que persigue contribuir al desarrollo de pantallas y dispositivos de ionoluminiscencia con los que se puedan discriminar el tipo de partículas y su energía. Estos dispositivos podrían encontrar aplicación potencialmente como sensores de ionoluminiscencia para partículas (protones, deuterones, y partículas alfa) con energías entre 50 keV y 3 MeV necesarios en dispositivos de fusión como el ITER.

En este contexto se han realizado tanto análisis de RBS y NRA (caracterización de las capas con objeto de optimizar la puesta a punto del sistema experimental de crecimiento de capas) como la adaptación necesaria para la realización de las medidas de ionoluminiscencia (adaptación de la cámara de irradiación, caracterización óptica, etc.....).

*Analysis of luminescent thin films by RBS and Ionoluminescence. Within collaboration between the Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Seville) and the CNA, we proceeded to the development of systems based on luminescent layer formed by an array of robust and chemically resistant oxides doped with rare earth cations. These materials are being manufactured with plasma technology for thin films and they aims to contribute to the development of ionluminescent screens and devices to discriminate the type and energy of particles. These devices could potentially find application as ionluminescent sensors for particles (protons, deuterons, and alpha particles) with energies between 50 keV and 3 MeV needed in fusion devices such as ITER.*

*In this context they were made both RBS and NRA analysis (characterization of the layers in order to optimize experimental set up for the growth of the layers) and the adjustment necessary for conducting ionoluminescence measurements (adaptation of the irradiation camera, optical characterization, etc.....).*

Caracterización de muestras de azufre 33. Se ha realizado por RBS la caracterización de las muestras de  $^{33}\text{S}$  utilizadas en el CERN por el grupo n\_TOF de la Universidad de Sevilla. Para la medición y el cálculo de la sección eficaz del proceso  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$  se hace necesario determinar con gran exactitud el contenido  $^{33}\text{S}$  en los blancos utilizados. Para estos experimentos, RBS resulta una herramienta ideal debido a sus capacidades para separar, ajustando condiciones experimentales, las diferentes señales de los diferentes elementos en un blanco de multicapa.

La sección eficaz de reacciones que tienen neutrones como proyectil, y en particular aquéllas de  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$ , son de interés en varios campos como la tecnología de la fusión, la astrofísica y la aplicaciones de física médica y son requeridos por importantes agencias como la Agencia Nuclear de Energía (ANE) y la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA).

*Characterization of sulfur 33. The characterization of the  $^{33}\text{S}$  samples used at CERN by the n\_TOF Group of the University of Seville has been performed by RBS. The  $^{33}\text{S}$  exact content on the target is necessary in the measurement and calculation of the  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$  cross section. For these experiments RBS results an ideal tool due to its capabilities to separate different signals of different elements in a multilayer target adjusting the experimental conditions.*

*Neutron cross sections, and  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$  in particular, are of interest in several fields like fusion technology, astrophysics and medical physics application and are required by the most important agencies as Nuclear Energy Agency (NEA) and International Atomic Energy Agency (IAEA).*

Medida del espesor, homogeneidad y composición de una lámina de  $^{197}\text{Au}$  de (6 cm<sup>2</sup> aprox.). Se han realizado medidas de RBS y NRA realizando un muestreo secuencial en diferentes puntos de la muestra para conocer la homogeneidad, composición y espesor, de una lámina de  $^{197}\text{Au}$ . Dicha lámina ha sido utilizada para el estudio de la reacción  $^{11}\text{Be}+^{197}\text{Au}$  a energías en torno a la barrera coulombiana, realizado en TRIUMF, Vancouver (Canadá), en una colaboración entre Universidad de Huelva, CSIC-Madrid y Universidad de Sevilla, entre otras instituciones internacionales. La realización de este tipo de medidas experimentales permite comprobar la validez de distintos modelos teóricos de la estructura nuclear. En este caso particular, de la estructura de núcleos con halo, e investigar el fenómeno de polarizabilidad dipolar coulombiana en dichos núcleos.

El objetivo de este análisis es identificar los distintos productos de reacción derivados de las colisiones  $^{11}\text{Be}+^{197}\text{Au}$  en un gran rango angular (10-140 grados), gracias a la cual es posible extraer, y comparar con distintos modelos teóricos, la distribución angular inelástica de  $^{11}\text{Be}$  y los fragmentos de  $^{10}\text{Be}$  provenientes de la ruptura de  $^{11}\text{Be}$ . Un estudio detallado de ambas magnitudes permite obtener una poderosa información sobre el acoplamiento dipolar coulombiano a estados del continuo de baja energía de excitación.

Mediante RBS hemos obtenido el espesor de  $^{197}\text{Au}$ , mientras que por NRA se ha descartado la presencia de elementos ligeros que actuarían como contaminantes en el experimento posterior. La determinación del espesor de los blancos de  $^{197}\text{Au}$  es relevante para estimar de modo realista tasas de recuento en el sistema de detección que se empleará en TRIUMF, así como las pérdidas de energía y straggling en el blanco que sufren los productos de reacción.

Measurement of the thickness, homogeneity and composition of a  $^{197}\text{Au}$  film (6 cm<sup>2</sup> aprox.). RBS and NRA measurements were performed sequentially at different points of the sample to determine the homogeneity, composition and thickness of a  $^{197}\text{Au}$  film. This film has been used to study the  $^{11}\text{Be}+^{197}\text{Au}$  reaction at energies around the Coulomb barrier, at TRIUMF, Vancouver (Canada), in collaboration between University of Huelva, CSIC-Madrid and Seville University, among other international institutions.



*Performing this type of experimental measurements it is possible to check the validity of various theoretical models of nuclear structure. In this particular case, the structure of halo nuclei, and investigate the phenomenon of Coulomb dipole polarizability in these nuclei.*

*The aim of this analysis is to identify the different reaction products derived from  $^{11}\text{Be}+^{197}\text{Au}$  collisions in a large angular range (10 to 140 degrees), by which the angular inelastic distribution of  $^{11}\text{Be}$  and fragments of  $^{10}\text{Be}$  coming from the rupture  $^{11}\text{Be}$  can be extracted and compared with various theoretical models. A detailed study of both magnitudes enables a powerful information on the Coulomb dipole coupling to continuum states of low excitation energy*

*We have obtained by RBS the thickness of  $^{197}\text{Au}$ , while NRA has been used to discard the presence of light elements which could act as contaminants in the subsequent experiment. Determining the thickness of the  $^{197}\text{Au}$  targets is relevant to realistic evaluation of count rates in the detection system to be used in TRIUMF and energy losses and straggling in the target suffered by reaction products.*

Medidas de espesor y estequiometría de láminas delgadas de  $\text{SiO}_x$  ( $x < 2$ ). Se han realizado medidas de RBS y NRA para determinar la estequiometría y espesor de capas delgadas de  $\text{SiO}_x$  preparadas por Physical Vapor Deposition (PVD) sobre sustratos de Si por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla). Con las medidas de RBS se ha determinado el contenido en O de las capas y una primera aproximación del contenido de O. Este último ha sido determinado con mayor precisión por NRA utilizando la reacción nuclear  $^{16}\text{O}(d,p)^{17}\text{O}$  con deuterones de 0.9 MeV. Además, algunas de las capas han sido medidas por ERDA con partículas alfa de 3 MeV para determinar de manera adicional su concentración de H.

El óxido de silicio no estequiométrico ( $\text{SiO}_x$  con  $x < 2$ ) es un material que ha sido ampliamente estudiado debido a sus aplicaciones como recubrimientos ópticos, capas pasivantes o intercargas electrónicas. Sin embargo, y a pesar de que este material ha sido largamente estudiado, aún se necesita más información para una comprensión completa de su estructura y química. En particular, aunque se ha dedicado mucho esfuerzo a estudiar capas ultradelgadas ( $< 5 \text{ \AA}$ ) formadas sobre superficies de Si o intercargas  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , poco se sabe sobre el comportamiento de capas más gruesas de  $\text{SiO}_x$  y otros sistemas de intercargas relacionados.

*Stoichiometry and thickness of  $\text{SiO}_x$  ( $x < 2$ ) thin films.* RBS and NRA measurements have been performed to determine the stoichiometry and thickness of  $\text{SiO}_x$  thin films prepared by Physical Vapor Deposition (PVD) over Si substrates by Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Sevilla). Using RBS measurements, we have determined Si content in the films and a first approximation to O content. The last have been determined more precisely by NRA using nuclear reaction  $^{16}\text{O}(d,p)^{17}\text{O}$  with deuterons of 0.9 MeV. In addition some of the samples have been measured by ERDA with alphas of 3 MeV in order to determine H content.

*Non-stoichiometric silicon oxides ( $\text{SiO}_x$  with  $x < 2$ ) have been widely studied because of their various applications as optical coatings, passivation layers or interlayers in electronics. However, despite the fact that this material has been studied for a long time, more information is still needed for a comprehensive understanding of its structure and chemistry. In particular, although much effort has been dedicated to study ultrathin  $\text{SiO}_x$  layers ( $< 5 \text{ \AA}$ ) formed at Si surfaces or  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  interfaces, little is known about the behaviour of thick  $\text{SiO}_x$  layers and other related interface systems.*

Medidas RBS de muestras de CuS y de  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Se han realizado medidas de RBS de capas delgadas de  $\text{Cu}_x\text{S}_y$  depositadas con diferentes condiciones experimentales utilizando un nuevo método a escala semiindustrial desarrollado por el grupo del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. Al poner a punto un nuevo método de depósito se hace necesario conocer la composición elemental de las capas depositadas para calibrar el procedimiento de depósito.

Las celdas de sulfuro de azufre fueron los primeros dispositivos fotovoltaicos en lámina delgada alcanzando una eficiencia razonable del 10% para celdas de laboratorio, pero fallaron en un aspecto clave: la estabilidad. Intensos esfuerzos de investigación han sido orientados a reemplazar CuS por un compuesto ternario basado en CuS apuntando a una mejora estructural y mejores propiedades. Se han alcanzado buenos resultados en experimentos a escala laboratorio con métodos de preparación alternativos al CBD, como atomic layer deposition (ALD), metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), sputtering y evaporación térmica. Sin embargo, la mayoría de estos métodos necesitan todavía ser escalados la industria. Es por ello que el nuevo método de preparación semiindustrial desarrollado cobra especial importancia.

*RBS measurements of CuS and  $\text{Cu}_2\text{O}$  samples.* RBS and NRA measurements have been performed to determine the stoichiometry of  $\text{Cu}_x\text{S}_y$  samples deposit under different conditions using a new method to deposit CuS-based compounds in a semi-industrial scale developed by the group Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. When setting up a new method for preparing films elemental composition of the deposited films needs to be investigated in order to calibrate the deposition procedure.

*The copper sulfide cells were the first thin film PV devices reaching a reasonable efficiency of 10% for laboratory cells, but they failed in one key aspect: stability. Intense research efforts have been oriented to replace CuS by a CuS-based ternary compound aiming to structural stability and improved properties. Good results in lab-scale experiments have been achieved with methods alternative to CBD, such as atomic layer deposition (ALD), metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), sputtering and thermal evaporation. However, most of these methods still need to be approved in industry. That is the reason why the new semi-industrial method becomes important.*

Medidas de RBS de películas delgadas de nitruro de cobre con dopantes metálicos ( $\text{Cu}_3\text{N:M}$ ,  $M = \text{Pd, Pt, Au}$ ). Se han realizado medidas de RBS en capas delgadas de

$\text{Cu}_3\text{N}:\text{M}$  ( $\text{M} = \text{Pd}, \text{Au}, \text{Pt}$ ) para explorar si el Pd, Au o Pt han sido introducidos en la estructura del  $\text{Cu}_3\text{N}$  con la estequiometría deseada.

El nitruro de cobre ( $\text{Cu}_3\text{N}$ ) es un material que presenta una estructura cúbica anti  $\text{ReO}_3$ , la cual tiene los átomos de Cu en los centros de las aristas del cubo y los átomos de N en las esquinas del cubo. Esta estructura del  $\text{Cu}_3\text{N}$  deja vacío el centro del cubo, permitiendo introducir un elemento extra que producirá modificaciones en las propiedades ópticas y eléctricas en el  $\text{Cu}_3\text{N}$ . En la mayoría de los trabajos, sin embargo, el medio ambiente y la estequiometría química de estos materiales ha sido poco caracterizada con técnicas como la espectroscopía de electrones fotoemitidos (conocida como XPS por sus siglas en inglés de X-Ray Photoelectron Spectroscopy) debido a la presencia en la superficie de los contaminantes ambientales como el oxígeno y el carbono. Los contaminantes pueden ser eliminados con iones de argón, pero este tratamiento en vacío, calienta la película delgada y produce cierto grado de descomposición, debido a que el  $\text{Cu}_3\text{N}$  es térmicamente inestable. La escasa información disponible sobre estequiometría ha dado lugar a grandes diferencias en los valores reportados de muchas de las propiedades físicas relevantes de estos materiales. Es por ello que la técnica RBS resulta una herramienta ideal para el estudio de este tipo de láminas delgadas.

*RBS measurements of copper nitride thin films with metallic dopants ( $\text{Cu}_3\text{N}:\text{M}$ ,  $\text{M} = \text{Pd}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Au}$ ). RBS measurements have been performed in  $\text{Cu}_3\text{N}:\text{M}$  ( $\text{M} = \text{Pd}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Pt}$ ) thin films to determine if the metal has been introduced in the structure of  $\text{Cu}_3\text{N}$  with the stoichiometry desired.*

*Copper nitride ( $\text{Cu}_3\text{N}$ ) is a material having a cubic anti  $\text{ReO}_3$  structure, which has the Cu atoms in the center of the cube edges and the N atoms in the corners of the cube. This  $\text{Cu}_3\text{N}$  structure left empty central hub, allowing the introduction of an extra element to produce changes in the optical and electrical properties of  $\text{Cu}_3\text{N}$ . In most of the works, however, the environment and chemical stoichiometry of these materials has been poorly characterized with techniques such as X-Ray photoemitted electrons spectroscopy (known as XPS for its acronym in English X-Ray Photoelectron Spectroscopy) due to surface in the presence of environmental contaminants such as oxygen and carbon. The contaminants may be removed with argon ions, but this treatment in vacuum, produces some degree of decomposition in the heated thin film, because the  $\text{Cu}_3\text{N}$  is thermally unstable. The little information available about stoichiometry has resulted in large differences in the reported values of many of the relevant physical properties of these materials. That is why the RBS is such an ideal tool for the study of this kind of thin films.*

Medida de la composición relativa Si/Ni en óxidos mixtos Si-Ni-O depositados por magnetron sputtering en incidencia rasante. Se ha obtenido mediante la técnica de RBS la estequiometría Si/Ni de capas delgadas de óxidos porosos Si-Ni-O preparados por pulverización catódica con magnetrón en ángulo rasante preparadas por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla).

Estas mediciones complementan otra caracterización efectuada en las películas y las propiedades ópticas de una serie de películas  $\text{Si}_x\text{Ni}_y\text{O}_z$ .

Los óxidos porosos Si-Ni-O se proponen como revestimientos electrocrómicos activos. Los materiales electrocrómicos tienen la propiedad de un cambio, evocación, o decoloración de color, como efecto de un potencial eléctrico aplicado suficiente para inducir un proceso redox electroquímico. Las aplicaciones de los materiales electrocrómicos incluyen ventanas "inteligentes" para aplicaciones arquitectónicas, y espejos de automóviles antideslumbrantes, basados en la modulación de la radiación visible transmitida y reflejada, respectivamente. El desarrollo de ventanas inteligentes es el sujeto de una intensa investigación, ya que la aplicación de dicha tecnología conduciría a una reducción significativa en el consumo de energía en los edificios altamente acristalados mediante la reducción de las cargas de enfriamiento o de calefacción, y la menor demanda de iluminación eléctrica, así como la mejora en la comodidad interior debido a la menor deslumbramiento e incomodidad térmica.

*Measurements of the ratio Si/Ni in Si-Ni-O mixed oxides deposited by magnetron sputtering at glancing geometry. The Si/Ni stoichiometry of Si-Ni-O porous oxides prepared by magnetron sputtering at glancing angles by the Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Seville) has been obtained by RBS technique. These measurements have complemented other characterization performed on the films and the optical properties of a series of  $\text{Si}_x\text{Ni}_y\text{O}_z$  films.*

*Si-Ni-O porous oxides are proposed as active electrochromic coatings. Electrochromic materials have the property of a change, evocation, or bleaching of color, as effected by an applied electrical potential, sufficient to induce an electrochemical redox process. Applications of electrochromic materials include "smart" windows for architectural applications, and antiglare car mirrors, based on the modulation of transmitted and reflected visible radiation, respectively. The development of smart windows is the subject of intensive research, as implementation of such technology would lead to a significant reduction in energy consumption in highly glazed buildings by reducing cooling loads, heating loads, and the demand for electric lighting, as well as improving indoor comfort because of less glare and thermal discomfort.*

Determinación del contenido de F en fluoroteluritos. Los vidrios de fluoroteluritos dopados con tierras raras (TRs) poseen un gran potencial en el campo de los materiales ópticamente activos y en particular son muy prometedores para la fabricación de dispositivos luminiscentes compactos. El Grupo de Procesado por Láser del Instituto de Óptica ha desarrollado vidrios ternarios de fluoroteluritos ( $\text{TeO}_2\text{-ZnO-ZnF}_2$ ) dopados con Er, en los que la presencia de F permite maximizar la respuesta luminiscente, debido a la baja energía de fonón de los fluoruros.

Mediante la combinación de las técnicas RBS (con protones y con iones de Li) y PIGE, se ha obtenido la correlación entre el contenido nominal y real de F, así como la composición química total de la muestra. La medida de la concentración de F resulta

especialmente interesante ya que en la preparación de las muestras se produce pérdida del mismo por evaporación de HF durante el proceso de fusión. Se han estudiado distintas tandas de muestras provenientes de diferentes condiciones de preparación con el fin de reducir esta pérdida.

*Determination of F content of in fluorotellurites. Fluorotellurites glasses doped with rare earths (TRs) have great potential in the field of optically active materials and they are particularly promising for manufacturing compact luminescent devices. The Laser Processing Group of the Optics Institute have developed ternary fluorotellurites glasses ( $\text{TeO}_2\text{-ZnO-ZnF}_2$ ) doped with Er, wherein the presence of F allows maximizing the luminescent response due to the low phonon energy of fluorides.*

*The correlation between the actual and nominal content of F as well as the total chemical composition of the sample has been obtained by combining the RBS (protons and Li ions) and PIGE techniques. Measurement of the F concentration is especially interesting because in the preparation of samples some losses occur through evaporation of HF during the melting process. We have studied different batches of samples from different preparation conditions in order to reduce this loss.*

Caracterización por RBS de capas  $\text{ZnS}_x\text{O}_y$ . Se han realizado medidas de RBS para realizar la caracterización elemental de una serie de películas de  $\text{ZnS}_x\text{O}_y$  con el fin de calibrar el proceso de fabricación puesto en marcha por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla).

Recientemente se están proponiendo capas finas de oxisulfuros de cinc,  $\text{ZnSO}$ , como capa buffer para celdas solares tipo CIGS en sustitución de las altamente contaminantes que se usan en la actualidad de CdS. En el grupo de investigación SINCAF-ICMS se está desarrollando la metodología de deposición basada en un proceso combinado de magnetron sputtering y sublimación con celda de efusión para la obtención de este tipo de capas, fácilmente integrable en los procesos industriales de fabricación de este tipo de celdas.

*RBS characterization of  $\text{ZnS}_x\text{O}_y$  thin films. We have performed RBS measurements to obtain the elemental characterization of a series of films  $\text{ZnS}_x\text{O}_y$  to calibrate the manufacturing process that have been launched by the research group Surfaces, Interfaces and Thin Layers (Institute of Materials Science of Seville).*

*Recently, it has been proposed the utilization of thin layers of zinc oxysulfides,  $\text{ZnSO}$ , as buffer layer for CIGS type solar cells to replace the highly polluting CdS used today. The research group SINCAF-ICMS is developing a deposition methodology based on a combined magnetron sputtering process and sublimation with effusion cell for obtaining this type of layers, easily integrated into industrial manufacturing processes of such cells.*

Medidas de He y O en capas de Si, Co y Al. Dentro de la actividad del Grupo Materiales Nanoestructurados y Microestructurados (MNM-ICMS) se han crecido recubrimientos de silicio, cobalto y aluminio amorfo con porosidad cerrada, depositadas por pulverización catódica con magnetrón. El interés de estos recubrimientos reside en la posibilidad de modificar el índice de refracción del silicio amorfo por la introducción de porosidad. Al tratarse de porosidad cerrada se evita la oxidación y deterioro del material al ser expuesto al aire.

Mediante RBS con protones se han caracterizado diferentes muestras obteniendo tanto sus espesores como la concentración ( $\text{at}/\text{cm}^2$ ) de He, O y Ar presentes en las mismas. Esta información está siendo utilizada para la correcta puesta a punto y optimización del método de deposición.

*Measurements of He and O in Si, Co and Al layers. Within the activity of the Microstructured and Nanostructured Materials (MNM-ICMS) Group, amorphous silicon coatings with closed porosity have been grown by magnetron sputtering. The interest of these coatings is the ability to modify the refractive index of amorphous silicon, cobalt and aluminum by the introduction of porosity. Being closed porosity prevents oxidation and deterioration of the material when exposed to air.*

*Different samples have been characterized by proton RBS. Both their thicknesses as the concentration ( $\text{at}/\text{cm}^2$ ) of He, Ar and O present therein was obtained. This information is being used for the optimization of the depositions set up.*

Determinación de espesores y estequiometría de láminas delgadas de óxido de indio estaño. Se han medido por RBS (espesor másico total) y PIXE (diferenciación de los cationes de In y Sn) distintas capas delgadas de ITO depositadas por deposición a ángulos rasantes (GLAD) con el fin de contribuir a la puesta a punto del sistema experimental de deposición para este material en el seno del grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla). Los materiales óxidos transparentes semiconductores, como el ITO, han extendido su amplio espectro de aplicaciones en el mundo de la ciencia de los materiales y son utilizados para recubrimientos selectivos de longitud de onda, dispositivos semiconductores optoelectrónicos, sensores de gases, celdas fotovoltaicas o celdas electrocrómicas.

*Determination of thickness and stoichiometry of indium tin oxide thin films. ITO thin layers deposited by glancing angle deposition (GLAD) have been measured by RBS (total mass thickness) and by PIXE (differentiation of cations of In and Sn) to contribute to the optimization of experimental deposition system for this material within the Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Sevilla). Transparent oxide semiconductor materials such as ITO, have extended their wide spectrum of applications in the world of material sciences and coatings are used for selective wavelength semiconductor optoelectronic devices, gas sensors and photovoltaic or electrochromic cells.*

Determinación de la composición de blancos masivos de Ti:Na:O:C:H. Se han realizado medidas de RBS y ERDA para obtener la estequiometría de muestras de Ti:Na:O:H preparadas en forma de blancos masivos por el laboratorio CIC Energigune. El contenido de Ti, Na, O, y C se puede determinar mediante el análisis de los espectros RBS. Las medidas ERDA son necesarias para determinar el contenido de H en las muestras.

Las baterías de iones de sodio se están convirtiendo en una solución atractiva para aplicaciones estacionarias. El compuesto  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$  como electrodo de óxido ha demostrado un rendimiento electroquímico prometedor para ser utilizado como material de ánodo en las baterías de iones de sodio comerciales, debido a su capacidad de intercalar dos iones de sodio a tensiones muy bajas. La comprensión del mecanismo de reacción es crucial para optimizar el material de electrodo utilizado en las baterías de iones de Na. Para este propósito, ha sido clave correlacionar las propiedades electroquímicas con la composición del material obtenida por técnicas IBA.

*Determination of the composition of Ti:Na:O:C:H bulk targets. RBS and ERDA measurements has been performed to obtain the stoichiometry of Ti:Na:O:C:H samples prepared as bulk by CIC Energigune laboratory. The content of Ti, Na, O, and C can be achieved by the analysis of the RBS spectra. The ERDA measurements are necessary to determine H content in the samples.*

*Sodium ion batteries are becoming an attractive solution for stationary applications and  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$  oxide electrode has shown promising electrochemical performance to be used as anode material in commercial sodium ion batteries, due to its ability to intercalate two sodium ions at the lowest voltage ever reported. Understanding the reaction mechanism is crucial to optimize the electrode material to be used in Na-ion batteries. For this purpose, has been essential to correlate the electrochemical properties with the material composition obtained by IBA techniques.*

Medida de estequiometría de películas delgadas de  $\text{TiO}_x$  depositadas en ángulo oblicuo mediante pulverización catódica reactiva para evitar fenómenos de histéresis y “envenenamiento”. Se han realizado medidas de RBS para determinar la estequiometría de películas delgadas de  $\text{TiO}_x$ , depositadas por pulverización catódica por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla). Además de RBS las muestras se han caracterizado mediante microscopía electrónica en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-US) para obtener así las densidades con precisión dividiendo la densidad por unidad de área (obtenida por RBS) y el espesor (obtenido mediante imágenes de microscopía electrónica). Así, se han estudiado capas depositadas en configuraciones de ángulo rasante, que permiten diferentes tasas de llegada de átomos de titanio a la película, y por lo tanto diferentes tasas de oxidación, mientras el bloque sólido permanece muy débilmente oxidado.

La técnica de pulverización catódica por plasma (“magnetron sputtering” en inglés) es de las más conocidas y empleadas, tanto en centros de investigación como en la

industria tecnológica, para crecer láminas delgadas de diferente composición. La posibilidad de añadir un gas reactivo al plasma ha abierto muchísimas posibilidades, ya que ha permitido sintetizar óxidos o nitruros a partir de materiales puros, tales como, silicio, titanio, etc. aunque también introduce un número importante de efectos indeseados. Dentro de ellos, el llamado “envenenamiento del cátodo” (“cathode poisoning”) es el más destacable, asociado a un cambio de composición del bloque de material a pulverizar, y la aparición de fenómenos de histéresis en el reactor de plasma. Sin lugar a dudas, uno de los problemas más acuciantes desde un punto de vista tecnológico y científico dentro de la ciencia de materiales y la síntesis de películas delgadas es la implementación de estrategias destinada a la supresión de estos fenómenos dentro del reactor de vacío, ya que hacen caer las tasas de crecimiento de las películas un orden de magnitud.

En el reactor de pulverización catódica reactiva del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, instalado provisionalmente en el Centro Nacional de Aceleradores en Sevilla, se sigue una línea de investigación destinada al estudio de posibles estrategias para eliminar los efectos de envenenamiento del cátodo.

*Measurement of the stoichiometry of  $TiO_x$  thin films prepared by glancing angle deposition by reactive sputtering pulverización to avoid hysteresis phenomena and "poisoning". RBS measurements have been performed to determine the stoichiometry of  $TiO_x$  thin films deposited by magnetron sputtering by Surfaces, Interfaces and Thin Layers group (Institute of Materials Science of Sevilla). Besides RBS, the samples have been characterized by electron microscopy at the Institute of Materials Science of Sevilla (CSIC-US) to obtain an accurate value for densities dividing the density per unit area (obtained by RBS) and thickness (obtained by electron microscopy images). Thus grazing angle configurations which allow different arrival rates of titanium atoms to the film layers and therefore different rates of oxidation were studied, while the solid block remains very weakly oxidized.*

*The technique of plasma magnetron sputtering is the most known and used in both research and the technology industry to grow thin films of different composition. The possibility of adding reactive gas plasma has opened many possibilities, because it allowed oxides or nitrides synthesized from pure materials, such as silicon, titanium, etc. but also introduces a number of unwanted effects. Among them, the so-called "cathode poisoning" is the most remarkable, associated with a change of composition of the block of material to be sprayed, and the occurrence of hysteresis phenomena in the plasma reactor. Undoubtedly, one of the most pressing problems from a technological and scientific view within materials science and synthesis of thin films is the implementation of strategies aimed at eradicating these phenomena within the reactor vacuum, and that break the growth rates of the films an order of magnitude.*

*In the reactive sputtering reactor of the Institute of Materials Science of Sevilla, temporarily installed at the CNA in Sevilla, a line of research for the study of possible strategies to eliminate the effects of poisoning of the cathode is followed.*



Cuantificación absoluta de boro e hidrógeno en ZnO dopado con boro. Se ha determinado, mediante la reacción  $^{11}\text{B}(p,\alpha)2\alpha$  y ERDA con alfas de 3 MeV, la cantidad absoluta de boro e hidrógeno en una serie de capas delgadas de óxido de zinc dopado con boro (BZO) depositado mediante deposición química de metalorgánico en fase vapor a baja presión vapor ( LP-MOCVD ) por el laboratorio “Photovoltaics and thin film electronics Laboratory (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)”.

En los últimos años, ha habido un considerable interés en el desarrollo de películas de óxido conductor transparente (TCO). Las películas de TCO deben tener una baja resistividad, una alta transmitancia óptica y una banda de energía prohibida grande. El óxido de zinc (ZnO) es una de los TCOs ampliamente utilizados para varias aplicaciones de dispositivos ópticos. El óxido de zinc (ZnO) tiene la ventaja sobre otros materiales de óxido transparente conductores (TCO), como el óxido de indio y óxido de estaño, de ser a la vez muy abundante y químicamente más estable en entornos reductores como plasmas ricos en hidrógeno. Muchos esfuerzos de investigación se han centrado en maximizar la transparencia de las películas de ZnO policristalino para la aplicación particular de electrodos para celdas solares basadas en silicio. El aumento de la transparencia en el intervalo rojo/IR se puede conseguir fácilmente mediante la reducción de los niveles de impurezas en el dopaje; sin embargo, esto se consigue normalmente a expensas de la conductividad. Diferentes soluciones se están desarrollando con el objetivo de relajar esta compensación conductividad/transparencia por el aumento de la movilidad de los portadores de carga. Las propiedades de resistividad eléctrica de las películas de ZnO TCO pueden mejorarse mediante el dopaje extrínseco con elementos del grupo III, tales como óxido de zinc dopado con boro (BZO). Este dopaje con boro del ZnO puede mejorar no sólo la resistividad sino también la estabilidad térmica de las películas de ZnO TCO. La fuente de la concentración de portadores en ZnO es todavía un tema debatido y muchas publicaciones han demostrado el efecto beneficioso de la integración de hidrógeno durante el crecimiento sobre la conductividad.

Se midieron tres muestras diferentes para relacionar el contenido de B y H con el flujo de  $\text{B}_2\text{H}_6$  utilizado durante la deposición y para distinguir cuál de los dos (boro o hidrógeno) tenían un mayor impacto en la concentración de portadores.

*Absolute quantification of boron and hydrogen in boron doped ZnO. The absolute quantity of boron and hydrogen has been determined using the  $^{11}\text{B}(p,\alpha)2\alpha$  reaction and ERDA with alphas of 3 MeV on a serie of samples of boron-doped zinc oxide (BZO) deposited by low pressure metalorganic chemical vapor deposition (LP-MOCVD) by Photovoltaics and thin film electronics Laboratory (École Polytechnique Fédérale de Lausanne)”.*

*In recent years, there has been considerable interest in the development of transparent conductive oxide (TCO) films. The TCO films should have a low resistivity, a high optical transmittance and a large energy gap. Zinc oxide (ZnO) is one of most widely used TCOs for various optical device applications. Zinc oxide (ZnO) has the advantage over other*

transparent conductive oxide (TCO) materials like indium oxide and tin oxide of being both very abundant and more chemically stable in reducing environments like hydrogen-rich plasmas. For the particular application of electrodes for silicon-based (Si) solar cells, many research efforts have been focusing on maximizing the transparency of polycrystalline ZnO films. Increasing the transparency in the red/IR range can be readily achieved by reducing the impurity doping level; however, this is usually achieved at the expense of conductivity. Different solutions are now being developed with the aim of relaxing this conductivity/transparency trade-off by increasing the charge carrier mobility. The electrical resistivity properties of ZnO TCO films can be improved by extrinsic doping with group III elements such as boron-doped zinc oxide (BZO). Boron doping into ZnO can improve not only the resistivity but also the thermal stability of ZnO TCO films.

The source of carrier concentration in ZnO is still debated and many publications have demonstrated the beneficial impact on conductivity of integrating hydrogen during growth. Three different samples were measured to relate the B and H content with the  $B_2H_6$  flow used during deposition and to distinguish which one of the two (boron or hydrogen) had a higher impact on the carrier concentration.

Medidas RBS para determinar la estequiometría de óxidos mixtos ZrO-SiO y NbO-SiO depositados en lámina delgada. Se han realizado medidas de RBS para determinar la estequiometría de los óxidos mixtos  $Zr_xSi_yO_z$  y  $Nb_xSi_yO_z$  depositados en forma de lámina delgada por el grupo Superficies, Intercaras y Capas Finas (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla). La incorporación de  $SiO_2$  a materiales como el  $ZrO_2$  y  $Nb_2O_5$  supone la obtención de óxidos mixtos con propiedades físicas ajustables a voluntad variando la concentración de óxidos. Resulta indispensable la determinación de la estequiometría en los óxidos mixtos para relacionar ésta con sus propiedades físicas.

Se ha estudiado la incorporación de estas capas aislantes y transparentes (visible) de dispositivos electroluminiscentes en lámina delgada (TFEL). Los TFEL son extremadamente resistentes y su construcción de estado sólido les confiere un rango muy amplio de temperaturas de funcionamiento, teniendo, además, una vida útil extremadamente larga. Otras de sus principales características son un tiempo de respuesta muy rápido, buen contraste, y un ángulo de visión amplio aunque la gama de colores que puede mostrar tiende a ser mucho más limitado que los LCD u otras tecnologías de visualización, y su contraste en escala de grises es menor que el óptimo para algunas aplicaciones. Este conjunto de propiedades ha hecho a los TFEL muy populares en sectores especializados donde la fiabilidad y la durabilidad son de suma importancia. Ninguna otra tecnología de visualización puede igualar la combinación de TFEL de alta calidad de imagen, bajo consumo de energía y alta resistencia a condiciones adversas.

RBS measurements to determine the stoichiometry of mixed oxides ZrO-SiO and NbO-SiO thin film. RBS measurements have been performed to determine the stoichiometry of  $Nb_xSi_yO_z$   $Zr_xSi_yO_z$  mixed oxides deposited in thin film form by Surfaces, Interfaces and

*Thin Layers group (Institute of Materials Science of Seville). Incorporating materials such as  $\text{SiO}_2$  to  $\text{ZrO}_2$  and  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  involves obtaining mixed oxides with tailoring physical properties varying the concentration of oxides. Determining indispensable stoichiometry mixed oxides in order to connect this to its physical properties.*

*The incorporation of these insulating and transparent (visible) layers as part of thin film electroluminescent devices (TFEL) have been studied. The TFEL are extremely resistant and its solid construction gives them a very wide range of operating temperatures, further having an extremely long life. Another of its main features are a very fast response time, high contrast and wide viewing angle although the range of colors it can display tends to be much more limited than LCD or other display technologies, and contrast grayscale is less than optimal for some applications. This set of properties has become very popular TFEL displays in specialized sectors where reliability and durability are paramount. No other display technology can match the combination of TFEL high image quality, low power consumption and high resistance to adverse conditions.*

Caracterización de la densidad de los recubrimientos de W. Hemos realizado medidas RBS de recubrimientos W depositados por magnetron sputtering por el grupo del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. Un valor exacto de las densidades de los distintos recubrimientos de W obtenidos ajustando los parámetros de pulverización (presión de gas, de tensión de cátodo, ...) se puede calcular dividiendo la densidad por unidad de área (obtenida por RBS) y el espesor (obtenido por perfilometría).

Debido a sus propiedades (punto de fusión alto, baja presión de vapor, bajos rendimientos de pulverización catódica física y química, baja expansión térmica, propiedades conductoras eléctricas y de inercia química relativa) tungsteno y películas delgadas y recubrimientos a base de aleación de tungsteno son atractivas para aplicaciones tales como barreras de difusión en los circuitos integrados, protección contra la radiación, y penetradores de energía cinética. Por otra parte, los materiales basados en W son considerados a día de hoy los mejores candidatos como material de revestimiento frente al plasma en ambos reactores de fusión magnética y láser.

Characterization of the density of W coatings. We have performed RBS measurements of W coatings prepared by magnetron sputtering by the group Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. An accurate value for densities of W different coatings obtained by tuning the sputtering parameters (pressure of gas, cathode voltage, ...) can be calculated dividing the density per unit area (obtained by RBS) and thickness (obtained by profilometry).

*Due to its properties (high melting point, low vapor pressure, low physical and chemical sputtering yields, low thermal expansion, electrical conductive properties and relative chemical inertness) tungsten and tungsten alloy-based thin films and coatings are attractive for applications such as diffusion barriers in integrated circuits, radiation shielding, and kinetic energy penetrators. Moreover, nowadays, W-based materials are*

*considered the best candidate as plasma facing material in both magnetic and laser fusion reactors.*

Caracterización de la densidad de los recubrimientos de DLC. Hemos realizado mediciones de RBS de Carbono diamante (DLC) en películas delgadas depositadas por pulverización catódica DC bajo diferentes condiciones por el grupo del Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. Un valor exacto para la densidad de diferentes películas de DLC se puede calcular dividiendo la densidad por unidad de área (obtenida por RBS) y el espesor (obtenido por perfilometría).

Películas DLC han atraído gran interés principalmente debido a sus propiedades mecánicas y tribológicas únicas. Además de ser muy duras y rígidas, estas películas pueden proporcionar algunos de los coeficientes de fricción y tasas de desgaste sobre una superficie de deslizamiento más bajos conocidos. Estructuralmente, todas las películas de DLC son iguales, es decir, amorfas, pero las propiedades mecánicas y tribológicas difieren radicalmente de una película a otra. Por ejemplo, los coeficientes de fricción reportados de películas de DLC muestran una gran disparidad en las propiedades de fricción que se atribuye principalmente a las diferencias en contenido de hidrógeno y proporciones relativas de la  $sp^3$ - $sp^3$  enlaces de precursores de carbono.

*Characterization of the density of DLC coatings. We have performed RBS measurements of Diamond-like carbon (DLC) thin films deposited by DC sputtering under different conditions by the group Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. An accurate value for densities of different DLC films can be calculated dividing the density per unit area (obtained by RBS) and thickness (obtained by profilometry).*

*DLC films have attracted great interest mainly because of their unique mechanical and tribological properties. In addition to being very hard and stiff, these films can provide some of the lowest known friction coefficients and wear rates on a sliding surface. Structurally, all DLC films are alike, i.e. amorphous, but the mechanical and tribological properties differ radically from one film to another. For example, reported friction coefficients for DLC films show a large disparity in frictional properties that is primarily attributed to the differences in hydrogen content and relative ratios of the  $sp^3$ - $sp^3$  bonded carbon precursors.*

Calibración y caracterización de detectores de protones acelerados mediante laser. El grupo de investigación del Instituto I<sup>3</sup>M de Valencia está desarrollando detectores de protones con energías de varios MeV. Estos deben de estar optimizados para la caracterización de pulsos (bunches) de partículas muy cortos y de intensidad desconocida. Su objetivo es determinar el número de protones y su distribución energética y espacial en cada pulso. Se espera un máximo de  $10^{10}$ - $10^{12}$  protones en menos de 100 ns, aunque números muy inferiores también son posibles.

En colaboración con el CNA, se han caracterizado dos tipos de detectores:

- Películas radiocrómicas: Cambian de color según la dosis de radiación depositada.
- Centelleador plástico: Se aprovecha para medir el momento de los protones por su tiempo de vuelo.

Ambos requieren de una calibración para poder relacionar la señal obtenida (nivel de gris o altura de pulso, respectivamente) con el número de protones detectados. Esta calibración se ha llevado a cabo utilizando protones entre 0.46 y 5.6 MeV de nuestro acelerador Tándem. En el caso de las películas radiocrómicas, hemos obtenido la relación entre densidad óptica y energía depositada sobre más de 3 órdenes de magnitud. La validez de los resultados y los algoritmos del análisis han sido confirmados mediante una irradiación controlada de películas apiladas y la reconstrucción de la carga total irradiada para perfiles de haz no-uniformes. Para el análisis espectral de protones acelerados mediante impactos de láser repetidos, el I<sup>3</sup>M ha diseñado un monitor online basado en un centelleador plástico. La lectura de la señal del fotomultiplicador en un osciloscopio rápido es especialmente útil para aplicaciones de tiempo de vuelo. Utilizando filtros ópticos variables, se ha logrado suprimir la saturación y la extensión del rango dinámico. Mediante un pulsador rápido acoplado a la fuente de iones del acelerador Tándem, se ha chequeado la respuesta del centelleador utilizando haces de protones pulsados en un alto rango de intensidades, desde partículas individuales hasta  $3 \times 10^5$  protones por 100 ns. Además, se ha probado la uniformidad del detector sobre una parte representativa de su área activa.

*Calibration and performance tests of detectors for Laser-Accelerator protons. In collaboration with the I<sup>3</sup>M Institute of Valencia we have carried out the calibration and performance tests of two particle detectors, a plastic scintillator and radiochromic films, in view to detect intense pulses of protons accelerated by lasers. Most of the procedures have been performed with proton beams of 0.46-5.6 MeV from our 3 MV tandem accelerator. For radiochromic films we have calibrated the relation between optical density and energy deposition over more than three orders of magnitude. The validity of these results and our analysis algorithms has been confirmed by controlled irradiation of film stacks and reconstruction of the total beam charge for strongly non-uniform beam profiles. For the spectral analysis of protons from repeated laser shots the I<sup>3</sup>M has designed an online monitor based on a plastic scintillator. The readout of the photomultiplier signal on a fast oscilloscope will be especially useful in time-of-flight applications. Variable optical filters allow for suppression of saturation and an extension of the dynamic range. By means of a fast-switch connected to our ion source, the detector response has been tested using pulsed proton beams to a wide range of beam intensities from single particles to  $3 \times 10^5$  protons per 100 ns time interval (Figure 4.1). Further, we have probed the detection uniformity over a representative part of the active area.*

## Proton pulse heights

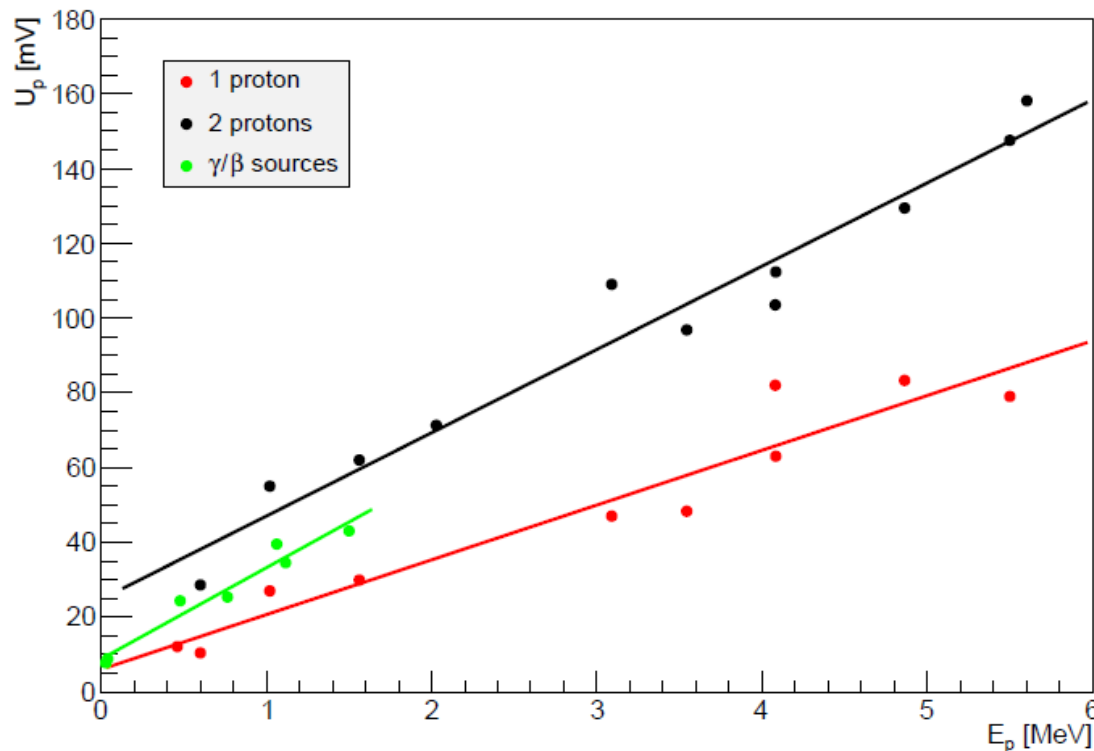


Figure 4.1 Maximum oscilloscope pulse heights of single and double proton pulses over a range of energies

#### 4.1.2 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facilities

El área de Irradiación del CNA se encarga de coordinar toda la investigación relacionada con los ensayos de fiabilidad en dispositivos y materiales susceptibles de ser utilizados en ambientes críticos de radiación, como es el entorno espacial o los experimentos de física nuclear de altas energías. Así como la irradiación de materiales biológicos que conlleve una modificación para aplicaciones específicas en agricultura o medicina. Hasta el momento, este tipo de ensayo en modo estático y/o dinámico se realiza fundamentalmente en los Aceleradores Tándem o Ciclotrón; siendo las líneas de trabajo habitual la microsonda de vacío, la línea de irradiación e implantación y la de haz externo del Ciclotrón. A partir de mediados de 2013 también está disponible un irradiador de  $^{60}\text{Co}$  para la irradiación con fotones gamma.

*The irradiation area of the CNA coordinates all the research related to reliability testing on devices and materials that could be used in critical environments of radiation, such as the space environment or high energy Physics experiments. As well as irradiation of biological materials, involving their internal modification for particular applications in agriculture and medicine. Up to now, this type of test in static and/or dynamic mode was performed in Tandem or Cyclotron accelerators; using the vacuum microprobe line, the irradiation and implantation line and the external beamline of the Cyclotron. From mid-2013, a  $^{60}\text{Co}$  irradiator system for gamma photons irradiation is also available.*

Ensayos de irradiación en dispositivos electrónicos y materiales para uso espacial. En la tecnología para espacio es fundamental asegurar la robustez de circuitos frente a la radiación. La técnica para validar su correcto comportamiento es el ensayo de irradiación acelerado, cuyo fin último es reproducir las condiciones de funcionamiento de un dispositivo y su entorno espacial, de modo que el circuito pueda recibir en un corto espacio de tiempo una exposición similar a la que podría recibir en su vida útil. La fiabilidad de un dispositivo puede ser estudiada, entre otros, en base al impacto eventual de una partícula ionizante (Single Event Effects, SEE) o en función de una determinada dosis de radiación acumulada (Total Ionization Dose, TID). En estos dos años, el CNA ha continuado con su labor científico-técnica en el irradiador gamma, e implementando algunas de las líneas de trabajo de los aceleradores, para el estudio de producción de fallos en circuitos “in vivo” además del daño en materiales.



Figura 4.2: Vista general de la Línea de Irradiación e Implantación durante un ensayo de irradiación en dispositivos electrónicos / General view of the irradiation and implantation beam line during electronic devices testing

Empleando la línea de Irradiación e Implantación iónica, instalada en el acelerador Tándem 3 MV, se ha llevado a cabo la irradiación, en modo dinámico, de diversos dispositivos comerciales programables (FPGAs). En la Figura 4.2, puede verse uno de los montajes experimentales, perteneciente a una de las campañas realizadas con la empresa francesa TRAD-Tests & Radiation, dentro de un proyecto financiado por el CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Los dispositivos, de tecnología CMOS de hasta 45 nm, han sido irradiados con protones en el rango de energías comprendido

entre 0.6 y 6 MeV. Se ha trabajado a diferentes ángulos de incidencia, con flujos de partículas en el rango de 5 a  $10 \times 10^8$  p/cm<sup>2</sup>s y fluencias entre 2 y  $20 \times 10^{11}$  p/cm<sup>2</sup>. Los resultados experimentales de sección eficaz de SEU (Single Event Upset) han sido utilizados en el desarrollo de un método de cálculo para conocer la contribución de la ionización directa de protones en la tasa de fallos. La metodología está en fase preliminar de investigación y se pretende continuar trabajando en su mejora y el desarrollo del software específico.

Empleando la línea de Haz Externo del Ciclotrón, también se ha llevado a cabo la irradiación, en modos estático y dinámico, de diversos dispositivos para aplicaciones en el sector aeroespacial. Estos ensayos muestran la viabilidad de nuestras instalaciones para cubrir las especificaciones de ensayos de irradiación para componentes optoelectrónicos. Las irradiaciones han sido realizadas en aire, como se muestra en la Figura 4.3 a modo de ejemplo.



Figura 4.3: Ejemplo de set-up experimental para ensayos de irradiación en la línea de haz externo del ciclotrón / Example of experimental set-up for irradiation testing in cyclotron external beam line

En el marco de una tesis doctoral desarrollada en el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla, se ha llevado a cabo el estudio del comportamiento frente a radiación de un sensor de Tierra diseñado para uso en satélites. Varios dispositivos, que tienen como base un fotodetector de silicio para infrarrojos, han sido chequeados con protones de 13 MeV



en un rango de fluencia de  $10^{10}$ - $10^{12}$  p/cm<sup>2</sup>, manteniendo un flujo del orden de  $10^8$  p/cm<sup>2</sup>s. La degradación transitoria y permanente de parámetros eléctricos fue monitorizada durante y después de la irradiación, realizando pruebas térmicas. Tanto en la matriz de termopilas como en el termistor se observa el efecto de la dosis absorbida. Los resultados han sido empleados para simulaciones del comportamiento del sensor de Tierra.

Junto a la empresa Alter Technology, se ha realizado el plan de ensayos de desplazamiento propuesto para una serie de diodos Schottky dentro del proyecto de la ESA (European Space Agency) titulado "Solar array high temperature blocking diodes for BepiColombo". Una serie de dispositivos de carburo de silicio han sido irradiados con protones de energía incidente de 15 MeV, en varios pasos de fluencia entre  $1$ - $18 \times 10^{11}$  p/cm<sup>2</sup> manteniendo un flujo de  $10^8$  p/cm<sup>2</sup>s. Los dispositivos se irradiaron en diferentes condiciones eléctricas, y los parámetros de interés fueron chequeados a temperatura ambiente tras cada paso de dosis establecido. Los resultados que deriven de estos experimentos serán incluidos por la empresa en el correspondiente informe final del proyecto.

Por otro lado, se han realizado ensayos de irradiación, solicitados por la empresa francesa TRAD-Tests & Radiation, sobre nuevos recubrimientos en lentes ópticas destinados a la industria aeroespacial. Los experimentos se han llevado a cabo en vacío ( $7 \times 10^{-7}$  mbar) usando la Línea de Irradiación e Implantación instalada en el Acelerador Tándem de 3 MV. Las muestras, de 1 mm de espesor, fueron colocadas en un portamuestras especialmente diseñado que incluía las máscaras. Se realizó un barrido completo sobre un área de 420 cm<sup>2</sup> con protones de 0.75 MeV, empleando un flujo de  $1.3 \times 10^6$  p/cm<sup>2</sup>s hasta alcanzar una fluencia de  $1 \times 10^9$  p/cm<sup>2</sup>. Por motivos de confidencialidad con el cliente, no se pueden aportar más datos procedentes de los análisis posteriores de las muestras realizados por la empresa.

En el laboratorio de radiación gamma (RADLAB) se realizó, entre el 2 y el 23 de Junio de 2014, un ensayo de irradiación de optoacopladores a bajas temperaturas. En algunas de las aplicaciones espaciales actuales, es posible que los optoacopladores necesiten trabajar a temperaturas muy bajas. Bajo estas condiciones de baja temperatura, la degradación del dispositivo expuesto a la radiación puede mostrar un comportamiento diferente en comparación con una prueba estándar de radiación a temperatura ambiente. En concreto, estos optoacopladores sometidos a ensayo serán utilizados en el "Solar Wind Analyzer Suite" (SWA) del satélite Solar Orbiter.

Los dispositivos a irradiar fueron colocados, con una distribución circular, en el interior de una cámara metálica mostrada en la Figura 4.4. Esta cámara estaba preparada para mantener los dispositivos a baja temperatura de forma estable y controlada. En concreto, este ensayo fue realizado a  $-40$  °C. Para fijar la posición de la cámara en el interior del búnker, a 260 cm de la fuente, se utilizó una mesa de madera y un maniquí de poliestireno expandido (EPS). Tanto la madera como el poliestireno no contribuyen, de forma apreciable, a la radiación dispersa. De ahí, que sea recomendable trabajar

con soportes de estos materiales. La cámara que albergaba los dispositivos necesitaba tener, de forma permanente, un flujo de nitrógeno en su interior para mantener la temperatura en el valor deseado.

La dosimetría se realizó previamente, colocando una cámara de ionización tipo Farmer. Se trabajó con una tasa de 2,23 Gy/h hasta alcanzar dosis acumuladas de 1 kGy. Pero además, con motivo del estudio de la influencia de bajas temperaturas en la dosimetría, se dispusieron en el interior de la cámara dos pastillas de alanina. Una de ellas junto a los propios dispositivos y por tanto, a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura, y la otra pegada al interior de la ventana de metacrilato y por tanto a una temperatura mayor. Los resultados de la campaña de irradiación gamma han demostrado que no se produce degradación de los opto acopladores en estas condiciones de temperatura. Se estudiaron parámetros como la corriente oscura o el CTR.



Figura 4.4: Disposición de los equipos necesarios para la campaña de irradiación (izquierda) y cámara diseñada para mantener los dispositivos a baja temperatura durante la irradiación (derecha) / Elements of irradiation campaign (left) and chamber design for irradiation (right)

También en el laboratorio RADLAB, se realizó un ensayo de medidas de TID en circuitos CMOS de AMS  $0.35\text{ }\mu\text{m}$  (MEIGA). La Universidad de Sevilla y el Instituto de Microelectrónica de Sevilla, en colaboración con el INTA, y dentro del proyecto MEIGA, financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación, están desarrollando técnicas de diseño de circuitos integrados CMOS analógico/digitales para aplicaciones espaciales. Esta actividad necesita la caracterización de dispositivos semiconductores elementales para determinar cómo se ven afectados por la radiación ionizante, y adoptar técnicas de diseño que reduzcan los efectos de la dosis acumulada.

La campaña, realizada en el RADLAB durante los meses de enero y febrero de 2014, requirió un control continuo de las condiciones atmosféricas y dosimétricas. Este requerimiento permitió validar el proceso de monitorización de las condiciones

dosimétricas y atmosféricas implantado en el RADLAB. Además fue necesario desarrollar un sistema de soportes que permitiesen alcanzar las condiciones dosimétricas deseadas (dosis acumulada superiores a los 850 Gy con tasa de dosis de 2,2 Gy (Si)/h aproximadamente) sin perder uniformidad, y que cumpliesen con los requerimientos eléctricos de los dispositivos.

En 2014, también fue solicitada una irradiación, por parte del laboratorio de nuevas tecnologías y optoelectrónica de la empresa Alter Technology junto con la empresa G&H (Gooch & Housego), con el fin de irradiar varias fibras ópticas dopadas con erbio que se usarán para hacer amplificadores ópticos (EDFAs) dentro de la ITT 7524 "Space validation of Rad-Hard Erbium Optical Fibre" de la ESA. En concreto fueron irradiadas 4 muestras diferentes, colocadas a 300 cm de la fuente en el interior de cajas de aluminio y plomo para evitar la radiación dispersa. Además estas cajas contaban con una tapa de PMMA que permitía que se alcanzase el equilibrio electrónico. Dos de las fibras se mantuvieron en activo durante la campaña de irradiación mientras que las otras dos permanecieron en pasivo.

La campaña realizada constaba de dos fases, una primera fase en la que se irradió con una tasa de 0,35 Gy (Si)/h hasta alcanzar una dosis acumulada de 100 Gy (Si), y una segunda fase, donde las fibras fueron trasladadas a una zona con 2,2 Gy (Si)/h de tasa de dosis hasta alcanzar 900 Gy (Si). Por motivos de confidencialidad con el cliente, no se pueden aportar más datos procedentes de los análisis posteriores de las muestras realizados por la empresa.

*Irradiation testing on electronic devices and materials for space applications. When the technology is used in Space, the robustness of circuits against radiation must be ensured. The technique to check the devices behavior is the called irradiation accelerated test, where the operation conditions and the environment are reproduced, so that the circuit can receive in a short time a similar radiation than during their full lifetime. The reliability of a device under radiation can be studied, among others, based on the eventual impact of an ionizing particle (Single Event Effects, SEE) or according to a given dose of radiation accumulated (Total Ionization Dose TID). During these years, the CNA has followed his scientific-technical work in the gamma irradiator, and implementing some of the lines of work in the accelerators, aimed at the research of circuit failure and damage into materials.*

*The Irradiation and Implantation Beamline, installed in the 3 MV Tandem accelerator, has been used for irradiation testing, in dynamic mode, on programmable commercial devices (FPGAs). Figure 4.2 shows one experimental set-up, corresponding to one of the campaigns carried out with the French company TRAD-Tests & Radiation, in the frame of a project supported by CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). The devices, up to 45 nm CMOS technology, have been irradiated with protons in the energy range of 0.6 to 6 MeV. Flux values from 5 to  $10 \times 10^8$  p/cm<sup>2</sup>s and fluences from 2 to  $20 \times 10^{11}$  p/cm<sup>2</sup>, have been employed at different tilting angles. Experimental results of SEU (Single Event Upset) cross section have been used in the development of a calculation method*

to estimate the proton direct ionization contribution to the SEU rate. This methodology is in the preliminary stage, it is intended to continue improving and develop the specific software.

The External Beam Line, installed in the cyclotron, has been used to perform irradiation testing, static and dynamic modes, on different devices for aerospace applications. These tests show the feasibility of our facilities to meet the specifications of irradiation tests for optoelectronic components. The irradiations have been carried out in air, Figure 4.3 illustrates the set-up.

In the frame of a PHD thesis, it has been tested a new Earth Sensor designed by the Sevilla ETSI group (GTE) for satellites application. The core of this Earth Sensor is an infra-red standard photodetector. Various devices have been irradiated with 13 MeV protons in the range of fluence of  $10^{10}$ - $10^{12}$  p/cm<sup>2</sup>, maintaining a constant flux in the order of  $10^8$  p/cm<sup>2</sup>s. The permanent and transitory degradation of electrical parameters were registered during and after the irradiation, performing also thermal tests. Both, thermopile array and thermistor included in the device were slightly affected by the absorbed dose. The results have been used to simulate the Earth sensor behavior.

Together with the company Alter Technology, has been carried out the test plan on a series of Schottky diodes proposed within the project of ESA (European Space Agency) entitled "Solar array high temperature blocking diodes for BepiColombo". A number of silicon carbide devices have been irradiated with protons of incident energy 15 MeV, in several steps with fluence range  $1$ - $18 \times 10^{11}$  p/cm<sup>2</sup> at a flux of  $10^8$  p/cm<sup>2</sup>s. The devices were irradiated at different power conditions, and the parameters of interest were checked at room temperature after each dose step. The results derived from these experiments will be included in the final report of the project by the company.

On the other hand, irradiation tests have been performed on new coated quartz samples for the aerospace industry, demanded by the French company TRAD-Tests & Radiation. The experiments have been carried out in vacuum ( $7 \times 10^{-7}$  mbar) in the irradiation and implantation beamline, which is installed in the 3 MV Tandem Accelerator. The samples, 1 mm thick, were placed in a specially designed sample holder including masks. A full scanning of 420 cm<sup>2</sup> was done using 0.75 MeV protons with ion flux of  $1.3$  p/cm<sup>2</sup>s and reaching a total fluence of  $1 \times 10^9$  p/cm<sup>2</sup>. For reasons of customer confidentiality, no details are provided from subsequent analyzes of the samples carried out by the company.

In the gamma radiation laboratory (RADLAB) were performed, between 2 and 23 June 2014, irradiation test at low temperatures. In space applications, the optocouplers may need to work at very low temperatures. Under these conditions of low temperature, degradation of the device exposed to radiation may show a different behavior compared to a standard test radiation at room temperature. Specifically, the

optocouplers tested will be used in the “Solar Wind Analyzer Suite” (SWA) of Solar Orbiter.

Irradiated devices were placed, with a circular distribution, within a metal chamber shown in figure 4.4. This camera also was prepared to keep the devices at low temperature. Specifically, this test was performed at  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A wooden table and an expanded polystyrene phantom (EPS) were used to set the camera position inside the bunker at 260 cm from source. Both wood and polystyrene do not contribute appreciably to scattered radiation. Hence, it is advisable to work with these materials holders. The chamber housing the devices have needed, permanently, a nitrogen flow to maintain the inside temperature at the desired value.

Dosimetry was made previously, placing a Farmer type ionization chamber. We worked with a dose rate of 2.23 Gy/h and total dose of 1 kGy. In addition, to study the influence of low temperatures in the dosimetry, two alanine pills were placed in the chamber. One next to the devices themselves and, therefore, to  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperature, and the other adhered to the inside of the methacrylate window and thus at a higher temperature. Results of the gamma radiation test have shown that there was no optocouplers degradation. Parameters such as dark current or CTR were studied.

Also, in the RADLAB, TID measures in CMOS circuits AMS 0.35  $\mu\text{m}$  (MEIGA) was performed. The University of Seville and the Institute of Microelectronics of Seville, in collaboration with INTA, and within MEIGA project, partially funded by the Ministry of Science and Innovation, are developing techniques IC design analog/digital CMOS for space applications. This activity requires the characterization of basic semiconductor devices to determine how they are affected by ionizing radiation, and adopt design techniques for reduce the effects of accumulated dose.

The campaign in RADLAB, during the months of January and February 2014, required continuous monitoring of atmospheric and dosimetric conditions. This requirement allowed testing the monitoring process implanted in the RADLAB. It was also necessary to develop a system of supports that would allow achieving the desired dosimetric conditions (total dose of 850 Gy and dose rate of 2.2 Gy (Si)/h dose approximately) without losing uniformity, and which met the electrical requirements.

In 2014, it was also requested an irradiation by the laboratory of new technologies and optoelectronics of Alter Technology and company G & H (Gooch & Housego), to irradiate several optical fibers doped with erbium to be used to optical amplifiers (EDFAs) in the ITT 7524 “Space validation of Rad-Hard Erbium optical Fibre” ESA. Specifically were irradiated 4 different samples, placed at 300 cm from source inside boxes of aluminum and lead to avoid stray radiation. Besides, these boxes had a PMMA cover that allowed electronic equilibrium is reached. Two of the fibers remained active during the campaign irradiation while the other two remained passive.

The campaign consisted of two phases, a first phase in which it was irradiated with a dose rate of 0.35 Gy (Si)/h up to a total dose of 100 Gy (Si), and a second phase, where

*the fibers were moved to an area with 2.2 Gy (Si)/h dose rate up to 900 Gy (Si). For reasons of customer confidentiality, no details are provided from subsequent analyzes of the samples carried out by the company.*

Ejercicio de Intercomparación dosimétrica. A lo largo del año 2014 se realizó un ejercicio de Intercomparación entre los laboratorios de irradiación gamma de la UCL (Bélgica), de la ESA (Holanda) y del CNA (España). El objetivo fue evaluar la medición de dosis absorbida y tasa de dosis, y realizar una comparativa de los métodos de medición. Las intercomparaciones entre laboratorios están diseñadas para establecer la exactitud y precisión de la dosimetría y evaluar la coherencia entre los centros. Además, se espera que un ejercicio de este tipo proporcione una metodología y un conjunto de líneas básicas que podrían ser utilizadas como referencia para otros laboratorios de dosimetría.

Dicho ejercicio constaba de tres fases de medidas, cada una de ellas realizada en uno de los laboratorios, donde cada usuario llevaba su propio equipamiento. Cada una de las fases consistió en mediciones de dosis y tasa de dosis realizados por todos los participantes usando cámaras de ionización y pellets de alanina. Los experimentos se llevaron a cabo en cada instalación mediante la medición de la tasa de dosis en condiciones predeterminadas que abarcan un rango de tasa de dosis de 0,2 Gy (Si)/h hasta 90 Gy (Si)/h, y una dosis total entre 100 Gy (Si) y 500 Gy (Si). La comparación entre los tres sistemas de medición se llevó a cabo mediante la exposición de las sondas a una fuente de  $^{60}\text{Co}$  (Figura 4.5).

Dicho estudio ha puesto de manifiesto una concordancia muy buena entre los resultados de los tres laboratorios para la dosimetría con haces de fotones gamma según los requerimientos de la normativa ESCC y MIL. Los resultados se harán públicos una vez publicado el artículo científico al que ha dado lugar este ejercicio de intercomparación.

*Dosimetry Intercomparison Exercise. Throughout 2014, an intercomparison exercise was carried out between three gamma irradiation laboratories: UCL (Belgium), ESA (Netherlands) and CNA (Spain). The objective was to evaluate the measurement of absorbed dose and dose rate, and compare measurement methods. The intercomparisons between laboratories are designed to establish the accuracy and precision of dosimetry and assess the consistency between centres. In addition it was expected that such an exercise would provide a methodology and a base line set of data which could be used as a reference for other dosimetry laboratories.*

*The exercise consisted of three phases of measures, each performed in one laboratory, where each user had their own equipment. Each phase consisted of total dose and dose rate measurements performed by all the participants using ionization chambers and alanine pellets. The experiments were conducted at each facility by measuring dose rate at predetermined conditions spanning a range of dose rate from 0.2 Gy (Si)/h to 90 Gy (Si)/h, and a total dose between 100 Gy (Si) and 500 Gy (Si). The comparison*

between the three measurement systems was performed exposing the probes to a  $^{60}\text{Co}$  source (Figure 4.5).

The study has revealed a very good agreement between the results of the three laboratories by the dosimetry for gamma photons beam at the level required by ESCC and MIL test methods. The results will be available after publishing the scientific paper derived of this intercomparison exercise.

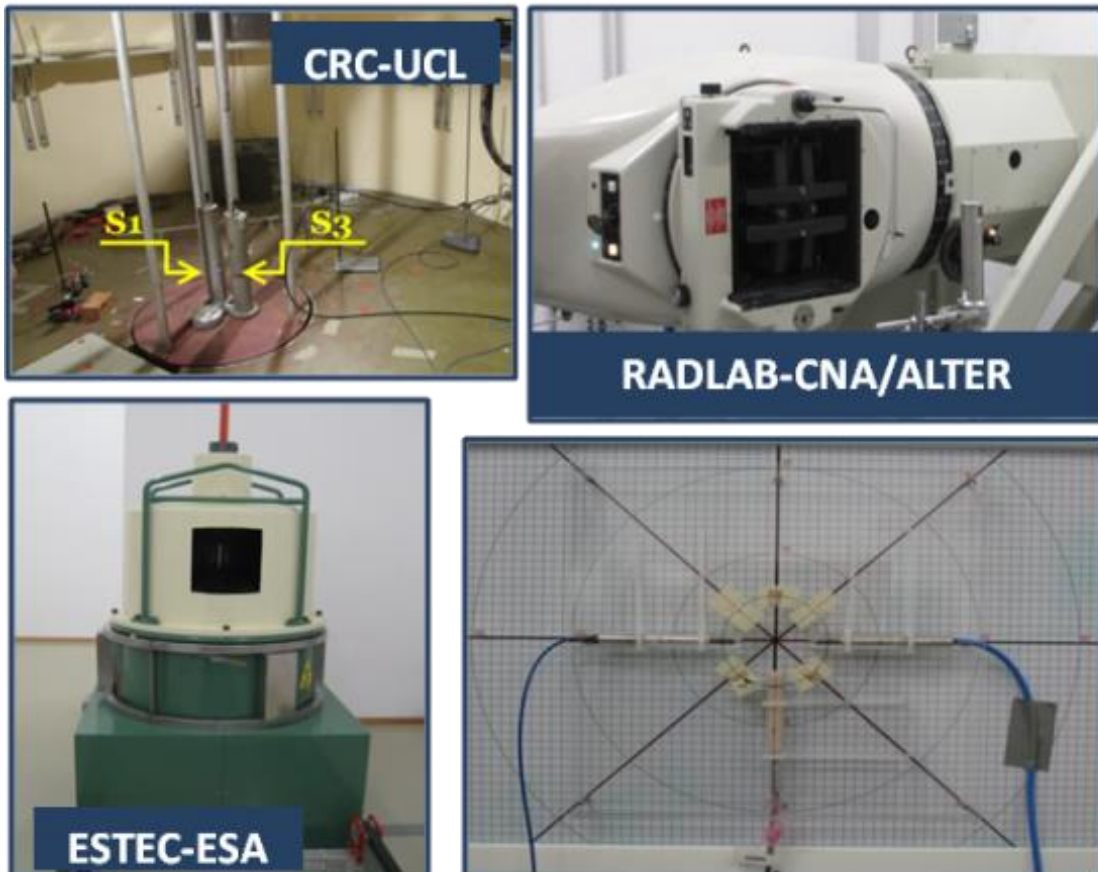


Figura 4.5: Dispositivos de irradiación de cada uno de los laboratorios implicados en la intercomparación / Used devices

Experimentos de irradiación con protones en la caracterización de un telescopio Compton. En el Instituto de Física Corpuscular (IFIC/CSIC-UVEG) se están desarrollando trabajos incluidos en el proyecto ENVISION (European Novel Imaging Systems for Ion Therapy), con el fin de mejorar la técnica de terapia hadrónica. Se trabaja en una técnica de detección en fase de desarrollo, como alternativa al método “in-beam PET”, basada en el uso de fotones (“prompt gamma”) producidos por la interacción del haz de iones con los tejidos. Uno de los retos más importantes es la reconstrucción de la trayectoria de los fotones generados, con energías del orden de decenas de MeV, con el fin de determinar el punto donde se producen. El grupo del IFIC ha propuesto la construcción de un telescopio Compton formado por varios planos detectores basados en un cristal centelleador acoplado a matrices de fotomultiplicadores de silicio.

El primer prototipo diseñado se ha construido con planos de LaBr<sub>3</sub> y LYSO, acoplados a sus correspondientes fotomultiplicadores que se leen por medio de un ASIC. Se ha desarrollado así mismo el sistema de adquisición y tratamiento de datos. El rendimiento del sistema completo se evalúa con fuentes radiactivas en el laboratorio. Con el fin de obtener un entorno más similar al que se tiene durante la terapia, se han realizado dos campañas de irradiación con protones de 17.6 MeV en la línea de Haz Externo del Ciclotrón en el CNA (Figura 4.6). Hasta el momento, se han realizado experimentos sobre los primeros diseños empleando blancos de carbono y oxígeno, con el fin de producir radiación gamma de energía superior a 1275 keV. Los resultados están siendo utilizados para continuar trabajando en la mejora del prototipo a todos los niveles (aumento del número de detectores, sistema de adquisición, simulación y reconstrucción de trayectoria).

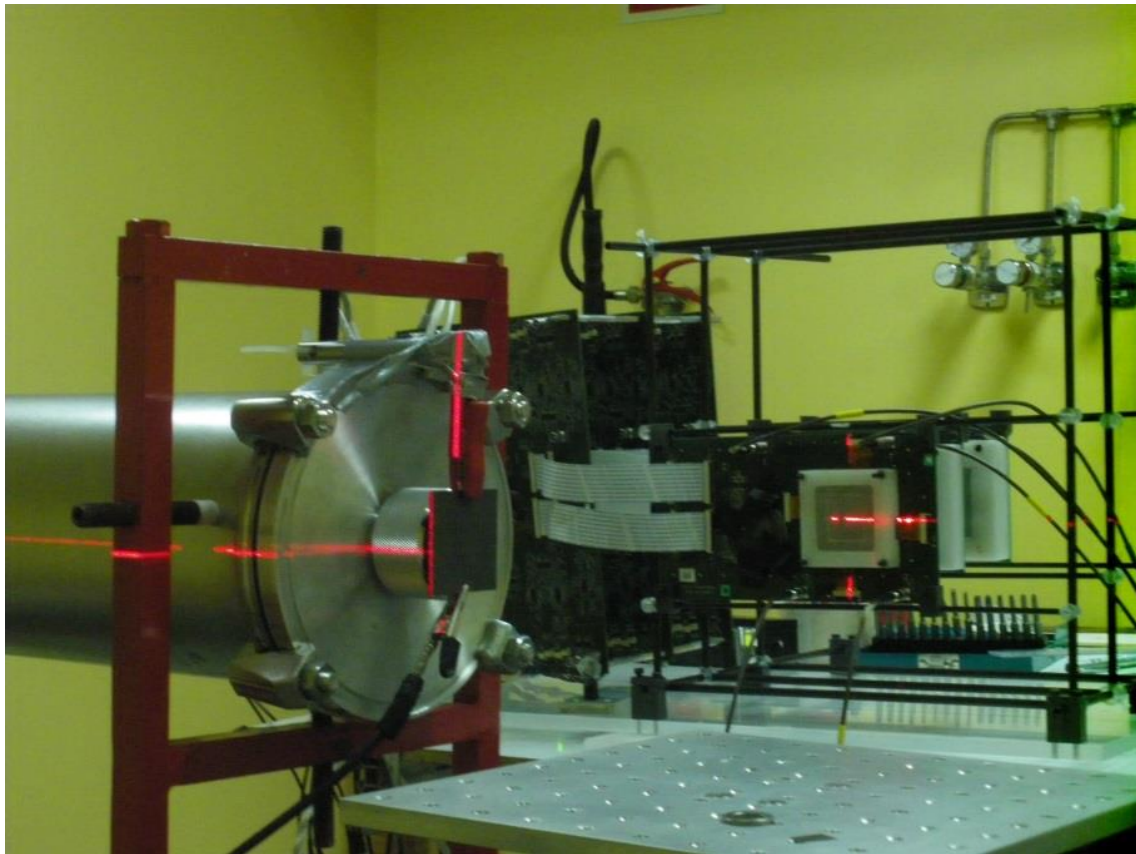


Figura 4.6: Detalle de set-up durante el alineamiento del telescopio Compton / Set-up detail during the Compton telescope alignment

*Proton irradiation experiments for the characterization of a Compton telescope. The Institute of Corpuscular Physics (IFIC / CSIC-UVeG) is developing tasks included in the ENVISION project (European Novel Imaging Systems for Ion Therapy), in order to improve the technique of hadron therapy. A new detection technique is studied as an alternative to “in-beam PET” method, which is based on the use of photons (“prompt gamma”) produced by the interaction of the ion beam with the tissues. One of the greatest challenges is the reconstruction of the trajectory for generated photons, with*



*energies in the order of tens of MeV, to determine their outgoing point. The group in the IFIC has proposed the construction of a Compton telescope with several detector planes based on a scintillator crystal coupled to silicon photomultipliers arrays.*

*The first designed prototype has been manufactured using crystals of  $\text{LaBr}_3$  and LYSO, coupled to their corresponding photomultipliers that are read by an ASIC. Moreover, the system for acquisition and data processing has been also developed. The overall system performance is evaluated with radioactive sources in the laboratory. In order to obtain a similar environment that during the therapy, two irradiation campaigns with 17.6 MeV protons have been carried out in the Cyclotron External Beam line in the CNA (Figure 4.6). Up to now, experiments have been performed on early designs using carbon and oxygen targets to produce gamma radiation with energy above 1275 keV. The results are being used to continue working on improving the prototype at all levels (increased the number of detectors, acquisition system, simulation and reconstruction of the trajectory).*

Experimentos de irradiación con protones en el estudio de detectores de silicio altamente segmentados. El departamento de Física Aplicada de la Universidad de Huelva, en colaboración con la Universidad de Padova y el IPN-Orsay, participa en un proyecto para estudiar el efecto “inter-strip” usando técnicas de análisis de forma de pulso (PSA) en detectores de Si. Los detectores de Si altamente segmentados tienden a tener más de 100 bandas en tan sólo unos pocos centímetros, por lo que el ancho de la banda viene a ser inferior a 500  $\mu\text{m}$ . Existen datos de comportamiento inusual de los pulsos recogidos en estos detectores cuando las partículas entran a través de la región de “inter-strip”. El objetivo del grupo es investigar más a fondo estos efectos ya que no existen publicaciones que traten directamente con el PSA de estos eventos.

Se han realizado experimentos preliminares utilizando la microsonda de vacío instalada en el acelerador Tándem de 3 MV (Figura 4.7). Para ello se realizó una puesta a punto específica para chequear un detector de silicio altamente segmentado de 500 micras de espesor tipo NTD (neutron transmuted doped). El ancho de la banda era de 400  $\mu\text{m}$  con un espacio “inter-strip” de 50  $\mu\text{m}$ . Durante los experimentos sólo se leyeron dos bandas tipo p y dos tipo n. El detector se irradió en incidencia normal con haces de protones de 3 y 4 MeV, focalizados inicialmente en 3,5  $\mu\text{m}$  x 4.3  $\mu\text{m}$ , con el fin de escanear el detector en el eje vertical en pasos de hasta 10-20 micras. El flujo, inferior a 100 cps, se controló indirectamente mediante el uso de un detector de Rayos-X. Los espectros de PIXE fueron también de utilidad para asegurar la posición del haz en las “inter-strips”. La cadena de adquisición de datos también fue adaptado para leer las señales producidas “in vivo”. Los resultados están en fase de estudio y se espera continuar con nuevos experimentos utilizando otras energías. Mientras tanto, nuestro grupo está mejorando la metodología de dosimetría para realizar pruebas de irradiación en la microsonda.

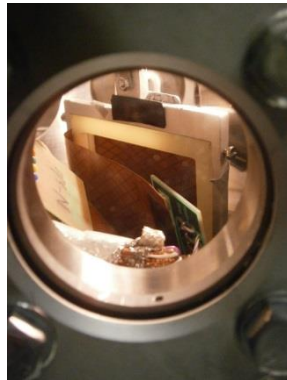


Figura 4.7: Detalle del montaje dentro de la cámara de la microsonda / Set-up detail inside the microprobe chamber

*Proton irradiation experiments for the study of highly segmented silicon detectors. The department of Applied Physics-Huelva University, in collaboration with Padova University and IPN-Orsay, is involved in a project to study the inter-strip effect using Pulse Shape Analysis (PSA) techniques on Si detector. Highly segmented Si detectors tend to have more than 100 strips in just a few cm, and therefore the strip width becomes  $\leq 500 \mu\text{m}$ . It has been reported unusual behaviour of the collected pulses when particles enter through the interstrip region. The group goal is to investigate further since there are no publications dealing directly with the PSA of these events.*

*Preliminary experiments have been performed using the vacuum microprobe installed in the 3 MV Tandem Accelerator. A particular set-up was prepared to test one NTD (neutron transmuted doped) highly segmented silicon detector  $500 \mu\text{m}$  thick. The strip width was  $400 \mu\text{m}$  with an interstrip gap of  $50 \mu\text{m}$ . Only two p- and two n-strips were read during the experiments. The detector was irradiated in normal incident with 3 and 4 MeV proton beams, initially focused on  $3.5 \mu\text{m} \times 4.3 \mu\text{m}$ , in order to scan the detector in the vertical axis till 10-20  $\mu\text{m}$  steps. The flux, lower than 100 cps, was indirectly monitored by using an X-Ray detector. The PIXE spectra were also useful to ensure the beam position into the interstrips. The data acquisition chain was also adapted to read the produced signals "in vivo". The results are being studied and it is expected to continue new experiments using other energies. Meantime, our group is improving the dosimetry methodology to perform irradiation tests in the microprobe.*

Estudio del rechazo a fotones en detectores para monitorización de la dosis neutrónica en pacientes sometidos a radioterapia. El aumento del número de pacientes oncológicos y la alta tasa de curación de los mismos está poniendo de manifiesto los efectos secundarios debidos a los tratamientos de radioterapia. Uno de ellos, es la aparición de segundos cánceres como consecuencia de la radiación periférica recibida fuera de la zona de tratamiento. Actualmente, el Grupo de Física Médica del Departamento de Fisiología Médica y Biofísica de la Universidad de Sevilla, ligado al Servicio de Radiofísica del Hospital Universitario Virgen Macarena, está analizando la componente neutrónica de esta dosis periférica. Se trata de la componente más difícil de evaluar debido al gran número de fotones presentes durante el tratamiento, lo cual

hace necesario un alto factor de rechazo a la detección gamma para la obtención de lecturas fiables de neutrones. La aparición de un nuevo detector de neutrones térmicos activo y miniaturizado, denominado TNRD (Thermal Neutron Rate Detector), permite la medida en un amplio rango de flujos neutrónicos ( $10^6$ - $10^7$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) en presencia de un intenso fondo de fotones.

No obstante, este ensayo, llevado a cabo en el laboratorio RADLAB (Figura 4.8), viene motivado porque se han observado posibles dependencias con la componente fotónica en condiciones especiales de medida. La posibilidad de medir bajo un haz puro de fotones como el proporcionado por el irradiador del RADLAB ha brindado una oportunidad única para el estudio del comportamiento del detector. El objetivo del ensayo es establecer una relación entre la correspondencia señal-dosis en un haz puro como el de  $^{60}\text{Co}$  frente a los haces de los aceleradores clínicos (6 y 15 MV), preferentemente en bajas tasas de dosis, al ser la situación de interés para la medida de la dosis periférica en pacientes tratados con radioterapia.

Durante los ensayos se utilizaron 6 detectores TNRD colocados en posiciones diferentes previamente caracterizadas dosimétricamente. La dosimetría se realizó con una cámara de ionización tipo Farmer abierta al aire con su correspondiente caperuza de equilibrio de 5 mm de PMMA (equivalente en agua) y el electrómetro Unidos de PTW. Con el fin de comparar las posibles diferencias entre varios detectores y aumentar la estadística de las medidas, se fueron intercambiando las posiciones de todos los detectores de forma que todos realizaron una medida en cada uno de los puntos caracterizados. Las medidas se realizaron en puntos situados a unos 300 cm de distancia de la fuente y haciendo uso de un sistema de atenuación para obtener tasas de dosis muy bajas (desde 0,1 hasta 3 Gy/h en agua).

Efectivamente, los resultados del ensayo muestran que los detectores son sensibles a los fotones gamma, obteniéndose una señal, que aunque pequeña, debe ser considerada como una señal umbral cuando se utilicen en salas de radioterapia en hospitales.

*Study of rejection photon detectors for monitoring neutron dose in patients undergoing radiotherapy. The increasing number of cancer patients and their high cure rate is highlighting the side effects from radiation treatments. One of them is the appearance of second cancers as a result of peripheral radiation received outside the treatment area. The Medical Physics Group of the Medical Physiology and Biophysics Department (University of Seville) linked to Radiophysics Service of Hospital Virgen Macarena analyzes the neutron component of the peripheral dose currently. This is the most difficult component to evaluate, due to the number of photons present during treatment, which necessitates a high rejection factor gamma detection to obtain reliable readings of neutrons. The appearance of a new active thermal neutron detector, called TNRD (Thermal Neutron Detector Rate), allows the measurement in a wide range of neutron flux ( $10^6$ - $10^7$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) in the presence of an intense background photon.*

However, this test, performed in the RADLAB laboratory (Figure 4.8), is motivated because there have been possible dependencies with photon component in special test conditions. The possibility of measuring under a pure beam of photons as provided by the irradiator of RADLAB has provided a unique opportunity to study the behavior of the detector. The test objective is to establish a relationship between the signal-dose corresponding for a pure beam as  $^{60}\text{Co}$  compared to beams clinical accelerators (6 and 15 MV), preferably at low dose rates, as the situation of interest for measuring the peripheral dose in patients treated with radiotherapy.

During the tests, six TNRD detectors were used. They were placed in different positions that were previously dosimetrically characterized. The dosimetry was made with a Farmer ionization chamber with its corresponding electronic equilibrium cap of 5mm PMMA (water equivalent) and electrometer UNIDOS of PTW. To compare differences between various detectors and increase statistical measures, they were interchanging the positions of all detectors so that all carried a measure in each of the characterized points. Measurements were made at points at about 300 cm from the source and making use of an attenuation system for very low dose rates (from 0.1 to 3 Gy/h in water).

Indeed, the test results show that the detectors are sensitive to gamma photons, obtaining a signal, which although small, should be considered as a threshold signal when used in radiotherapy rooms in hospitals.

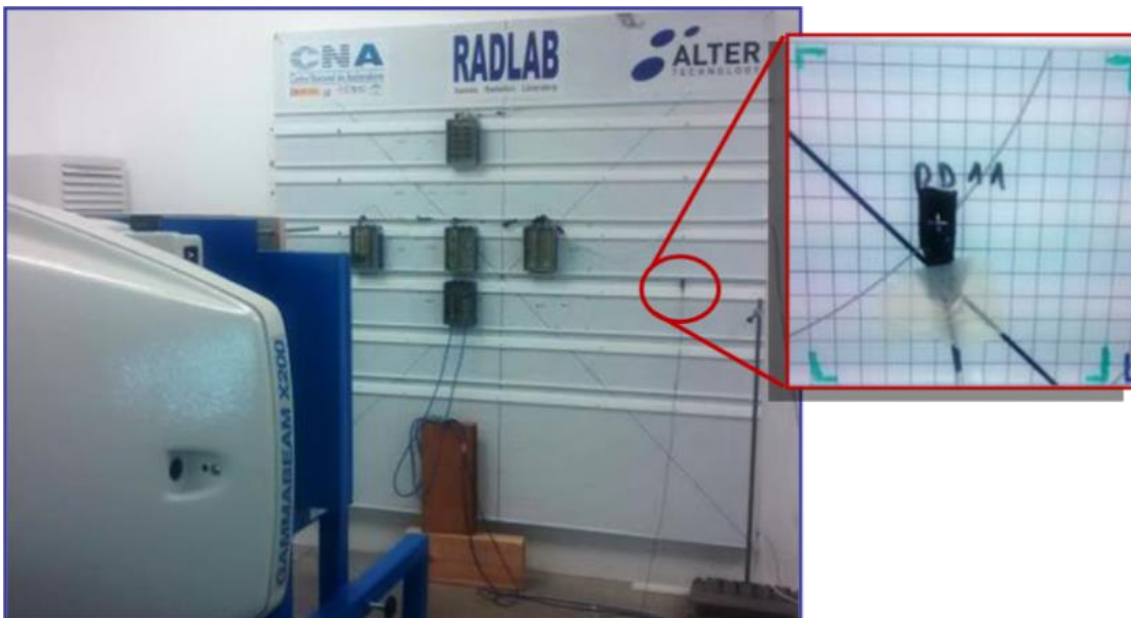


Figura 4.8: Ensayo de irradiación a muy baja tasa sobre detectores TNRD realizado en el RADLAB / Irradiation test at very low rate with TNRD detectors

Ensayos de irradiación de semillas para la inducción de mutaciones. La irradiación de semillas es una técnica cada vez más común, utilizada para la mejora de algunas variedades. Con estas irradiaciones se inducen mutaciones genéticas y se pueden

obtener líneas mutantes con diferentes resultados, como son cambios morfológicos, clorofílicos, tolerancia a enfermedades y maduración más temprana.

En el laboratorio de irradiación gamma del CNA (RADLAB) se han llevado a cabo, en estos últimos dos años, ensayos de irradiación de semillas de arroz y de quinoa (Figura 4.9), procedentes de importantes empresas andaluzas. Las irradiaciones se realizaron haciendo uso de varios maniqués, comúnmente empleados para la irradiación de material orgánico. En ambos ensayos se alcanzaron dosis acumuladas de 250 Gy ya que eran los valores más comunes en la bibliografía. En cuanto a la tasa de dosis, tras el estudio realizado, no se obtuvo información concluyente, por lo que su elección vino determinada por la duración del ensayo (se optó por una tasa que permitiese realizar el ensayo en unas 2-3 horas) y por la elección de la distancia blanco-fuente que permitiese obtener una uniformidad superior al 90% dentro del tamaño de campo irradiado. Finalmente, en ambos casos, se decidió trabajar con tasas de dosis en agua próximas a los 120 Gy/h.

Tras su irradiación, las semillas deben someterse a varios procesos de selección y siembra para comprobar si se han obtenido los resultados perseguidos. En lo referente a la irradiación de quinoa aún se están estudiando los resultados de la irradiación realizada. En el caso de las variedades de arroz sometidas a ensayo, se comprobó que las plantas obtenidas a partir de semillas irradiadas presentaban varias características mejoradas, entre ellas principalmente una reducción del tamaño de la planta y del tiempo de maduración.



Figura 4.9: Irradiación de semillas de tres variedades de arroz (izquierda) y 5 variedades de quinoa (derecha) para la inducción de mutaciones / Rice (left) and quinoa (right) irradiation

*Seed irradiation tests for induction of mutations. Seed irradiation is an increasingly common technique used to obtain improved varieties. These radiations induced genetic*

*mutations and can be obtained mutant lines with different results, such as morphological changes, chlorophyll, disease tolerance and earlier maturity.*

*In the gamma radiation laboratory of the CNA (RADLAB), irradiations testing of rice and quinoa seed have been performed in the last two years (Figure 4.9), from relevant andalusian companies. Irradiations were carried out using various phantoms commonly employed for the irradiation of organic material. In both tests total dose of 250 Gy was reached as is recommended in the bibliography. After the study, no conclusive information was obtained for the choice of the dose rate so that their choice was determined by the duration of the test (it was decided to choose a dose rate that would allow perform the test in about 2-3 hours) and fixing the target-source distance that allowed obtain uniformity over 90% in the irradiated size irradiated field. Finally, in both cases, it was decided to work with dose rates in water about 120 Gy/h.*

*After irradiation, the seeds must undergo several processes of selection and planting to check whether we have obtained the desired results. Regarding quinoa irradiation is still studying the results of irradiation undertaken. In the case of rice varieties irradiated, it was found that plants obtained from irradiated seeds had several improved features, including mainly the size of the plant and the ripening time that was reduced.*

Evaluación de la ionoluminiscencia en capas finas excitadas con fotones gamma de 1.25 MeV. En el ICMSE (Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla) se están desarrollando materiales basados en capas luminiscentes formadas por una matriz de óxidos químicamente robustos y resistentes, y dopantes con cationes  $\text{Eu}^{3+}$ .

A lo largo del año 2013 se realizaron en las instalaciones del CNA medidas de ionoluminiscencia de capas finas con distintas composiciones ( $\text{ZnO/SiO}_2\text{:Eu:Tb}$ ). Los resultados obtenidos han sido muy prometedores, poniéndose de manifiesto que las capas activas probadas presentan niveles de luminiscencia observables cuando ésta se excita con protones o partículas alfa de entre 0.5 y 3 MeV. Con el ensayo realizado en RADLAB se buscaba continuar con los estudios iniciados. En este caso se pretendía extender el rango de posible uso de los sensores de radiación ionizante desarrollados a aplicaciones médicas, en concreto para su uso como detectores de radiación en salas médicas de irradiación gamma. Este trabajo se enmarca dentro en proyecto de excelencia LUMEN (TEP08067) recientemente concedido.

Para la realización del ensayo fue necesario hacer uso de un sistema de cámaras de video que permitiese observar las muestras en todo momento desde la sala de control del laboratorio. Tras realizar dos irradiaciones con una tasa de 12,6 Gy (Si)/h cada una de ellas para alcanzar dosis acumuladas de aproximadamente 1 Gy, se comprobó que dichos materiales no presentan comportamiento luminiscente con fotones gamma de esta energía.

Ionoluminescence evaluation of thin layers excited with 1.25 MeV gamma photons. In the ICMSE (Institute of Materials Science of Seville) are being developed based on luminescent layers formed by an array of chemically robust and resistant oxide materials and doping with  $\text{Eu}^{3+}$  cations.

Throughout the year 2013 were held on the premises of CNA measures ionoluminescence of thin layers with different compositions ( $\text{ZnO}/\text{SiO}_2:\text{Eu}:\text{Tb}$ ). The necessary adaptation for conducting ionoluminescence measures (adaptation of the irradiation chamber, optical characterization) was carried out by our group. The results have been very promising, thus confirming that the active layers have proven levels of observable luminescence when it is excited by protons or alpha particles between 0.5 and 3 MeV). With the study in RADLAB, we continue the studies initiated. In this case it was intended to extend the range of possible use of ionizing radiation sensors developed for medical applications, in particular for use as radiation detectors in medical rooms. This work is part of excellence in project LUMEN (TEP08067) recently granted.

To perform the tests was necessary to use a video camera system that allowed observe the samples at all times from the control room of the laboratory. After performing two irradiations with a rate of 12.6 Gy (Si)/h each to accumulate about 1 Gy, it was found that these materials do not have luminescent behavior for these energy gamma photons.

Mecanismos de daño por radiación en materiales de auto-recuperación. Cu/Nb, W/Ti y otras aleaciones nano laminadas y nano estructuradas representan un tipo de materiales prometedores para su uso en entornos de fusión y de fisión. Sus características les permiten permanecer estables y absorber los defectos, incluso bajo una intensa irradiación. Esta estructura laminada actúa como un fuerte sumidero de defectos producidos durante la irradiación, como vacantes y átomos intersticiales. Este comportamiento de “auto reparación” podría utilizarse para aumentar la vida útil de los materiales de los reactores que actualmente experimentan endurecimiento y fragilidad debido a daño por radiación. Por otro lado, los nano laminados de Cu/Nb y W/Ti producidos por deposición química o de vapor tienen sólo unos pocos cientos de nm de espesor. Por lo tanto, se han propuesto otros métodos para la generación de nano compuestos a escalas mayores. El Grupo de investigación en Materiales Avanzados, Tecnología Nuclear y Nanotecnología aplicada de la Universidad de Burgos, está estudiando si estos materiales compuestos comparten la misma resistencia al daño por radiación, información que podría resultar muy valiosa tanto a nivel científico como industrial.

Con esta campaña de irradiación, que tuvo una duración de 2 meses, aproximadamente, se pretendía estudiar el comportamiento de estas aleaciones bajo la irradiación con gammas. Se llevó a cabo la irradiación de 6 muestras de aleaciones diferentes, todas irradiadas a muy alta tasa (400 Gy/h) hasta alcanzar dosis acumuladas de 500 kGy. Estas muestras fueron colocadas en un soporte específico

formado por dos láminas de PMMA de 0,5 cm de espesor cada una. Se hicieron rebajes individuales en el PMM, de forma que cada muestra conservase su posición durante la irradiación y además se alcanzase el equilibrio electrónico. Como la dosis requerida era muy alta, las muestras fueron colocadas directamente a la salida del cabezal. Se seleccionó un tamaño de campo máximo en el colimador con el que se conseguía una uniformidad en cada muestra igual o superior al 99%. Por motivos de confidencialidad con el cliente, no se pueden aportar más datos procedentes de los análisis posteriores de las muestras realizados por el usuario.

*Radiation damage mechanisms in self-healing materials. Cu/Nb, W/Ti and other nano-laminate and nano-structured immiscible alloys represent a promising class of materials for use in fusion and fission environments. Its features allow them to remain stable and absorb defects, even under intense irradiation. This interfacial structure acts as a strong sink for defects produced during irradiation, such as vacancies and self-interstitial atoms. This "self-healing" behavior could be used to increase the lifetime of reactor materials that currently experience hardening and embrittlement due to radiation damage. On the other hand, Cu/Nb and W/Ti nano-laminates produced by chemical or vapour deposition are generally only a few hundred nm thick. Therefore, other methods for generating nano-composites at bulk scales have been proposed. The research group on Advanced Materials, Nuclear Technology and Applied Nanotechnology of the University of Burgos is studying if these composite materials share the same resistance to radiation damage. The information could provide both valuable scientific and industrial knowledge.*

*With this campaign irradiation, which lasted approximately two months, was intended to study the behavior of these alloys under irradiation with gamma. Six different alloy samples were irradiated, all at a very high rate (400 Gy/h) until total dose of 500 kGy. These samples have been placed into a specific holder based in a sandwich made with two sheets of PMMA of 0.5 cm thick each. An individual recess was made in the PMMA so that samples remain in a fixed position during the irradiation, and the material is also used as build-up layer. As the dose rate required was as high as possible, the sample holder was placed directly ahead the beam. The maximum field in the collimator was selected, so that more than 99% of field uniformity is ensured into the area occupied by the samples. For reasons of customer confidentiality, no details are provided from subsequent analyzes of the samples carried out by the user.*

#### **4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage**

En Patrimonio Cultural es muy interesante poder analizar muestras con estructuras de capas de forma no destructiva y sin necesidad de hacer secciones.

Algunas de las técnicas IBA utilizadas en el CNA pueden aportar estimaciones del espesor y composición de capas superficiales, por lo que son adecuadas para aplicarlas al estudio de dorados, enriquecimientos, etc.



*In the field of Cultural Heritage the possibility to analyze layered samples in a non-destructive way and without making cross sections on the samples is very interesting. Some of the IBA techniques used at the CNA can estimate the thickness and composition of surface layers, so they can be adequate for the study of layer enrichments, gildings, etc.*

**Análisis de monedas de plata.** Un conjunto de monedas de plata encontradas en Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real) y depositadas en el IAPH (Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico) han sido analizadas mediante XRF con un equipo portátil. La mayor parte del material lo constituye divisores ibéricos de imitación emporitana. Se ha comparado este grupo de material numismático, cuya producción no está clara, con ejemplares coetáneos de otras cecas, en concreto de Arse.

En todo el conjunto analizado se destaca la utilización de una plata de más de un 97% de pureza, con cantidades de cobre por debajo del 3% lo que nos indicaría que no ha sido intencionadamente añadido a la aleación. Las concentraciones de plomo no superan el 1%, por tanto, se deduce que poseían un alto nivel tecnológico en el proceso de extracción de la plata.

La comparación del conjunto de los divisores con las monedas de Arse nos indicaría que los primeros son más parecidos en composición a las monedas del grupo III del periodo I.



Figura 4.10: Monedas de plata / Silver coins

***Silver coins analysis.** A group of silver coins found in Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real) and deposited at the IAPH (Andalusian Institute of Historic Patrimony) have been analysed by XRF using portable equipment. Most of the material belongs to Iberic divisors of Ampurias imitation. This numismatic group, whose provenience is not quite clear, was compared to other contemporary coins from other places, for example Arse.*

*The entire set is characterized by the use of silver of more than 97% purity, with copper quantities lower than 3%, which indicates that it was not intentionally added to the alloy. Lead concentrations do not overcome 1%, which is why we can deduce that the culture manipulated high technological level of the silver extraction process. The comparison of this set with the coins from Arse indicates that the first ones are closer to the coins group III of the period I according to their composition.*

Análisis de vidrios. Otros materiales estudiados con frecuencia en el CNA son los vidrios. Estos materiales, difíciles de medir por otras técnicas por la dificultad de tomar pequeñas muestras, se benefician del carácter no destructivo de las técnicas IBA.

Como Trabajo de Fin de Máster (Máster Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico, Universidad Pablo Olavide), se han analizado un conjunto de muestras de vidrio pertenecientes a diferentes yacimientos arqueológicos (Écija, Carmona e Itálica) con el fin de cuantificar los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, para evaluar su naturaleza y comparar con otras muestras a través de la literatura.

*Glass analysis. Archaeological glasses are other frequently studied materials at CNA. This type of objects, difficult to characterize by other techniques because of the impossibility of taking samples, take advantage of IBA techniques because of their non-destructive character.*

*As the final work of Master's Degree in Conservation State of Cultural Heritage, (University Pablo Olavide) a set of glass samples from different archeologic sites (Écija, Carmona and Itálica) were analyzed. The objective was to quantify mayor, minor and trace elements, in order to evaluate their nature and compare them to other samples found in bibliography.*

Análisis de huesos subfósiles. Las técnicas físico-químicas junto con el estudio del ADN están aportando nuevas perspectivas a los análisis paleobiológicos llegando a describir patrones de domesticación, de migración, de contaminación ambiental, etc. A partir del estudio de elementos trazas se podrá conocer los contaminantes ambientales a los que se han sido expuestos los huesos. Para ello se están desarrollando un protocolo de preparación de muestras las cuales han sido analizadas mediante la técnica PIXE.

*Analysis of subfossil bones. Physical and chemical techniques, together with DNA tests, are offering new perspectives for paleo-biological analysis, discovering patterns of domestication, migration, environmental pollution etc. From the study of trace elements it is possible to know environmental pollutants to which the bones were exposed. For this, a special protocol for preparation of samples, which were studied by PIXE technique, is being developed.*

Estudio de obras de arte pictóricas. El análisis de obras de arte pictóricas puede darnos información sobre los pigmentos, los soportes empleados por los autores, la composición y la secuencia de las capas pictóricas, la forma de pintar e incluso sobre los trabajos preparatorios, como el dibujo subyacente.

Últimamente se suele emplear, sobre todo, técnicas no invasivas de análisis, que permiten obtener resultados sin extraer muestras y por lo tanto no tocar las obras. La mayoría de estos equipos también son portátiles, por lo que se pueden emplear "in situ", directamente en las salas de exposición o en los talleres de restauración.

En nuestro grupo colaboramos con el Museo de Bellas Artes, la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Sevilla, la Archidiócesis y la Catedral de Sevilla, así como con el grupo interdisciplinar de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), compuesto por los expertos del Instituto de Investigaciones Estéticas (IIE-UNAM) y del Instituto de Física (IFUNAM).

En los últimos dos años, nuestro estudio se ha centrado sobre todo en las obras de Alonso Vázquez, pintor sevillano que a principios del siglo XVII migró a Méjico. El principal interés fue estudiar las obras conocidas y atribuidas a él tanto en Sevilla como en Méjico, para ver si cambió su técnica o su paleta, además de confirmar/rechazar autoría de las obras no firmadas.



Figura 4.11: Obras de arte / Artworks. Estudio por IRR y XRF.

Con este fin se estudió varias obras de Vázquez en el Museo de Bellas Artes y en la Catedral de Sevilla, así como en el Museo Nacional Histórico de México en el Castillo de Chapultepec y en la Catedral Metropolitana de la Ciudad de Méjico. Para el estudio se siguió el mismo procedimiento para poder comparar los resultados. Primero se documentó todos los cuadros con fotografía (micro y macro). Se analizó los cuadros con la luz UV para observar intervenciones posteriores, se procedió con la reflectografía infrarroja (IRR) para descubrir posibles dibujos preparatorios, subyacentes a las capas pictóricas, y se terminó con fluorescencia de Rayos-X (XRF) para identificar materiales inorgánicos (pigmentos, preparaciones, imprimaciones) empleados en las pinturas. XRF ofrece resultados elementales, es decir, nos informa de

los elementos químicos presentes en el punto irradiado. En el caso de las obras en Méjico se pudo extraer algunas muestras de capas pictóricas y hacer radiografía, mientras que en el Museo de Bellas Artes se empleó “in situ”, por primera vez en el mundo, la técnica no destructiva de  $\mu$ XRF confocal (CXRF), que permite identificar materiales inorgánicos en diferentes capas pictóricas. Con el fin de este estudio internacional, los miembros del grupo de investigación mejicano vinieron dos veces a Sevilla, igual que los miembros de nuestro grupo se desplazaron a la Ciudad de Méjico. El análisis confirmó la autoría de la mayoría de las obras estudiadas, sin embargo una de ellas muestra diferencias claras con la técnica y la paleta del pintor, por lo tanto se descartó que fuese realizada por Vázquez.

Además de este estudio, se siguió analizando obras de otros pintores cuyos cuadros se encuentran en el Museo de Bellas Artes (Martín de Vos, Cristóbal de Morales, varios anónimos...), usando UV, IRR y XRF. Además empezamos la colaboración con la Archidiócesis de Sevilla, con el estudio de primeras obras del Palacio Arzobispal de Matías de Arteaga, en estrecha colaboración con la restauradora.

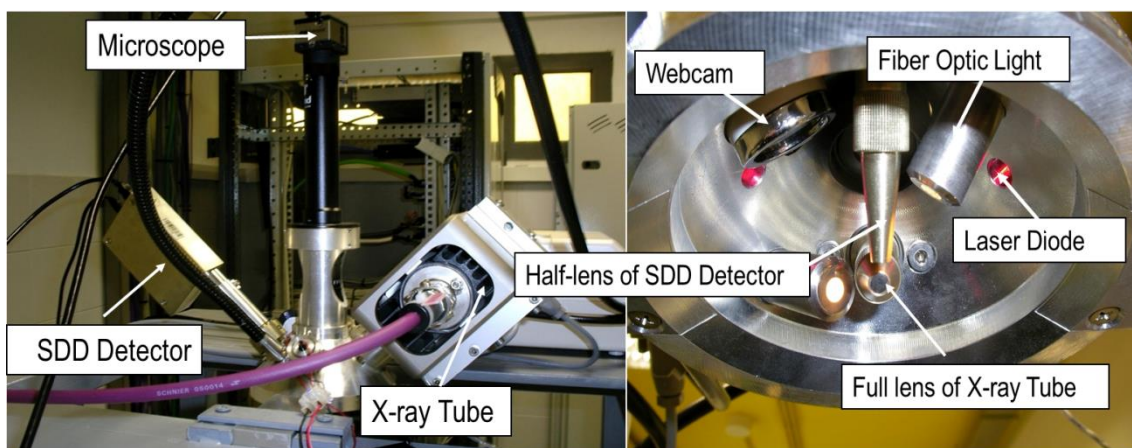


Figura 4.12: Equipo de  $\mu$ XRF confocal / Confocal  $\mu$ XRF

En paralelo con los estudios de obras artísticas, se van desarrollando nuevos equipos. Así se consiguió la puesta en marcha del equipo XRF llamado X-Panda, además se está trabajando intensamente en el dispositivo de microfluorescencia confocal llamado  $\mu$ XRF-Concha que ya se usó, por primera vez, “in situ” después de varios estudios en el laboratorio, utilizando muestras de pintura sobre tabla, preparadas siguiendo las recetas del siglo XVI. Los primeros resultados ya mostraron que con esta técnica se puede distinguir, en la mayoría de los casos, las capas pictóricas sin tener que acudir a las micromuestras y sus secciones estratigráficas. Para las obras de mayor tamaño o las que se encuentran en una posición alta, empezamos a emplear una plataforma automatizada que permite acceder hasta 5 metros de altura. Toda la información obtenida ofrecerá una imagen bastante completa de las obras de arte seleccionadas, lo cual constituye el principal objetivo del grupo.

*Analysis of artworks. It can offer information on pigments and supports applied by the authors, on composition and sequence of colour layers, on the way of painting and even on preparatory procedures as under-paintings.*

*Lately, non-invasive analytical techniques are generally used, which offer results without the necessity of sample extraction; therefore the artwork does not have to be touched in any way. The majority of this kind of equipment is also portable, so they can be used in situ, directly in the exhibition rooms and restoration workshops.*

*Our group collaborates with the Fine Arts Museum, Faculty of Fine Arts in Seville, Archbishop and the Cathedral of Seville, as well as with the interdisciplinary group of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) composed by experts of the Institute of Aesthetic Research (IIE-UNAM) and of the Institute of Physics (IFUNAM).*

*In the last years, our research work was dedicated especially to the artworks of Alonso Vázquez, Seville's painter who at the beginning of the 17<sup>th</sup> century moved to Mexico. The principal interest was to study known and attributed artworks in Seville and in Mexico, in order to see if his painting technique or palette has changed, besides to confirm/reject the authorship of those paintings that are not signed.*

*With this purpose several Vázquez's works were studied in the Fine Arts Museum and the Cathedral of Seville, as well as in the National Historical Museum of Mexico in the Castle of Chapultepec and in the Metropolitan Cathedral in Mexico City. For the study, the same procedure has been followed, in order to compare the results. First, all paintings were documented by digital photography (micro and macro). Next, paintings were analyzed with UV light to see later interventions, and with infrared reflectography (IRR) to discover possible preparatory drawings, found always under colour layers. The final step was X-Ray fluorescence (XRF) to identify inorganic materials (pigments, preparations, priming) applied in the paintings. XRF offers elemental results, which means that it gives information about chemical elements present in the irradiated point. In the case of Mexican works, it was possible to extract samples of colour layers and to make radiographies, while in the Fine Arts Museum of Seville for the first time in the world, the non-destructive technique of confocal  $\mu$ XRF was applied. It allows identification of inorganic materials in different colour layers. With the objective of this interdisciplinary research, members of the Mexican research group came to Seville, while members of our group also visited Mexico City in order to study the works there. The analysis confirmed the authorship of most of the paintings, however, one of them shows clear differences in technique and palette, which is why it was probably not carried out by Vázquez.*

*Besides this research, we continued analyzing works by other artists whose paintings can be found in the Fine Arts Museum of Seville (Martín de Vos, Cristóbal de Morales, several anonymous artists...), using UV, IRR and XRF. We also started a collaboration with the Archdiocese of Seville with first studies carried out in the Archbishops palace on paintings by Matías de Arteaga, in close collaboration with the restorer.*

*In parallel with the study of artworks, new equipments are being developed. It was possible to start using the XRF equipment called X-Panda, besides there is an intense work in progress for the confocal microfluorescence setup called  $\mu$ XRF Concha which has been used, for the first time in situ, after many studies in the laboratory, using samples of panel painting, prepared by 16<sup>th</sup> century recipes. The first results already showed that this technique can distinguish among different colour layers without the necessity to extract micro-samples and prepare cross-sections. For artworks of larger dimensions or those that are placed high above, we started to use an automated platform that allows the access up to 5 meters high. All the information obtained will offer a complex image of selected artworks, which is the principal objective of our group.*

---

## 4.2 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physic Research Unit

---

La investigación del grupo de Física Nuclear Básica está orientada al desarrollo de las capacidades del Centro Nacional de Aceleradores en Física y Tecnología Nuclear, en colaboración con instalaciones internacionales. Las principales líneas de investigación son las siguientes:

*The research of the group is focused on developing the capabilities of the Centro Nacional de Aceleradores in nuclear physics and nuclear technologies, in close collaboration with international large scale facilities. The main research lines are the following:*

### 4.2.1 Desarrollo de detectores y electrónica asociada para el trazado de haces de núcleos exóticos / Novel detector development for beam tracking of exotic nuclei

Las nuevas instalaciones que se están construyendo en Europa para la producción de núcleos exóticos tales como SPIRAL-2 y FAIR, prevén la producción de haces muy exóticos. Estos haces presentarán una resolución angular y energética muy pobre para las necesidades en espectroscopía nuclear, debido a los métodos de producción. Es necesario el uso de detectores para el trazado del haz, que nos permitirán obtener la posición y la señal temporal de los haces exóticos, núcleo a núcleo, sin provocar una perturbación significativa en el haz. Diferentes tipos de detectores se han utilizado con este propósito. El interés científico de nuestro grupo, nos lleva a investigar las distintas opciones para el trazado de haces de núcleos exóticos de baja energía (unos pocos MeV por nucleón). Para este caso, una buena opción son los Detectores de electrones Secundarios (SeD). Cuando un ión pasa a través de una fina hoja emisora (0.9  $\mu\text{m}$  de mylar aluminizado), algunos electrones salen de ella, sin afectar al ión. Estos electrones son entonces acelerados y focalizados gracias a un campo eléctrico y magnético, hacia un detector que se localiza fuera de la línea del haz y que presenta una muy buena resolución temporal y espacial. En el caso del grupo FNB, durante los últimos años, nos hemos involucrado en el estudio y producción de distintos prototipos SED (detectores de baja presión) en colaboración con los grupos de GANIL y Saclay. Se ha equipado la cámara de trazado del CNA, se ha desarrollado electrónica específica para el SeD, el preamplificador SEDA y se han estudiado el comportamiento de diferentes prototipos mini-SeD.

*The new facilities planned for the production of exotic nuclei in Europe, SPIRAL-2 and FAIR, foresee the production of beams of very exotic nuclei. However, the characteristics of these beams are such that angular and energy resolution will be poor, for the requirements of nuclear spectroscopy. It is necessary to use beam tracking detectors that will get the position and time signal of the exotic beam, one nuclei by one, without affecting significantly the beam. Several detector technologies have been applied for this purpose, which depend on the properties, mostly on the scattering energy, of the beam. The scientific interest of the group let us to investigate the beam*

*tracking options for the very difficult case of low energy (a few MeV per nucleon) exotic beams. For this case, a convenient option is the Secondary Emission Detectors (SeD), which are based on the fact that when the ions pass through a very thin emissive foil (0.9  $\mu\text{m}$  aluminized mylar foil), some electrons are ejected, without affecting the ion. These electrons are then accelerated and focused thanks to an electric and magnetic fields, towards a detector with a very good spatial and time resolution, placed out of the beam. In the case of the CNA group, during the last few years, we have been involved in the production and study of SeD prototypes (low pressure gaseous detectors), in very close collaboration with groups at Saclay and Ganil. We have produced and equipped a Tracking Chamber at CNA, have developed specific electronics for the SeD, and have studied the behavior of different mini-SeD prototypes.*

#### 4.2.2 Estudio de núcleos exóticos / Study of exotic nuclei

La motivación de nuestro grupo por el desarrollo de instrumentación para el trazado de haces, viene de nuestro interés científico por el estudio de los núcleos exóticos. Los núcleos exóticos tienen más protones o neutrones que los núcleos estables, y este hecho afecta fuertemente a sus propiedades. Hemos investigado la mayoría de núcleos estables ricos en neutrones, los cuales forman estructuras en las que uno o dos neutrones están débilmente ligados, y por tanto presentan una densidad neutrónica difusa. Son los llamados “núcleos halo”. Algunos ejemplos de estos núcleos son  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$  y  ${}^{11}\text{Be}$ . En particular hemos estudiado el efecto de la fuerza Coulombiana Dipolar. Se conoce como “Polarizabilidad Dipolar”. Durante los últimos 20 años, hemos estudiado teóricamente este efecto en la dispersión de los núcleos halo. Al mejorar las instalaciones que proporcionan haces exóticos, fue posible, en colaboración con el IEM-CSIC y la Universidad de Huelva, proponer, planificar y desarrollar experimentos donde diferentes núcleos exóticos fueron dispersados por blancos pesados, a energías en torno a la barrera de Coulomb. Recientemente se ha realizado, analizado e interpretado teóricamente el canal elástico y de ruptura de la reacción  ${}^{11}\text{Li}+{}^{208}\text{Pb}$ . Cabe destacar como en el centenario del descubrimiento del núcleo por Rutherford, encontramos como el  ${}^{11}\text{Li}$ , incluso por debajo de la barrera, se desvía fuertemente de la ley de la sección eficaz de Rutherford. En el CNA hemos analizado mediante RBS el blanco que se ha empleado en el último experimento realizado para estudiar el núcleo  ${}^{11}\text{Be}$ . Se ha estudiado la composición, espesor y homogeneidad del blanco, datos fundamentales para una correcta interpretación de los resultados experimentales obtenidos.

*The motivation of our group for developing beam tracking instrumentation comes from our scientific interest in the study of exotic nuclei. Exotic nuclei have more protons or neutrons than stable nuclei, and this affects strongly its properties. We have investigated the most neutron rich nuclei, which form structures in which the last one or two neutrons are very weakly bound, and so they have a very diffuse neutron density. Hence, they are called “halo nuclei”. Examples of these nuclei are  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$  and  ${}^{11}\text{Be}$ . We have, in particular, studied the effect of the Dipole Coulomb force on these nuclei. This is known as “Dipole Polarizability”. During the last 20 years, we have investigated theoretically, the effect of the dipole polarizability on the scattering of*



*halo nuclei. As exotic beam facilities improved, we were able, in close collaboration with the IEM-CSIC and the University of Huelva, to propose, plan and perform experiments in which different exotic nuclei were scattered from very heavy targets, at energies around the Coulomb barrier. Very recently we performed, analyzed, and interpreted theoretically the reaction  $^{11}\text{Li}+^{208}\text{Pb}$  both in the elastic channel and in the break-up channel. It was remarkable to see how, in the centennial of the discovery of the nucleus by Rutherford, we found that  $^{11}\text{Li}$ , even below the barrier, deviated strongly from the Rutherford cross section law. At the CNA, it was analyzed by RBS technique the target that was employed in last experiment performed to study the  $^{11}\text{Be}$  nuclei. It was studied the composition, thickness and homogeneity of the target. This information is necessary to analyze in a correct way the experimental data obtained.*

#### **4.2.3 Nuevo sistema de detección para la verificación de tratamientos complejos de radioterapia con fotones / Novel detection system for verification of complex radiotherapy treatments with photons**

El aumento en la complejidad de los tratamientos de radioterapia hace necesarios nuevos sistemas para verificar que el proceso planeado coincide con el tratamiento que debe ser aplicado al paciente. En este contexto, nuestro grupo ha participado en los proyectos RADIA y RADIA2, “Diseño y desarrollo de un sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)”, una colaboración entre la Universidad de Sevilla (Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear y Departamento de Ingeniería Electrónica), la compañía Inabensa del grupo Abengoa, el Centro Nacional de Aceleradores y el Hospital Universitario Virgen Macarena. Fruto de esta colaboración, se ha desarrollado y caracterizado un primer prototipo para obtener mapas de dosis para verificación de tratamientos complejos, basado en un detector comercial de tiras de silicio segmentado por una cara (SSSSD), un maniquí plano y uno cilíndrico, y una electrónica específica para el control y adquisición de datos. En la actualidad estamos trabajando en un nuevo prototipo que incluye las siguientes mejoras: a) un nuevo detector que presenta una configuración especial diseñada y fabricada siguiendo nuestros requerimientos para verificación de tratamientos de radioterapia; consta de dos SSSSDs de 32 tiras, cuyas tiras son perpendiculares entre sí, y se han usado materiales cuyas densidades se acercan en lo posible a la densidad del agua; b) una nueva electrónica más sensible y un nuevo software para el control de la rotación del maniquí y para la adquisición y análisis de datos; c) un nuevo maniquí cilíndrico, más versátil que el anterior y con mejor control de la posición angular; d) un nuevo algoritmo de reconstrucción para obtener mapas de dosis.

*The increasing complexity of radiotherapy treatments demands new, reliable systems to verify that the planned process coincides with the real treatment that should be applied to the patient. In this context, our group has participated in the projects RADIA and RADIA2, “Diseño y desarrollo de un sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)”, a collaboration involving the University of Seville (Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics and Department of Electronical Engineering), the company Inabensa of*

*Abengoa group, the National Accelerator Centre (CNA) and the Virgen Macarena University Hospital. Within this collaboration we have developed and fully characterized a first prototype to obtain dose maps for complex treatment verification, based on a commercial single sided silicon strip detector (SSSSD, with 16 strips), a slab and a cylindrical phantom, and specific electronics for control and data acquisition. Presently we are working on a new prototype, with these improvements: a) new detector, featuring a special configuration designed and built according to our requirements for radiotherapy treatment verification, consisting of two 32-strip SSSSDs, with detector strips perpendicular to each other, and using materials with densities as close as possible to water density; b) new, more sensitive electronics and software for phantom rotation control and for data acquisition and analysis; c) new cylindrical phantom, more versatile than the previous one and with a better control of angular position; d) new reconstruction algorithm to obtain the dose maps.*

#### **4.2.4 Estudio de los efectos radiobiológicos de los protones y partículas alfa utilizando las instalaciones del CNA / Study of radiobiological effects of protons and alpha particles using CNA facilities**

En radiobiología, el daño relativo causado por diferentes tipos de radiación sobre las mismas entidades vivas se representa por la Eficacia Biológica Relativa (RBE). Para partículas cargadas como los protones, la RBE debería ser máxima a energías en torno al pico de Bragg, donde se transfiere la mayor parte de la energía al medio. El Acelerador Tándem de 3 MV del CNA proporciona protones con dichas energías, permitiendo estudiar este efecto. Otro tema interesante es el fenómeno de “hiper-radiosensibilidad a bajas dosis (LDHRS)” estudiado por el grupo de Damian Guirado, Anonio Lallena et al. (Universidad y Hospital San Cecilio de Granada), para muestras de la línea MCF-7 de células de cáncer de mama irradiadas por fotones. Es interesante continuar estos estudios con haces de partículas cargadas, como por ejemplo protones, para estudiar cómo depende la LDHRS del tipo de radiación, en particular de su transferencia lineal de energía (LET).

Con la idea de estudiar los efectos de irradiar diferentes células con protones en el CNA, estamos colaborado con grupos del Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Sevilla, de la Universidad de Granada y del Hospital S. Cecilio de Granada; y con la importante participación del Dr. Dieter Schardt (GSI-Darmstadt, Alemania), un destacado investigador en este campo. Se ha modificado la línea de Física Nuclear Básica del Acelerador Tándem de 3 MV, para poder irradiar muestras de células en aire con una intensidad homogénea sobre toda la muestra. Dichas modificaciones incluyen la instalación de un colimador con una lámina dispersora, una ventana fina de kapton al final de la línea y una válvula rápida de cierre. En las medidas experimentales, se utilizan películas radiocrómicas para monitorizar la homogeneidad de la intensidad del haz; se emplea una cámara de ionización de transmisión para obtener la dosis absorbida por las células; y la energía de los protones en la posición de las muestras se mide con un detector de silicio (PIPS). Hemos realizado las primeras irradiaciones de células MCF-7 y el análisis del daño producido en el ADN está en proceso.

*In radiobiology, the relative damage caused by different kinds of radiation on the same living entities is represented by the Relative Biological Effectiveness (RBE). For charged particles such as protons, the RBE should be maximum at energies in the Bragg peak, where most of the energy is transferred to the absorbing medium. The 3 MV Tandem at CNA provides protons with such energies, allowing to study this effect. Another interesting subject is the “low-dose hyper-radiosensitivity (LDHRS)” phenomenon, studied by the group of Damian Guirado, Antonio Lallena et al. (University and San Cecilio Hospital of Granada) on samples of cells of the MCF-7 breast cancer cell line, irradiated by MV photons. It is interesting to continue these studies with beams of charged particles, such as protons, in order to study the dependence of LDHRS on the type of radiation, in particular on its linear energy transfer (LET).*

*In order to study effects of irradiating different cells with protons at CNA, we are collaborating with groups of Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics of University of Seville, and of Granada (University of Granada and San Cecilio Hospital); and with the important participation of Dr. Dieter Schardt (GSI-Darmstadt, Germany), an outstanding researcher in this field. We have modified the basic nuclear physics beam line at the 3 MV Tandem, in order to irradiate cell samples outside vacuum with homogenous intensity in the whole sample. Such modifications include mounting a collimator and dispersive foil, a thin window at the end of the beamline, and a fast-closing valve. In the experimental measurements, radiochromic film is used to motorize intensity homogeneity; a transmission ionization chamber is used to obtain the dose delivered to the cells; and the proton energy at the sample positions is measured with silicon PIPS detectors. We have performed the first irradiations of MCF-7 cells, and the analysis of the DNA damage is underway.*

#### **4.2.5 Física experimental de neutrones y terapia por captura neutrónica / Experimental neutron physics and neutron capture therapy**

La física experimental de neutrones juega un papel fundamental en numerosos campos tales como la física de materiales, tecnología nuclear, imagen y física médica. Los haces de neutrones epitérmicos (5-500 keV) son fundamentales en astrofísica, tecnología nuclear y terapia contra el cáncer por captura neutrónica; los haces de neutrones rápidos (> 0.5 MeV) son fundamentales en tecnología nuclear, producción de radioisótopos y dosimetría espacial. En los últimos años la unidad de investigación de Física Nuclear Básica del CNA ha desarrollado la primera fuente de neutrones en España basada en un acelerador, llamada HiSPANoS (HISPAlis NeutrOn Source). El primer caso físico se centró en la producción de un haz epitérmico para estudios de astrofísica nuclear y tecnología nuclear. Se utilizó un método innovador para la producción de un espectro maxwelliano a  $kT = 30$  keV. La primera medida realizada en el CNA de la sección eficaz de captura neutrónica se ha publicado recientemente. Consistió en la Sección Eficaz Maxwelliana promediada (MACS) de  $Ta(n,\gamma)$  a  $kT = 30$  keV que es de interés en Astrofísica y Tecnología Nuclear. Los espectros de neutrones maxwellianos son fundamentales en Astrofísica debido a que los neutrones que participaron en la nucleosíntesis estelar de los elementos en el Universo siguen una distribución de velocidades de Maxwell-Boltzmann, con un rango de  $kT$  desde 5 a 120

keV. Además de esto, los haces de neutrones de alto flujo desde 10 a 100 keV se consideran la mejor opción para la terapia contra el cáncer por captura neutrónica basada en aceleradores.

La terapia por captura neutrónica (NCT) es una terapia binaria que se puede considerar como una hadronterapia interna. En primer lugar un elemento que será el blanco es depositado de manera selectiva en las células tumorales. En segundo lugar, el área tumoral es irradiada con neutrones. El haz de neutrones tiene que llegar al tumor con una energía para la que el blanco tenga la máxima probabilidad de experimentar una reacción que produzca iones con una alta transferencia lineal de energía (LET). En todos los tratamientos NCT, se ha usado como blanco B-10 y los haces de neutrones se han producido utilizando reactores nucleares. La sección eficaz de la reacción  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  a energías térmicas de los neutrones (MeV y eV) es muy alta ( $\sim 3600$  barn) y los productos de la reacción depositan una gran cantidad de energía en los tejidos ( $Q = 2.79$  MeV) en un rango muy pequeño (menor que el diámetro de una célula). Además, las partículas alfa y el  $^7\text{Li}$  tienen una mayor efectividad biológica que los fotones o electrones, que son los proyectiles en la radioterapia convencional. Los resultados de los ensayos clínicos son prometedores y estimulan una mayor investigación tanto básica como aplicada. En los próximos años, las mejoras que se esperan en la NCT serán debidas a la investigación en: nuevas fuentes de neutrones basadas en aceleradores (que permitirían instalaciones de NCT en hospitales), nuevos compuestos de boro para un consumo del tumor más selectivo, nuevos datos nucleares para una mejor dosimetría y planificación del tratamiento incluyendo datos de estudios radiobiológicos, y nuevos capturadores de neutrones para mejorar la NCT con Boro (BNCT). Nuestro grupo tiene experiencia en simulaciones Monte Carlo, experimentos de activación de neutrones y tiempo de vuelo, diseño de montaje experimental y análisis de datos, que durante este último año se puede resumir brevemente: mejora del sistema dosimétrico para NCT, véase I. Porrás, J. Praena, et al., Nuclear Data Sheets 120 (2014) 246-248; estudio teórico de un nuevo capturador ( $^{33}\text{S}$ ) para NCT, véase J. Praena et al., Appl. Radiat. and Isot. 88 (2014) 203-205. Cabe destacar que una propuesta experimental para medir la sección eficaz de la reacción  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$  fue aprobada por el Committee del CERN como una nueva posibilidad en la NCT, véase J. Praena, et al., CERN-INTC-2012-006/INTC-P-322. Este experimento ha sido recientemente conducido por J. Praena. Además de esto, un experimento propuesto por J. Praena ha sido recientemente aprobado en el ILL-Neutron for Science (Grenoble, France), se han concedido cinco días de haz en el PF1B para la medida  $^{33}\text{S}(n,\alpha)$  a energía del térmico de interés en terapia por captura (Scientific council 10/2014, propuesta número 3-07-359).

*Experimental neutron physics plays a fundamental role in many fields such as material physics, nuclear technology, astrophysics, imaging and medical physics. Epithermal neutron beams (5-500 keV) are fundamental in astrophysics, nuclear technology and neutron capture therapy of cancer; fast neutron beams ( $> 0.5$  MeV) are fundamental in nuclear technology, radioisotope production and space dosimetry. In the last years, the Basic Nuclear Physics Research Unit of CNA has developed the first accelerator-based*

neutron source in Spain, called HiSPANoS (HISPALis NeutrOn Source). The first physics case was focused on the production of an epithermal neutron beam for nuclear astrophysics and nuclear technology studies. An innovative method for the production of maxwellian neutron spectra at  $kT = 30$  keV was used (Praena 2009). The first measurement performed at CNA of a neutron capture cross-section has been recently published (Praena 2013). It consisted of the Maxwellian Averaged Cross Section (MACS) of  $Ta(n,\gamma)$  at  $kT = 30$  keV being of interest in nuclear astrophysics and nuclear technology. Maxwellian neutron spectra are fundamental in astrophysics since the neutrons involved on the stellar nucleosynthesis of the elements in the Universe follow a Maxwell-Boltzmann distribution of the velocities, with  $kT$  ranging from 5 to 120 keV. In addition to this, high-flux neutron beams from 10 to 100 keV are considered the best option for the accelerator-based neutron capture therapy of cancer.

Neutron capture therapy (NCT) is a binary therapy that can be considered an internal hadrontherapy. First, a target element is selectively deposited in the tumour cells. Second, the tumour area is irradiated with neutrons. The neutron beam has to reach the tumour with the energy for which the target has the maximum probability to undergo in a reaction producing ions with a high linear energy transfer. In all NCT treatments, B-10 has been used as target, and neutron beams have been delivered by nuclear reactors. The cross-section of the  $^{10}B(n,\alpha)^7Li$  reaction at thermal neutron energies (MeV and eV) is very high ( $\sim 3600$  barn) and the products of the reaction deposit a huge energy in tissue ( $Q = 2.79$  MeV) in a very short range (less than the a cell diameter). In addition to this, alpha and  $^7Li$  have a greater biological effectiveness than photons or electrons, the projectiles of the conventional radiotherapy. The results of clinical trials are promising and stimulate further research, both basic and applied. In the immediate forthcoming years, improvements of NCT can be expected from the research in: new accelerated-based neutron sources (which would allow in-hospital NCT facilities), new boron compounds for more selective tumor uptake, new nuclear data for a better dosimetry and treatment planning including data from radiobiology studies, and new neutron capturers for enhancing the Boron NCT (BNCT). Our groups has expertise in Monte Carlo simulations, neutron activation and neutron time-of-flight experiments, design of experimental setup and data analysis, that briefly summarize here: enhancement of the dosimetry system for NCT, see I. Porrás, J. Praena, et al., Nuclear Data Sheets 120 (2014) 246-248; theoretical study of a new capturer ( $^{33}S$ ) for NCT, see J. Praena et al., Appl. Radiat. and Isot. 88 (2014) 203-205. It must be stressed that an experimental proposal was approved by the CERN Committee for measuring the cross-section of the  $^{33}S(n,\alpha)$  reaction as a new possibility in NCT, see J. Praena, et al., CERN-INTC-2012-006/INTC-P-322, the experiment has been recently conducted by J. Praena. In addition to this, an experiment proposed by J. Praena has been recently approved at ILL-Neutron for Science (Grenoble, France), five days of beam time has been allocated at the instrument PF1B for the measurement of the  $^{33}S(n,\alpha)$  at thermal energy of interest in neutron capture therapy (Scientific council 10/2014, proposal number 3-07-359).

### 4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit

#### 4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy

El daño cerebral tardío secundario al vasoespasmó que se produce en la hemorragia subaracnoidea es una importante causa de morbi-mortalidad. Proponemos el uso del radiofármaco PET 1- $^{18}\text{F}$ Fluoro-3-(2-nitro-imidazol-1-il)-propan-2-ol ( $^{18}\text{F}$ MISO) para visualizar la hipoxia debida al vasoespasmó. Por otra parte, la síntesis del  $^{18}\text{F}$ MISO se puede optimizar, evitando la purificación por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), usando en su lugar cartuchos de extracción en fase sólida (SPE).

El  $^{18}\text{F}$ MISO se obtuvo por sustitución nucleofílica del precursor 1-(2'-Nitro-1'-imidazolil)-2-O-tetrahidropiranyl-3-Otoluenosulfonil-propanodiol (NITTP) con  $^{18}\text{F}^-$ , según el método de Tang et al. Adaptamos nuestro módulo TracerLab FXFN reduciendo algunos pasos de la síntesis. El  $^{18}\text{F}^-$  se obtuvo mediante bombardeo de un blanco de agua enriquecida en un ciclotrón Cyclone 18/9 MeV. La destilación azeotrópica se redujo a 5 minutos. El marcaje del precursor con  $^{18}\text{F}^-$  duró 5 minutos. La hidrólisis de los grupos protectores con HCl 1 M y posterior neutralización con NaOH 1 M duró aproximadamente 6 minutos.

La solución se purificó pasándola a través de tres cartuchos Sep-Pak conectados en serie; Alumina-SCX-C18. El producto final se eluyó con una mezcla hidroalcohólica (90/10). La síntesis completa se llevó a cabo en 21 minutos. La pureza radioquímica del  $^{18}\text{F}$ MISO (superior al 99%) se determinó mediante HPLC analítica, y el pH se comprobó antes de inyectarse la dosis a los animales.

*Difereed cerebral damage secondary to the vasospasm due to subarachnoidal hemorrhage is an important cause of morbi-mortality. We propose the use of the PET tracer 1- $^{18}\text{F}$ Fluoro-3-(2-nitro-imidazol-1-yl)-propan-2-ol ( $^{18}\text{F}$ MISO) to visualize the hypoxia caused by vasospasm. On the other hand  $^{18}\text{F}$ MISO synthesis process can be optimized, avoiding HPLC purification, with solid phase extraction cartridges (SPE).*

*$^{18}\text{F}$ MISO was obtained by nucleophilic substitution of 1-(2'-Nitro-1'-imidazolyl)-2-O-tetrahydropyranyl-3-Otoluenesulfonyl-propanediol (NITTP) precursor with  $^{18}\text{F}^-$ , following Tang et al. method. We adapted our TracerLab FXFN module reducing some synthesis steps.  $^{18}\text{F}^-$  was obtained from a 18/9 MeV Cyclone Cyclotron. Azeotropic distillation was reduced to 5 minutes. Fluorination of precursor took 5 minutes. Hydrolysis with HCl 1 M of the protective groups and later neutralization with 1 M NaOH was about 6 minutes.*

*The solution was purified passing through three Sep-Pak cartridges; Alumina-SCX-C18 connected in series. Final product was eluted in hydro-alcoholic mixture (90/10). The completed synthesis was carried out in 21 minutes. Radiochemical purity of  $^{18}\text{F}$ MISO (higher than 99%) was determined by analytical HPLC, and pH tested before injection to the animals. The synthesis steps were optimized; azeotropic distillation was completed*

*in 5 minutes and we avoided HPLC purification using the SPE instead. Total synthesis time was reduced to 21 minutes with high radiochemical yield, up to 45% without decay correction.*

Con el Centro de Isótopos y el Centro de Neurociencias de La Habana, Cuba, se han llevado a cabo marcajes radiactivos de moléculas para estudios de biodistribución a nivel cerebral de sustancias con potencial aplicación terapéutica de la Enfermedad de Alzheimer. Estas moléculas, en fase de patente en Europa (EP2436666), se unen de manera específica a la proteína  $\beta$ -amiloide, impidiendo la agregación de la misma, con lo que se evita la formación de los ovillos neurofibrilares que dan lugar a la aparición de la enfermedad años más tarde.

En el CNA se han obtenido metil-derivados de una de las molécula, sintetizados a partir de yoduro de metilo radiactivo ( $[^{11}\text{C}]\text{-MeI}$ ). Actualmente, se están llevando a cabo estudios de biodistribución en pequeños animales de experimentación, para pasar seguidamente al estudio de modelos animales modificados genéticamente que padezcan la enfermedad de Alzheimer.

Tras el desarrollo en Cuba durante dos años del precursor adecuado, se ha conseguido marcar dicha molécula mediante sustitución nucleofílica con  $[^{18}\text{F}]$ , con buen rendimiento de marcaje y pureza radioquímica superior al 99%. Se realizó un estudio de estabilidad del radiofármaco; a las 12 horas se mantuvo la pureza radioquímica por encima del 97%.

El marcaje con  $[^{18}\text{F}]$  permite estudios PET/TAC más prolongados, por la mayor semivida del  $^{18}\text{F}$  (109 minutos) frente a la del  $^{11}\text{C}$  (20.4 minutos).

*With the Isotopes Center and Neurosciences Center of La Habana, Cuba, we have developed radioactive labeling of molecules to study cerebral biodistribution of some substances with potential therapeutic treatment of Alzheimer Disease (AD). These molecules, under European patent (EP2436666), link to the amyloid protein, avoiding its aggregation in neurofibrillary tangles, which led to AD years later.*

*At CNA we have obtained methyl-derivatives of the molecule, synthesized by radioactive methylation with  $[^{11}\text{C}]\text{-MeI}$ . Currently we are performing biodistribution studies in little experimental animals in order to do further studies with mouse animal models of AD.*

*After two years developing the appropriate precursor at Cuba, we have labelled the molecule by nucleophilic substitution with  $[^{18}\text{F}]$ , getting good radiochemical yields, and radiochemical purity above 99%. We did a stability study for this radiotracer; after 12h the radiochemical purity was higher than 97%.*

*$[^{18}\text{F}]$  labeling lets longer PET/CT studies, because of the higher  $^{18}\text{F}$  half-life (109 minutes), than  $^{11}\text{C}$  half-life (20.4 minutes)*

### 4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging

$^{18}\text{F}$ FMISO-PET/CT imagen de hipoxia en ratas en modelo de hemorragia subaracnoidea. Dos ratas Wistar fueron utilizadas para obtener imágenes de  $^{18}\text{F}$ FMISO PET. 100-200  $\mu\text{L}$  de sangre obtenida de la vena de la cola fueron inyectados en la Cisterna magna para causar la hemorragia en un animal. El animal control fue inyectado con una solución salina, con el mismo procedimiento. Dos días después de las hemorragia  $^{18}\text{F}$ FMISO PET/CT estudios se realizaron en un Mosaic MicroPET (Philips) y Bioscan nanoCT escáner para estudiar la hipoxia inducida por la hemorragia. 100 MBq de  $^{18}\text{F}$ FMISO se inyectaron a cada animal en la vena dorsal de la cola. Tras de tres horas de incorporación, se adquirieron imágenes PET. La exploración por TAC se realizó inmediatamente después. Las imágenes de ambos estudios pueden superponerse, ya que los animales permanecieron inmovilizados y anestesiados durante todo el proceso.

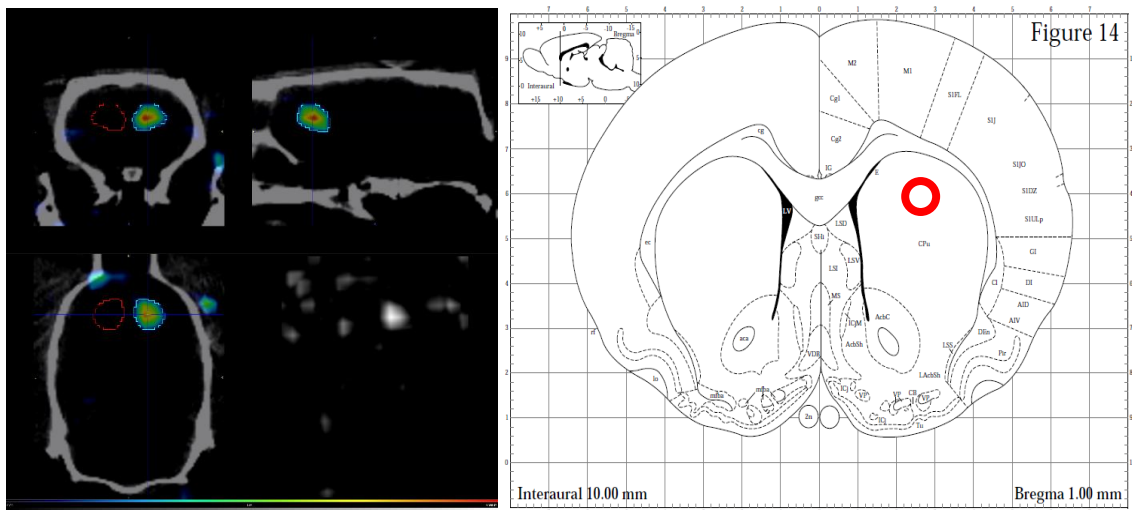


Figura 4.13: (Izquierda) Foco de la hipoxia en el estriado derecho. Máximo de SUV de 1,36 y promedio de 1,07 (zona cian). Zona contralateral tiene promedio de SUV 0,58 (zona roja). Paxinos coordenadas del máximo de la señal son laterales (derecha, X) 1,6 mm, dorsal (Y) -4,3 mm longitudinal (Z) mm 0,92 relativa a punto Bregma. Volumen 15,4  $\mu\text{L}$ . (Derecha) Paxinos rata atlas coronal diagrama correspondiente a Bregma + 1 mm / (Left) Single focus of hypoxia in the right striatum. SUV max of 1.36 and average of 1.07 (cyan zone). Contralateral zone has 0.58 SUV average (red zone). Paxinos coordinates of the maximum of the signal are lateral (right, X) 1.6 mm, dorsal (Y) -4.3 mm, longitudinal (Z) 0.92 mm relative to Bregma point. Volume 15.4  $\mu\text{L}$ . (Right) corresponding Paxinos rat atlas coronal diagram at Bregma +1 mm

$^{18}\text{F}$ FMISO-PET/CT hypoxia imaging in rat subarachnoidal hemorrhage. Two Wistar rats were used to obtain  $^{18}\text{F}$ FMISO PET images. 100-200  $\mu\text{L}$  of blood obtained from the tail vein were injected in the Cisterna magna to cause the hemorrhage in the animal. The control animal was injected with saline, with the same procedure. Two days after the hemorrhage  $^{18}\text{F}$ FMISO PET/CT studies were carried out at a Mosaic MicroPET (Philips) and Bioscan nanoCT scanner to study the hemorrhage-induced hypoxia. 100 MBq of  $^{18}\text{F}$ FMISO were injected to each animal at the dorsal tail vein. After three hours



*of incorporation, PET images were acquired. CT scan followed the PET study. Images of both studies could be overlaid, because the animals remained anesthetized and immobilized during all process.*

Criopreservación de órganos y tejidos. La crioprotección de órganos voluminosos es crucial para su almacenamiento y posterior trasplante. En este trabajo se demuestra la capacidad de la radiografía computarizada de tomografía (CT) como un método no invasivo para medir la concentración (cpa) de crioprotector dentro de un tejido u órgano, específicamente para el caso de dymethyl sulfóxido ( $\text{Me}_2\text{SO}$ ). Es notable que el uso de  $\text{Me}_2\text{SO}$  ha sido líder en técnicas de criopreservación de células y tejidos. Aunque las tecnologías CT se basan principalmente en las diferencias de densidad, y muchos cpas son alcoholes con densidades similares al agua, el uso de energías muy bajas como voltaje de aceleración ( $\sim 70$  kV) y el átomo de azufre en la molécula de  $\text{Me}_2\text{SO}$  hace posible la visualización de esta cpa dentro de los tejidos. Como resultado obtenemos una señal CT proporcional a la concentración de  $\text{Me}_2\text{SO}$  con una resolución espacial de hasta  $50 \mu\text{m}$  en el caso de nuestro dispositivo.

Con la técnica que proponemos y debido a la baja energía utilizada en este dispositivo de CT, la concentración de  $\text{Me}_2\text{SO}$  puede medirse en los tejidos y soluciones. El sistema ha demostrado ser válido para temperaturas entre  $-140$  y  $20$  °C. Las concentraciones de  $\text{Me}_2\text{SO}$  también son detectables para diferentes volúmenes de muestras entre  $200 \mu\text{l}$  y  $30$  ml. Además, la capacidad para detectar la concentración cpa ha sido demostrada no sólo en las soluciones, sino dentro de los órganos también (riñones). Esta técnica es altamente sensible a la concentración de  $\text{Me}_2\text{SO}$  con una resolución de hasta  $50 \mu\text{m}$  en nuestro dispositivo. Este método tiene una aplicación importante en criopreservación de tejidos u órganos, donde se requiere un conocimiento preciso de la distribución de cpa. La muestra puede ser monitoreada con imágenes del CT, y la distribución de la cpa en su interior puede observarse mientras tiene lugar el proceso de enfriamiento. Esto haría posible saber cuándo la muestra está cargado con suficiente cpa y listo para bajar más la temperatura, evitando la formación de hielo. También como trabajo futuro, este método también puede utilizarse para determinar los parámetros de la impregnación de  $\text{Me}_2\text{SO}$  en diversos tejidos, mediante el control de la concentración de cpa en tiempo real.

*Cryoprotection of bulky organs is crucial for their storage and for subsequent transplantation.* *In this work we demonstrate the capability of the X-Ray computed tomography (CT) as a non-invasive method to measure the cryoprotectant (cpa) concentration inside a tissue or an organ, specifically for the case of dymethyl sulfoxide ( $\text{Me}_2\text{SO}$ ). It is remarkable that the use of  $\text{Me}_2\text{SO}$  has been leader in techniques of cells and tissues cryopreservation. Although CT technologies are mainly based in density differences, and many cpas are alcohols with densities similar to water, the use of very low energies as acceleration voltage ( $\sim 70$  kV) and the sulfur atom in the molecule of  $\text{Me}_2\text{SO}$  makes possible the visualization of this cpa inside tissues. As result we obtain a CT signal proportional to the  $\text{Me}_2\text{SO}$  concentration with a spatial resolution up to  $50 \mu\text{m}$  in the case of our device.*

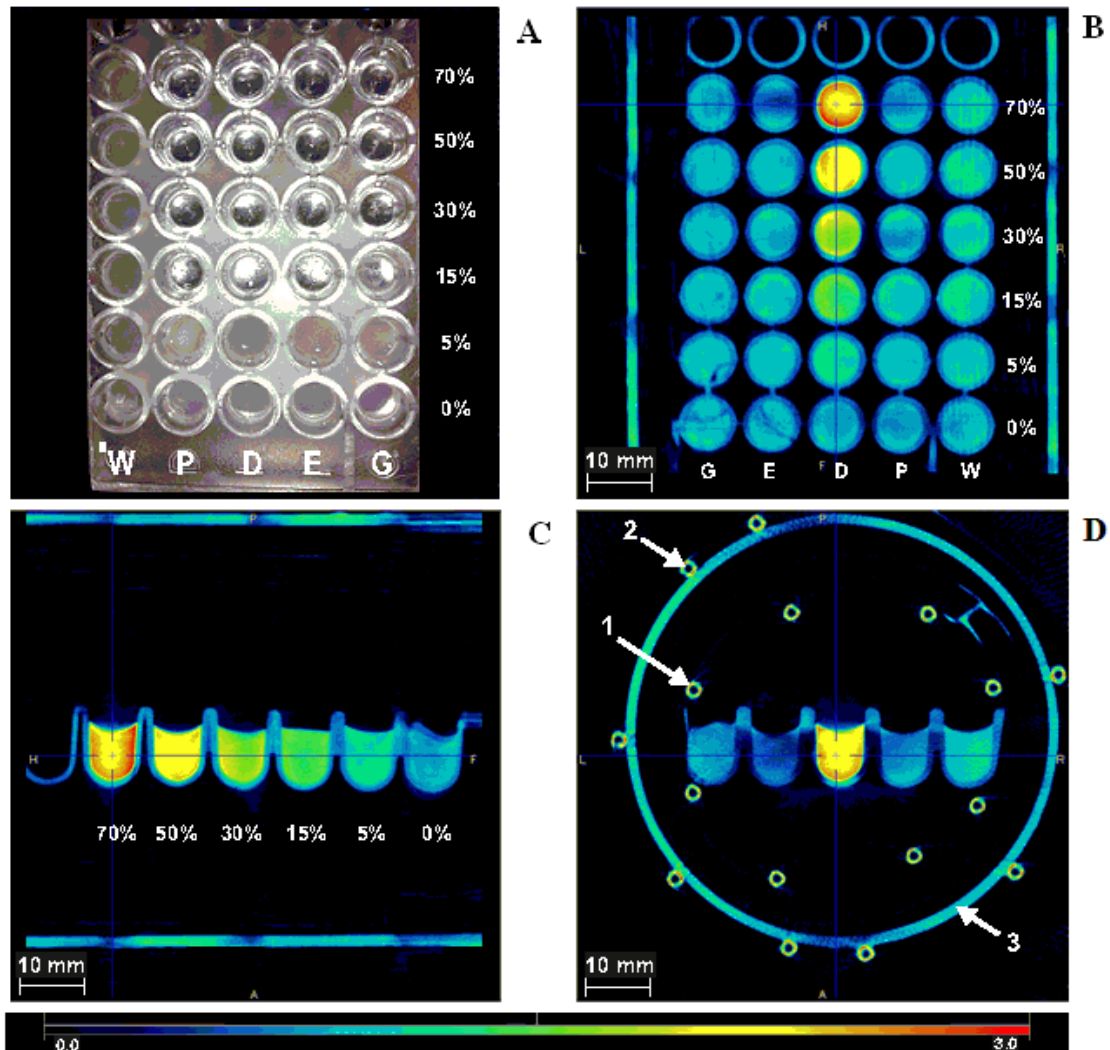


Figura 4.14: Imagen de CT de las 3 vistas ortogonales de diferentes concentraciones de diversos asesores en una microplaca de 9 x 5-pozos, en -140 °C / CT image of the 3 orthogonal views of different cpas' different concentrations in a 9x5-well microplate, at -140 °C

*With the technique that we propose, and due to the low energy used in this CT device, the concentration of Me<sub>2</sub>SO can be measured in solutions and tissues. The system has been shown to be valid for temperatures of 20 and -140 °C. The concentrations of Me<sub>2</sub>SO are also detectable for different volumes, from samples of 200 μl to 30 ml. Furthermore, the capability to detect the cpa concentration not only in solutions but inside organs too (kidneys) has been demonstrated. In the case of tissues, a quantitative experiment and further investigation should be done in order to create successful loading cpa procedures. In any case, this technique is highly sensitive to the concentration of Me<sub>2</sub>SO with a resolution up to 50 μm in our device. This method has an important application on cryopreservation of tissues or organs, where a precise knowledge of the cpa distribution is required. The sample can be monitored with CT images, and the distribution of the cpa inside it can be observed while the cooling*

*process is taking place. This would make it possible to know when the sample is loaded with enough cpa and ready to further lowering of the temperature, avoiding the formation of ice. Also as future work, this method could also be used to determine the permeation parameters of Me<sub>2</sub>SO in different tissues, by monitoring the cpa concentration in real time. This way we could characterize different loading protocols according to the sample to cryopreserve.*

La imagen de CT es en la escala fría (Figura 4.14). (A) imagen de la microplaca con las muestras. Se puede observar que la primera columna y dos primeras filas están congeladas, que corresponden al agua (W) y la menor concentración de cpa (v/v 0% y 5% v/v). (B) Vista inferior de la microplaca. Se muestran todos los cpas, de izquierda a derecha: glicerol (G), glicol de etileno (E), dimetilsulfóxido (D), 1, 2-propanediol (P) y agua (W), en concentraciones, de arriba a abajo: 70% v/v, 50% v/v, 30% v/v, 15% v/v, 5% v/v y 0% v/v (PBS), excepto el agua. La imagen muestra cómo la concentración es detectable sólo en el caso de Me<sub>2</sub>SO (columna D), mostrando un color diferente para cada concentración. En el resto, el color, o la atenuación, se mantiene igual para todas las concentraciones y similar a la del agua. (C) selección de diferentes concentraciones de Me<sub>2</sub>SO, de izquierda a derecha: 70% v/v, 50% v/v, 30% v/v, 15% v/v, 5% v/v y 0% v/v (PBS). La imagen muestra la degradación en los colores, de un rojo intenso a un oscuro azul, correspondiente a la atenuación más alta para la concentración más alta. Los colores son similares a la imagen de la figura 3, donde las muestras están a 20 °C. (D) selección de la fila superior en la figura (B), las concentraciones más altas de todos los cpa. El caso más favorable para ver cualquier posible efecto sobre diferentes cpa se demostró. De izquierda a derecha: 70% v/v glicerol, etilenglicol 70% v/v, dimetilsulfóxido 70% v/v, 70% v/v 1, 2-propanediol, PBS, y agua. La imagen muestra una coloración roja intensa (alta atenuación), sólo en el caso de dimetilsulfóxido. Los colores son similares a la imagen de la figura 3, a 20 °C.

*The CT image is at the cold scale (Figure 4.14). (A) Picture of the microplate with the samples. It can be observed that the first column and two first rows are frozen, which correspond to water (W) and the lowest cpa concentration (0% v/v and 5% v/v). (B) Bottom view of the microplate. All the cpas are showed, from left to right: glycerol (G), ethylene glycol (E), dimethyl sulfoxide (D), 1,2-propanediol (P), and water (W), in concentrations, from top to bottom: 70% v/v, 50% v/v, 30% v/v, 15% v/v, 5% v/v and 0% v/v (PBS), except for water. The image shows how the concentration is detectable only in the case of Me<sub>2</sub>SO (column D), showing a different color for each concentration. In the rest of the cpas, the color, or attenuation, keeps the same for all the concentration and similar to water's. (C) Selection of the column of different concentrations of Me<sub>2</sub>SO, from left to right: 70% v/v, 50% v/v, 30% v/v, 15% v/v, 5% v/v and 0% v/v (PBS). The image shows the degradation in colors, from an intense red to a dark blue, corresponding to the highest attenuation for the highest concentration. The colors are similar to the image of Fig. 3, where the samples are at 20 °C. (D) Selection of the top row in Fig. (B), the highest concentrations of every cpa's. The most favorable case to see any possible effect on different cpa's is showed. From left to right: 70% v/v glycerol, 70% v/v ethylene glycol, 70% v/v dimethyl sulfoxide, 70% v/v 1,2-propanediol, in PBS, and water. The image shows a red intense (high attenuation), only in the case of*

*dimethyl sulfoxide. The colors are similar to the image of Fig. 3, at 20 °C. (1) marks one of the N<sub>2</sub> gas input tubes, inside the insulating container, which material is transparent to X-rays. (2) marks one of the tubes used to prevent the formation of frost around the CT bed (3). N<sub>2</sub> gas, at room temperature, is sent through those tubes around the CT bed (3) to create a dry atmosphere, avoiding the condensation of water and the formation of frost. The voltage is 75 kV, the time of exposition is 1500 ms and the spatial resolution is 200 μm. Color scale is cold. Note that in 0% and 5% cpa concentration appear cracks due to the ice breaking.*

Metabolismo FDG en ratones de modelo de esclerosis lateral amiotrófica (ELA) (SOD1G93A). El laboratorio de terapias avanzadas en la neuroprotección y regulación inmune (NIR Lab) de la Universidad de Sevilla, situado en CABIMER colabora actualmente con el CNA, particularmente interesados en el uso de las instalaciones de PET para el estudio de diferentes aspectos metabólicos implicados en la aparición y progresión de la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) en investigación preclínica utilizando el modelo animal de ratones SOD1G93A. El laboratorio NIR integra la información ya obtenida en alta resolución NMR metabólica y MRI con con PET en la investigación de ELA.

*Metabolism FDG in mice of model of ALS (SOD1G93A). The Laboratory for Advanced Therapies in Neuroprotection and Immune-Regulation (NIR Lab) from the University of Seville located in CABIMER currently collaborates with CNA core facilities particularly interested in the use of PET facilities for the study of different metabolic aspects involved in the onset and progression of amyotrophic lateral sclerosis (ALS) in preclinical research by using the mice SOD1G93A animal model. The NIR lab integrated the information already gathered on high-resolution NMR metabolomics and MRI with PET assisted technologies in ALS research.*

Monitorización con el PET del tratamiento con el virus portador de la Oxido nítrico sintasa (NOS) en modelo de cáncer en hígado. Ratones nude inmune-deficientes con fibrosis hepática inducida por CCl<sub>4</sub> en 12 semanas de tratamiento fueron inyectados con 5 k de células de cáncer de hígado (Hepa 1-6) en el lóbulo izquierdo del hígado. Después de 13 días, los animales fueron tratados con 200 μL (2 x 10<sup>11</sup> pfu/mL) de solución antiviral vía inyección sistémica (Grupo CCl<sub>4</sub>NOS) en la vena de la cola conteniendo óxido nítrico sintasa (NOS). El grupo de control (CCl<sub>4</sub>GFP) fue tratado con la misma cantidad de virus con la proteína verde fluorescente GFP. Otro grupo de control (CCl<sub>4</sub>) con fibrosis y tumor inyectado no recibieron tratamiento viral. Todos los grupos contenían 3 animales. Entre la colina [<sup>11</sup>C], [<sup>18</sup>F] Fcholine, [<sup>18</sup>F] FLT, [<sup>18</sup>F] FDG el mejor cociente, tumor/señal del hígado no afectado, se obtuvo con FDG en análisis estático. La eficacia del tratamiento se evaluó por comparación en grupos de animales de la relación absorción estándar (SUVr) entre la zona del tumor y la zona del hígado libre de tumor. Sorprendentemente el grupo CCl<sub>4</sub> mostró similar SUVr como CCl<sub>4</sub>NOS, sin diferencia significativa entre el grupo de CCl<sub>4</sub>NOS ni CCl<sub>4</sub>GFP. A los 21 días, los tumores eran de 0,3 mm de tamaño, como se observa en la autopsia, mucho más pequeño que la resolución del escáner PET. Todos los animales murieron en el plazo de

28 días después de la implantación tumoral, excepto uno del grupo CCl<sub>4</sub>NOS encontrado en estado crítico a los 28 días después de la inyección de células de tumor y otros cuatro que murieron durante el experimento al ser anestesiados, no observándose diferencia significativa en la supervivencia entre los grupos para los animales que murieron de causas naturales. La masa animal de 7 días después de la implantación del tumor no mostró diferencia entre los grupos.

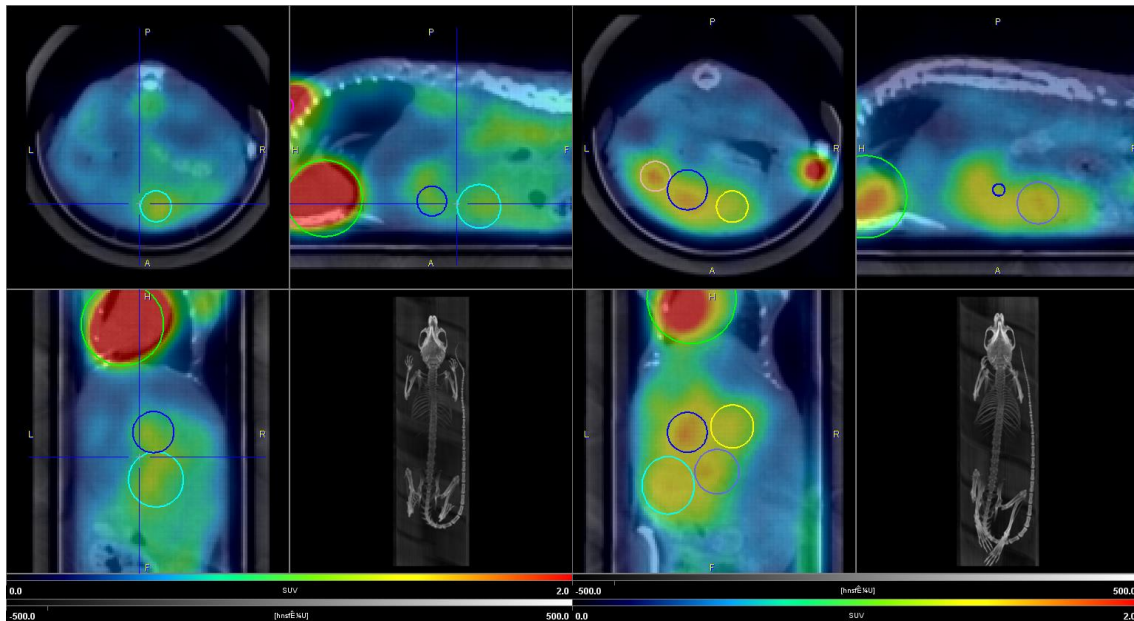


Figura 4.15: Animale Jordi 9, grupo NOS, estudio de 07 de febrero de 2013 (izquierda).

Tumor VOI en azul y cian. Animal había sufrido frío y uno puede ver grasa parda consumiendo FDG. (Derecha) Estudio 14 de febrero de 2013. Se observan más tumores / Animal Jordi 9, group NOS, study 7 Feb 2013 (left). Tumor VOI in blue and cyan. Animal had suffered cold and one can see brown fat consuming FDG. (Right) Study 14 Feb 2013. More tumors are seen

*Nitric Oxide Synthase carrying virus treatment of liver cancer mouse model monitored by PET. Nude immune-deficient mice with CCl<sub>4</sub>-induced liver fibrosis at 12 weeks of treatment were injected with 5 k liver cancer cells (Hepa 1-6) in the left lobe of the liver. After 13 days, animals were transfected with 200  $\mu$ L ( $2 \times 10^{11}$  pfu/mL) of nitric oxide synthase (NOS) carrying virus solution via tail vein systemic injection (group CCl<sub>4</sub>NOS). Control group (CCl<sub>4</sub>GFP) was transfected with the same amount of virus carrying green fluorescent protein GFP. Another control group (CCl<sub>4</sub>) with fibrosis and injected tumor did not receive viral treatment. All groups contained 3 animals. From [<sup>11</sup>C] choline, [<sup>18</sup>F]Fcholine, [<sup>18</sup>F] FLT, [<sup>18</sup>F]FDG the best tumor to non-affected liver signal ratio was obtained with FDG in static scan. Treatment efficacy was evaluated between animal groups comparison of standard uptake value ratio (SUVr) between the maximum in the tumor zone divided by mean SUV of the liver zone free of tumor. Results: At eight days after virus NOS treated group (CCl<sub>4</sub>NOS) showed lower SUVr than control (CCl<sub>4</sub>GFP) group but the difference was not significant. Surprisingly the CCl<sub>4</sub> group showed similar SUVr as CCl<sub>4</sub>NOS, without significant difference between CCl<sub>4</sub>NOS nor CCl<sub>4</sub>GFP group. At 21 days, the tumors in CCl<sub>4</sub> group were of about 0.3 mm size, as seen in autopsy,*

much smaller than PET scanner resolution. All animals died within 28 days after tumor implantation, except one from CCl<sub>4</sub>NOS group scarified at critical state on 28<sup>th</sup> day after tumor cells injection, and other four which died during experiment at anesthesia, without significant difference in survival between groups for the animals which died of natural cause. Relative change of the animal mass from 7 days after tumor implantation did not show the difference between groups. At natural death, overlapping tumors of up to 1 cm size occupied all liver, especially left lobe. Conclusions: We did not see significant difference in PET measured tumor glucose metabolism between groups as assessed by FDG-PET/CT. Neither survival nor relative mass change did not differ between groups. The lack of the effect may be an artifact of small group sizes.

PET con radiofármacos derivados de naftaleno marcados con [<sup>18</sup>F] en modelo murino de Alzheimer. El derivado fluorado [<sup>18</sup>F]-4 (> 95% pureza radioquímica) se inyectó por vía intravenosa a los ratones modelos de Alzheimer en dos animales transgénicos y dos de control. Se hicieron estudios dinámicos PET/TAC y se analizaron las curvas tiempo-actividad. Comparando las imágenes no se aprecia diferencia evidente entre los animales transgénicos y controles. Analizando las curvas tiempo-actividad de corteza frente SUV relativo a cerebelo, en animales transgénicos se ve diferencia en captación entre 15 y 67 min. El fármaco atraviesa barrera hemato-encefálica. A partir de 60 min del ensayo se aprecia captación de radiofármaco en el hueso o más probablemente en la médula ósea. La reaparición de la actividad en sangre coincide con la captación del radiofármaco en el intestino.

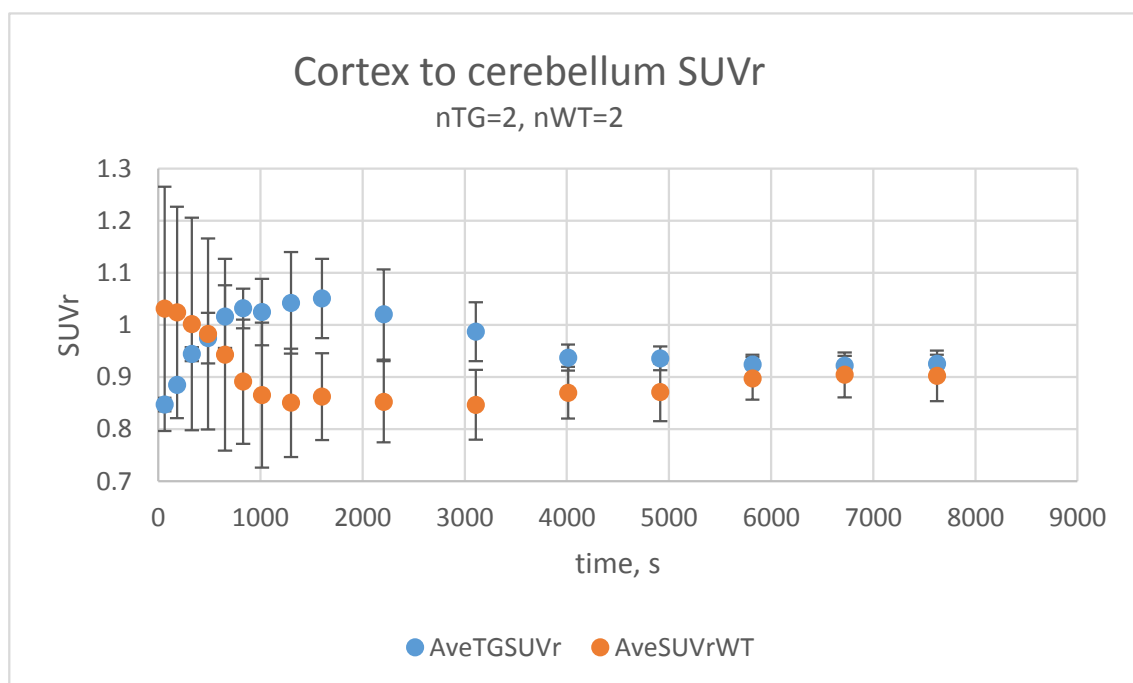


Figura 4.16: Comparación de captación SUVr de [<sup>18</sup>F]-4 de corteza al cerebelo en animales transgénicos (azul) y salvaje (marrón). Los errores son error estandar / Comparison of SUVr uptake of the cortex to the cerebellum in transgenic animals (blue) and wild (Brown). Errors are error banner

*PET radiopharmaceuticals labeled naphthalene derivatives [  $^{18}\text{F}$  ] in mouse model of Alzheimer. [ $^{18}\text{F}$ ]-4 fluorated derivative(> 95% radiochemical purity) has been injected intravenously to mice being a model of Alzheimer's disease in two transgenic animals and two control ones. PET/CT dynamic studies were done and the time-activity curves have been analyzed. By comparing the images there was no apparent difference between transgenic animals and controls. Analyzing time activity curves in the cortex normalized to cerebellum, in transgenic animals there is a difference in uptake between 15 and 67 min. The drug clearly passes the blood-brain barrier. From 60 min of the test see uptake of radiopharmaceutical in the bone or more likely in the bone marrow. Reappearance of the activity in the blood coincides with the presence of radiopharmaceutical in the intestine.*

---

#### 4.4 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit

---

La Unidad de AMS del Centro Nacional de Aceleradores se origina en septiembre de 2005 con la llegada del sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) adquirido a la empresa holandesa High Voltage Engineering Europe (HVVEE). De este modo se convierte en la única instalación de AMS en España.

La espectrometría de masas con aceleradores es una técnica nuclear destinada a la detección de radionúclidos muy poco abundantes en la naturaleza. En concreto, se aplica a aquellos isótopos que son muy difíciles de detectar mediante técnicas radiométricas debido a que tienen una semivida muy grande. En AMS no se detecta la radiación que emiten estos isótopos sino la señal que ellos mismos producen en un detector nuclear después de haber sido seleccionados mediante campos eléctricos y magnéticos. La presencia de un acelerador de partículas tipo tándem permite aumentar sensiblemente la energía de los iones hasta valores en el orden del MeV/uma. De este modo es posible utilizar propiedades nucleares para discriminar unos isótopos de otros. Además, en el stripper del acelerador se produce la rotura de las moléculas de la misma masa que el isótopo de interés, lo cual permite reducir aún más las interferencias.

Estas cuestiones hacen que AMS posea una mayor sensibilidad que cualquier otra técnica de detección de radionúclidos, lo cual la hace eficaz en multitud de problemas científicos imposibles de abordar de otro modo.

Los núcleos que se pueden detectar mediante AMS son variados. En el caso de la instalación del CNA, el sistema, basado en un Acelerador Tándem de 1 MV, se diseñó originalmente para la medida de  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu. En los últimos años, las líneas más activas se han centrado en los análisis de muestras para la detección de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  e isótopos de Pu, aunque se han comenzado las pruebas para estudiar la capacidad del equipo para la detección de nuevos radioisótopos como el  $^{41}\text{Ca}$ , el  $^{36}\text{Cl}$ , el  $^{237}\text{Np}$ , el  $^{236}\text{U}$  y el  $^{243}\text{Am}$ .

*The AMS Unit of the National Accelerator Center was created in September 2005 right before the arrival of the Accelerator Mass Spectrometry (AMS) system acquired the Dutch company High Voltage Engineering Europe. Thus becomes the only facility of AMS in Spain.*

*Accelerator Mass Spectrometry is a nuclear technique for the detection of radionuclides which are in very small amounts in nature. In particular, it is applied to those isotopes that are very difficult to detect using radiometric techniques because they have a very long half-life. AMS does not detect radiation emitted by these isotopes, but the signal they produce in a nuclear detector after being selected by electric and magnetic fields.*



*The presence of a tandem particle accelerator can significantly increase the energy of the ions to values in the order of MeV/uma. This can be used to discriminate them from other isotopes by their nuclear properties. In addition, the accelerator stripper breaks the molecules of the same mass as the isotope of interest, which further reduces interference.*

*These issues make AMS more sensitive than any other radionuclide detection technique, which makes it effective in many scientific problems cannot be met otherwise.*

*Nuclei detected by AMS are varied. The facility at CNA, based on a 1 MV Tandem Accelerator, was originally designed for the measurement of  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  and isotopes of Pu. In the last years, active lines have focused on the analysis of samples for  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$  and Pu isotopes, but tests to study the team's ability to detect new radioisotopes as the  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{236}\text{U}$  and  $^{243}\text{Am}$  have begun.*

#### **4.4.1 Medidas de $^{129}\text{I}$ por AMS / AMS $^{129}\text{I}$ measurements**

Se han realizado medidas de  $^{129}\text{I}$  en muestras ambientales relacionadas con el impacto del accidente de Fukushima en Sevilla. En concreto, se han analizado muestras de agua de lluvia y de filtros atmosféricos tomadas en la azotea de la Facultad de Física de la Universidad de Sevilla durante los días en que las partículas radiactivas emitidas por el accidente de Fukushima llegaron a Sevilla. Los filtros atmosféricos analizados fueron de dos tipos:

- Filtros de carbón activado que absorben el yodo presente en la atmósfera en forma gaseosa.
- Filtros de polipropileno especialmente diseñados para la absorción de partículas en suspensión y en los que se ha medido la cantidad de  $^{129}\text{I}$  asociado a las mismas.

Los resultados han sido muy relevantes, ya que han permitido obtener mucha información sobre el impacto de este tipo de accidentes en zonas muy alejadas de los mismos. Así, se comprobó que la evolución de la concentración del  $^{129}\text{I}$  entre el 23 de marzo y el 11 de abril del año 2011 coincidió con la del  $^{131}\text{I}$ , otro radioisótopo del yodo cuya presencia sólo podía deberse al accidente de Fukushima. Sin embargo, los niveles medidos para el  $^{129}\text{I}$  (del orden de  $10^5$  átomos/ $\text{m}^3$  en aire) fueron similares e incluso menores que los que se miden en condiciones normales. También se ha obtenido información relevante sobre las proporciones de yodo radiactivo en cada una de las formas químicas, observándose una abundancia típica de alrededor del 80% en forma gaseosa frente a la asociada a aerosoles. Esto tiene consecuencias relevantes en cuanto a su transporte a largas distancias.

*A number of atmospheric samples taken in Sevilla right after the Fukushima accident in 2011 have been analyzed for  $^{129}\text{I}$  concentration. In concrete, the presence of  $^{129}\text{I}$  has been measured in two kinds of air filters (polypropylene and active carbon) and in rainwater. This set of samples has given us information on the  $^{129}\text{I}$  which is in gaseous*

form in the atmosphere and on that which is associated to aerosols. The results show a complete agreement with the  $^{131}\text{I}$  results obtained in the same samples right after the accident. However,  $^{129}\text{I}$  can be measured a long time after the sampling thanks to its long half-life. The results show an interesting effect:  $^{129}\text{I}$  levels seem to be higher before and after the Fukushima accident impact. This can be related to the presence of  $^{129}\text{I}$  due to the Sellafield and La Hague reprocessing plants, which normally emit some  $^{129}\text{I}$  to the environment. However, this  $^{129}\text{I}$  seems not to have covered the Fukushima signal. This could show a wind effect, so that the discharges from the nuclear fuel reprocessing plants did not arrive to Sevilla during this period. It is also possible that there was a reduction of the  $^{129}\text{I}$  emissions during the studied period.

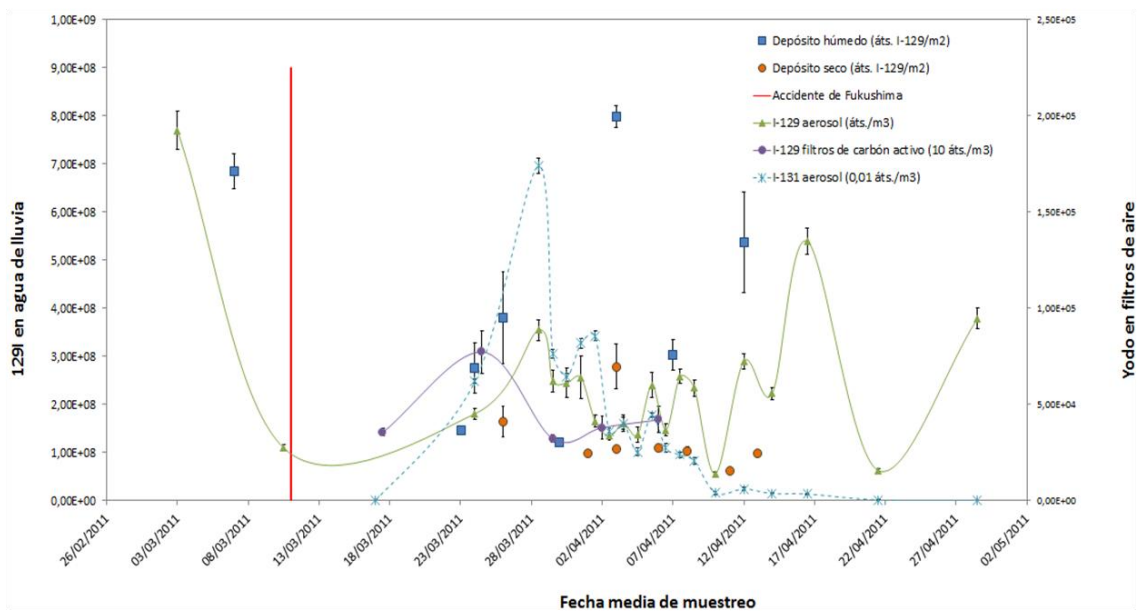


Figura 4.17: Representación conjunta de la concentración de  $^{129}\text{I}$  en aerosol y gaseoso en aire, junto con los valores de precipitación húmeda y seca de  $^{129}\text{I}$ . A su vez en la línea celeste se representa la concentración de  $^{131}\text{I}$  según las fechas de muestreo.

Nótese que las unidades están adaptadas para una mejor visualización /  $^{129}\text{I}$  in atmospheric samples after the Fukushima accident in Sevilla. They can be compared to the  $^{131}\text{I}$  concentrations in the same samples

Evaluación de las concentraciones de I-129 en el Atlántico Norte / I-129 at North Atlantic Ocean. A partir de medidas en un transecto desde Glasgow hasta Rejkavjk, un transecto desde el sur de Irlanda a Sellafield, medidas en las cuencas Irminger e Islandia y un muestreo en el Ártico se han obtenido las siguientes conclusiones: han aumentado las concentraciones de I-129 al doble o incluso un orden de magnitud, dependiendo de la zona, respecto de las medidas en los años noventa. Por otra parte, el I-129 en el ártico traza el hundimiento del agua que forma la North Atlantic Deep Water, comienzo del cinturón termohalino global. Existen, además, indicios que corroboran que parte de la contaminación vertida por Sellafield no se dirige directamente al Ártico, y entra en la North Atlantic current. Este resultado tiene implicaciones a la hora de evaluar el inventario de I-129 que entra y sale del Ártico, y por tanto influye en el cálculo de las edades de las masas de agua árticas. Este trabajo

ha dado lugar a una presentación para el congreso de AMS-13 en Aix-en Provence, agosto 2014 y otra anterior en la Goldschmidt Conference 2013 en Florencia.

*A set of marine water samples from the North Atlantic and the Greenland Sea have been analysed In order to evaluate the evolution of the presence of  $^{129}\text{I}$  in these areas. The conclusions show an increase of the  $^{129}\text{I}$  in these zones due to the emissions of the nuclear fuel reprocessing plants of Sellafield and La Hague. At the same time, the results suggest that not all the  $^{129}\text{I}$  discharged by these plants goes directly to the North, but a small part of it travels to the South contaminating the North Atlantic. This work has been presented at the Goldschmidt Conference in 2013 and, extended, in the AMS Conference in Aix-en-Provence in 2014.*

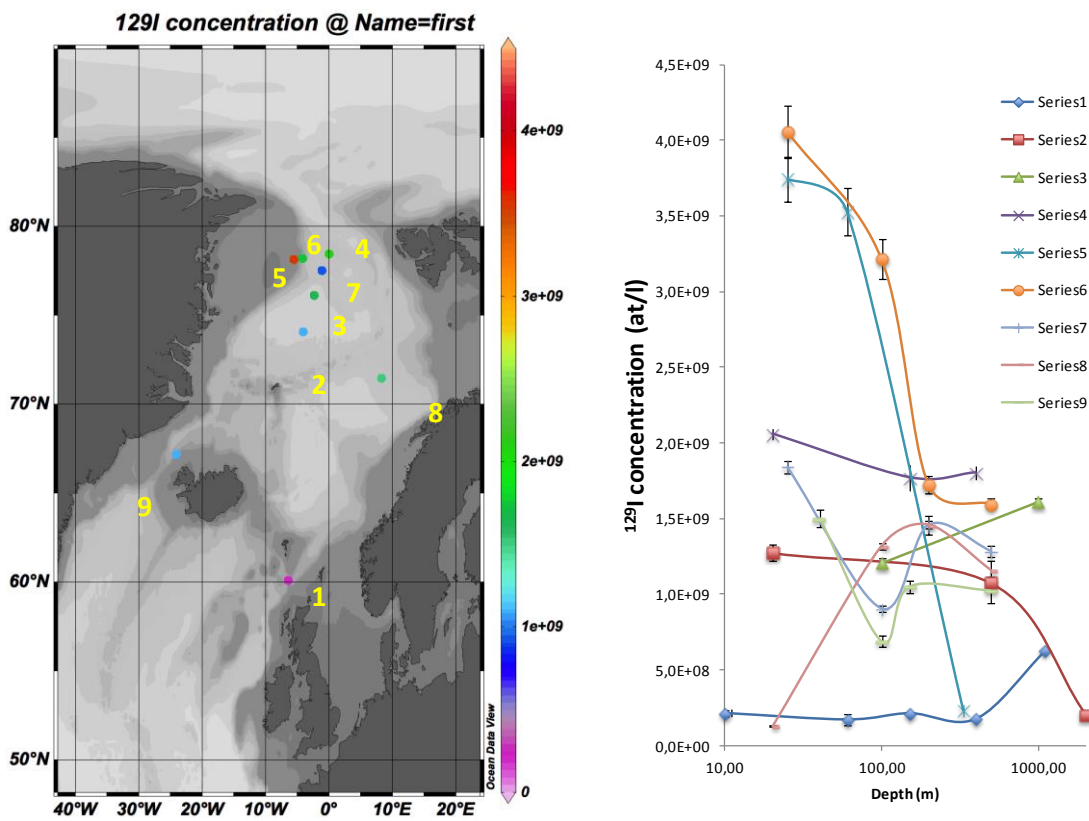


Figura 4.18: Perfiles en profundidad de concentración de  $^{129}\text{I}$  en varios puntos de muestreo en el Mar de Groenlandia / Measurements at Groenland Sea

#### 4.4.2 Medidas de isótopos de plutonio, $^{239}\text{Pu}$ y $^{240}\text{Pu}$ , y de $^{236}\text{U}$ en sedimentos marinos / Measurements of plutonium isotopes, $^{239}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}$ , and $^{236}\text{U}$ in marine sediments

En la actualidad, se sabe muy poco sobre el comportamiento medioambiental del  $^{236}\text{U}$ . Si bien hay muchos estudios centrados en el agua de mar, hay muy poca información sobre la presencia de este radionucleido en sedimentos marinos. Con objeto de ampliar esa información, en el CNA se han hecho estudios de  $^{236}\text{U}$  y, también, de  $^{239,240}\text{Pu}$ , en un testigo de sedimento procedente del Atlántico Norte y en varios materiales de referencia de la IAEA. Una de las conclusiones más importantes es la existencia de una clara correlación entre los cocientes  $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  con el

origen de la contaminación, aportando ambos información complementaria en diferentes escenarios.

Como ejemplo, los resultados obtenidos en el testigo de sedimento del Atlántico Norte muestreado a 4000 m de profundidad (del llamado *Porcupine Abyssal Plain*) se presentan en la Figura 4.19. Junto con los resultados de  $^{236}\text{U}$  y de plutonio, se indican también los perfiles de  $^{129}\text{I}$  (medido también por AMS en el CNA) y de  $^{137}\text{Cs}$  (medido por espectrometría gamma en el CITIUS), todos radionucleidos antropogénicos procedentes fundamentalmente del fallout global. La forma de los perfiles en profundidad es resultado de la actividad biológica de organismos marinos abisales y de la diferente naturaleza físico-química de cada elemento.

*To date, the published information on  $^{236}\text{U}$  in marine sediments is very scarce. In order to extend this information, an abyssal sediment core from the North Atlantic and different reference materials from the IAEA have been studied at the CNA. Also, information on the  $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  atom ratios has been reported, showing a correlation of both ratios with the contamination source.*

*The obtained results in a sediment core from the so-called Porcupine Abyssal Plain (PAP site), in the North Atlantic Ocean (4000 m depth), are shown in Figure 4.19. Together with the  $^{236}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$  results, the  $^{129}\text{I}$  (also determined by AMS at the CNA) and the  $^{137}\text{Cs}$  results are also shown. The profiles are consequence of bioturbation processes and of the different physic-chemical behavior of the different radionuclides.*

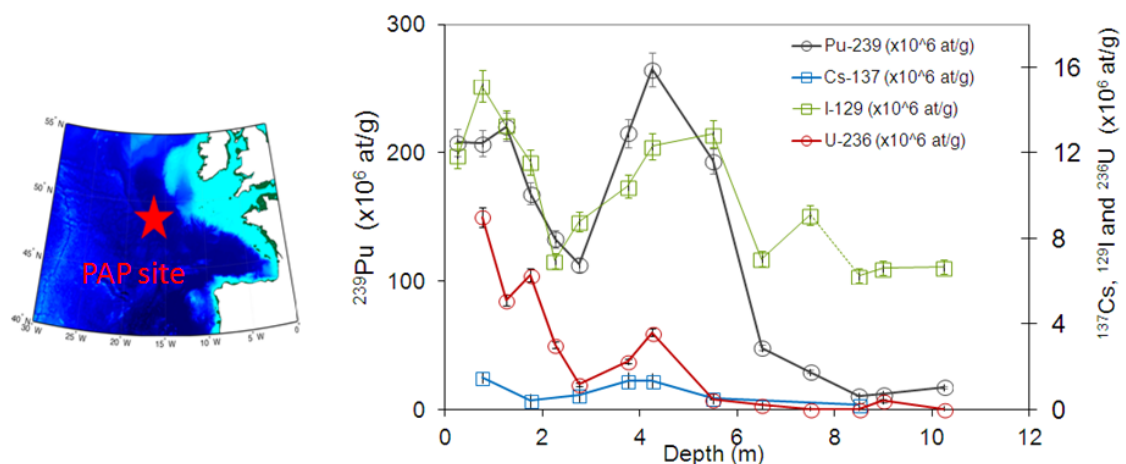


Figura 4.19: Localización del Porcupine Abyssal Plain (PAP) en el Atlántico Norte y perfiles en profundidad de  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{129}\text{I}$  y  $^{236}\text{U}$  (medidos por AMS en el CNA) y de  $^{137}\text{Cs}$  (espectrometría gamma) / Location of the PAP site and profiles of  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{236}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$  in the sediment core

Durante los años 2013 y 2014 se ha consolidado la nueva línea de investigación centrada en la medida de  $^{236}\text{U}$  en muestras oceanográficas (agua de mar y sedimentos). A su vez, se han realizado estudios de isótopos de plutonio,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ , en nuevas matrices medioambientales (turbas y agua de mar) además de continuar

con los ya desarrollados en años anteriores (orina, suelos y sedimentos). Por otra parte, se han llevado a cabo las primeras medidas de  $^{237}\text{Np}$  en agua de mar en colaboración con la IAEA. Todas estas aplicaciones han sido posibles gracias a la puesta a punto y al perfeccionamiento de la técnica de medida de actínidos con el sistema de AMS de 1 MV del CNA. En paralelo, se han implementado diferentes métodos radioquímicos. La colaboración iniciada en años anteriores con la IAEA, Ciemat, ETH Zürich y otras instituciones nacionales e internacionales se han consolidado.

*During 2013 and 2014, a new research field focused on the measurement of  $^{236}\text{U}$  in oceanographic samples (seawater and sediments) has been consolidated. Moreover, plutonium isotopes,  $^{239,240}\text{Pu}$ , have been measured in new environmental compartments (peat-bogs and seawater), and other studies started in previous years have been extended (urine samples, soils and sediments). On the other hand,  $^{237}\text{Np}$  has been measured in seawater samples, in collaboration with the IAEA Marine Environment Laboratories. These achievements have been possible thanks to the tuning and improvement of the actinides measurements techniques on the 1 MV AMS system at the CNA. In parallel, new radiochemical procedures have been implemented. On the other hand, our collaboration with IAEA-Marine Environment Laboratories, Ciemat, ETH Zürich and many other groups have been consolidated.*

El  $^{236}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 23.4 \times 10^6$  años, emisor alfa) es el isótopo más minoritario del uranio. Se produce fundamentalmente por activación neutrónica del  $^{235}\text{U}$ , tanto de forma artificial (en detonaciones nucleares o en reactores nucleares) como natural (en minerales de uranio, producción radiogénica). Su abundancia isotópica en agua de mar (relación  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  en número de átomos) varía desde niveles de  $10^{-12}$ , considerados pre-antropogénicos, hasta  $10^{-6}$ , que son los característicos de los vertidos al Mar de Irlanda de la central de reprocesamiento de combustible nuclear de Sellafield, Reino Unido. En aguas superficiales afectadas únicamente por el llamado *fallout global*, los cocientes característicos son del orden de  $10^{-9}$ .

*$^{236}\text{U}$  ( $T_{1/2} = 23.4 \times 10^6$  years, alpha emitter) is the rare isotope of uranium. It is mainly produced by the neutron activation of  $^{235}\text{U}$ , in processes induced by man (nuclear reactors and nuclear detonations) or naturally (radiogenic production in uranium rich minerals). In seawater samples, the  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  atom ratios varies from  $10^{-12}$  (pre-anthropogenic levels) to  $10^{-6}$ , in the Irish Sea affected by the effluents of the Sellafield nuclear reprocessing plant. In superficial seawater samples solely affected by the general fallout, this ratios is at the  $10^{-9}$  level.*

En los últimos años, la comunidad científica ha dedicado una especial atención a la medida de  $^{236}\text{U}$  en agua de mar debido a su potencial como trazador de masas de agua, debido a su carácter soluble. Uno de los grupos pioneros en este campo es el Instituto de Física de Partículas del ETH de Zürich. Con ellos hemos realizado un primer ejercicio de intercomparación de medidas de  $^{236}\text{U}$  en agua de mar, con objeto de validar la técnica de medida de  $^{236}\text{U}$  con el sistema de AMS de 1 MV del CNA. Los resultados de dicho ejercicio se presentan en la Figura 4.20. Se observa un acuerdo

muy bueno entre los resultados obtenidos por ambos laboratorios, para muestras con cocientes isotópicos de hasta, al menos,  $8 \times 10^{-10}$ , lo que demuestra la solidez de la técnica implantada en el CNA (medida por AMS y método radioquímico).

*In the last years, the scientific community has dedicated a special attention to the determination of  $^{236}\text{U}$  in seawater samples, thanks to its conservative nature and its potential to trace water masses. One of the most active research groups in this field is the ETH Zürich. They have provided us with a set of 5 intercomparison seawater samples that have been completely processed and analyzed at the CNA in order to demonstrate the solidity of the technique. The results are shown in Figure 4.20. As it can be observed, there is a very good agreement between both sets of results for ratios as low as  $8 \times 10^{-10}$ .*

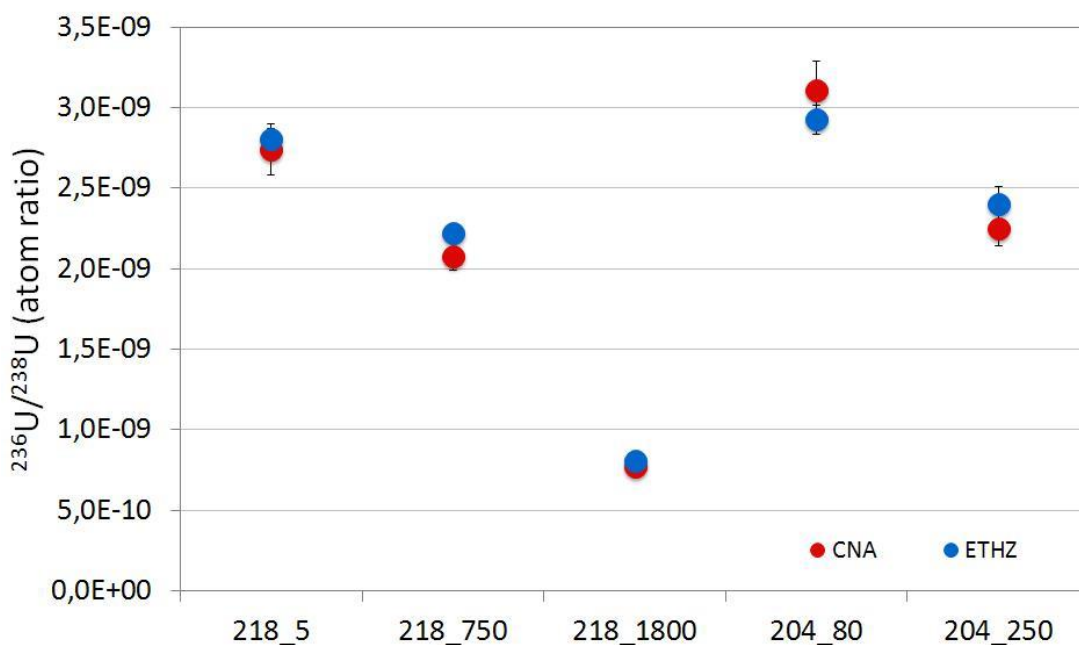


Figura 4.20: Resultados del ejercicio de intercomparación para  $^{236}\text{U}$  llevado a cabo entre el CNA y el ETH de Zürich en agua de mar / Results of the ETH/CNA intercomparison exercise for  $^{236}\text{U}$  in seawater samples

Además de este ejercicio, se han realizado otras medidas en agua de mar para obtener información medioambiental. En concreto, se han analizado dos columnas de agua procedentes de los mares nórdicos, y una columna de agua del Mar Mediterráneo tomada en la estación Dyfamed, en el mar de Liguria, proporcionada por los laboratorios de la IAEA en Mónaco, institución de la que el CNA es centro colaborador. Estos resultados, así como la puesta a punto del método radioquímico, han dado como fruto un trabajo Fin de Máster.

*In addition to this intercomparison exercise, other measurements in seawater samples have been performed. Specifically, two seawater columns from the Northern Seas and*

*one from the so-called Dyfamed station, in the Mediterranean Sea, in collaboration with the IAEA, have been analyzed. These results have been included in a Master work.*

El límite inferior para la relación isotópica  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  se encuentra a niveles de  $3 \times 10^{-11}$  en el caso de usarse Ar como gas de stripper. Estos niveles son comparables a los obtenidos en instalaciones convencionales de AMS. A finales del 2014 se implantó el He como stripper, los niveles de fondo alcanzables en este caso están actualmente en proceso de estudio.

*The  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  abundance sensitivity for the 1 MV AMS facility at the CNA is at the  $3 \times 10^{-11}$  level using Ar gas as stripper, and compares with the reported ones by conventional AMS facilities. During the second semester of 2014, He gas was implemented as stripper on our system. The new achievable abundance sensitivity is in process of study.*

#### 4.4.3 Medidas de $^{26}\text{Al}$ y $^{10}\text{Be}$ / $^{26}\text{Al}$ and $^{10}\text{Be}$ Measurements

Se han llevado a cabo medidas de los isótopos  $^{10}\text{Be}$  y  $^{26}\text{Al}$  en muestras de cuarzo, para la adaptación del proceso radioquímico utilizado para tal fin en nuestro laboratorio. Para ello se han utilizado muestras de terrazas y rocas de CENIEH (Centro Nacional de investigación sobre la evolución humana), destinadas a la datación por exposición de la radiación cósmica de las mismas, con sendos isótopos. Estas muestras fueron medidas en el sistema AMS de SUERC, y se utilizaron esos datos para la puesta a punto del método. Los valores obtenidos en la medida de estos isótopos en nuestro laboratorio se encuentran en gran concordancia con los obtenidos en SUERC.

Se ha estudiado la tasa de denudación de la cuenca del río Guadiana, mediante la medida de  $^{10}\text{Be}$  meteórico en muestras de sedimentos superficiales del estuario del río. El valor obtenido se ha comparado con el mismo utilizando el método de balance de sedimentos en el que se ha encontrado cierta congruencia con el obtenido en nuestro laboratorio. Se ha de continuar con este estudio y realizar correcciones el método de balance de sedimentos para obtener un valor más exacto con ese modelo.

En muestras de residuos en la industria nuclear, procedentes de ENRESA, se han realizado pruebas para la detección del posible  $^{10}\text{Be}$  que se haya producido en aguas de centrales nucleares. Para ello se han medido muestras de dawsonitas, hidrotalcitas y resinas intercambiadoras de iones, en los que se ha detectado  $^{10}\text{Be}$  en algunas muestras de resinas con valores que pueden superar en dos órdenes de magnitud en la concentración de este isótopo, a los valores medidos en la naturaleza.

Finalmente se ha colaborado en la medida de  $^{10}\text{Be}$  en muestras de cenizas volcánicas de los Andes, para el estudio del  $^{10}\text{Be}$  subducido en volcanes, en sedimentos del fondo marino y su posterior salida del mismo mediante la erupción.

*Both  $^{26}\text{Al}$  and  $^{10}\text{Be}$  isotopes have been measured in Quartz samples, in order to set up the radiochemical procedure which was used to that in our laboratory. Several samples of terraces and rocks from CENIEH (National Research on Human Evolution Center)*

were used. Those samples were measured, to get mainly the surface exposure dating with both isotopes, in AMS system at SUERC and those data were used for us, to be reproduced in the setting up of the procedure on our laboratory. The values were gotten, are in a great according with the ones were given for SUERC.

The denudation rate of the Basin of Guadiana River was studied with meteoric  $^{10}\text{Be}$  from Surface sediment samples of the estuary. The datum given with meteoric  $^{10}\text{Be}$  method was compared with the same but by using Sediment Budget Method and the results are consistent. The sediment budget method is based on estimations of suspended load and bedload discharge from the Guadiana River, so those studies have to be continued with both methods, but mainly, a major study with Sediment Budgeted Method is needed to make the necessary corrections to get a more accurate value of the denudation rate.

Several tests were done on our laboratory to detect  $^{10}\text{Be}$  in residual water samples of the nuclear industry. Dawsonites, Hidrotalcites and ion exchange resins were measured where  $^{10}\text{Be}$  was detected in some of them, concretely in resins with values that can reach till two orders of magnitude above natural ones.

Finally, our laboratory has collaborated on the measurements of  $^{10}\text{Be}$  in ashes and volcanic rocks, on the study of the  $^{10}\text{Be}$  in marine ocean sediments which can be recycled by subduction in volcanos and their subsequently take off by eruption in Andes.

#### 4.4.4 Medidas de $^{41}\text{Ca}$ / $^{41}\text{Ca}$ Measurements

Se han hecho diversos estudios en relación a la preparación radioquímica de muestras de  $\text{CaF}_2$  para la detección de  $^{41}\text{Ca}$  en el sistema de AMS de 1 MV, tanto en muestras exentas (blancos) de  $^{41}\text{Ca}$  de  $\text{CaCO}_3$ ; disoluciones de calcio en  $\text{HNO}_3$  con relaciones isotópicas  $^{41}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$  conocidas (estándar); y muestras de hormigón procedentes de la central nuclear de José Cabrera, en proceso de decomisión.

Estos métodos buscan, sobre todo, la separación del contenido del calcio y el potasio, ya que el principal interferente en la detección de  $^{41}\text{Ca}$  es el isóbaro  $^{41}\text{K}$ , isótopo estable del potasio con una abundancia isotópica del 6.73%. Debido a la alta solubilidad de las sales de potasio, y a la baja solubilidad de las de calcio, se ha estudiado el efecto que tiene la precipitación y lavado con agua del oxalato de calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ), añadiendo  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  a soluciones ácidas de calcio, y precipitando el  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  al subir a  $\text{pH}=10$  con amoníaco; esto ha demostrado ser un paso bastante simple pero con consecuencias muy positivas, reduciendo el fondo de  $^{41}\text{K}$  en las medidas hechas con SARA considerablemente.

También se ha estudiado la posible necesidad de usar resinas de intercambio iónico para la separación del calcio y el potasio, usándose una resina en forma hidrógeno denominada AG 50W-X8, aunque se ha visto que para muestras de alto contenido en calcio esto no ofrece grandes ventajas e incluso puede resultar en una gran pérdida de



calcio. Para la disolución del calcio presente en hormigón se ha visto que la digestión ácida en agua regia (solución con 3 partes de HCl y una de HNO<sub>3</sub>) resulta bastante efectiva, debido a que la mayoría de sales y compuestos de calcio son solubles en medios ácidos.

Las primeras medidas de <sup>41</sup>Ca con el sistema de AMS de 1 MV con muestras blanco (exentas de <sup>41</sup>Ca) son bastante prometedoras. Las pruebas de stripping (CaF<sub>3</sub>)<sup>-</sup> → Ca<sup>2+</sup> han alcanzado transmisiones de un 41%, permitiendo corrientes de <sup>40</sup>Ca<sup>2+</sup> en la zona de altas energías superiores a los 50 nA. Además de las muestras blanco preparadas, también se han medido muestras de CaF<sub>2</sub> comercial para comparar, obteniendo, no sólo las mismas corrientes, sino fondos de <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>Ca menores para las muestras preparadas en nuestro laboratorio, llegando estos al orden de 10<sup>-12</sup> con una preparación radioquímica basada en la precipitación de CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y posterior precipitación de CaF<sub>2</sub>, sin necesidad de incluir el uso de resinas de intercambio iónico. Dichos fondos permitirían sin problemas la medida de <sup>41</sup>Ca en las muestras de hormigón de centrales nucleares, así como en muestras de interés biomédico.

*Several studies about radiochemical preparation of calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>) have been made to be detected in the 1 MV AMS system: from calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) without <sup>41</sup>Ca (blanks) ; from calcium solutions in nitric acid (HNO<sub>3</sub>) with known isotopic ratio <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>Ca (standard) ; And from concrete samples which come from decommissioning nuclear power plant José Cabrera. These procedures seek, above all, the chemical separation between calcium and potassium content, since the most important interferent in <sup>41</sup>Ca detection is its isobar <sup>41</sup>K, stable isotope with an isotopic abundance of 6.73%. As potassium salts have high solubility, and most of calcium salts have a low one, the effect of precipitation of calcium oxalate (CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) and washing with water has been analyzed, adding ammonium oxalate ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) to calcium acid solutions, producing the CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> precipitation when pH is raised to 10 with ammonia; This has been proven to be a simple step with very positive consequences, highly reducing <sup>41</sup>K background in the measurements which have been made with SARA. The possible need of ion-exchange processes has also been analyzed, using a cation-exchange resin in hydrogen form named AG 50W-X8; However, this has not been proven a great advantage for samples with high content of calcium; even it can result in a great loss of the calcium content. In order to dissolve the calcium content in concrete samples, acid digestion with aqua regia (3 parts of HCl and 1 part of HNO<sub>3</sub>) has proven to be very effective, since most of calcium salts and compounds are soluble in acidic media.*

*First measurements of <sup>41</sup>Ca with the 1 MV AMS system with blank samples (with no <sup>41</sup>Ca content) are promising. (CaF<sub>3</sub>)<sup>-</sup> → Ca<sup>2+</sup> stripping tests have reached a transmission of 41%, getting currents up to 50 nA in the High Energy section. In addition to the blank samples prepared in our laboratory, samples from commercial CaF<sub>2</sub> have also been measured, getting, not only similar currents, but also lower <sup>41</sup>Ca/<sup>40</sup>C background than those samples which have been prepared in our laboratory, being that background level of about 10<sup>-12</sup> when the chemical preparation consists only in CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> precipitation, with no need of ion-exchange resins. Such background levels would let us*

*<sup>41</sup>Ca measurements in concrete samples from nuclear power plants, and in biomedical applications.*

#### 4.4.5 Medidas de <sup>14</sup>C / <sup>14</sup>C measurements

En el ámbito investigador, la colaboración más importante consolidada es con el Instituto Milá i Fontanals del CSIC, a partir de la cual ya ha habido una publicación aceptada a finales de 2014, y varias pendientes de aceptación. Se trata de estudios arqueológicos a partir de la datación de huesos procedentes de enterramientos. También, casi desde el inicio del servicio, se ha venido realizando un seguimiento de la concentración de C-14 en la dieta humana típica en dos localizaciones del país diferentes, en muestras trimestrales.

Durante los años 2013 y 2014 se ha trabajado en el análisis de muestras de madera provenientes de Suecia, para estudiar el perfil atmosférico en muestras afectadas por las pruebas nucleares. Este estudio ha dado lugar a un trabajo de fin de máster. También se han llevado a cabo pruebas para la preparación de muestras de biodiésel y otros componentes líquidos orgánicos utilizando el sistema de grafitización automático. Los resultados han sido publicados y aceptados a finales de 2014 y dieron lugar a un trabajo de fin de grado en 2013.

Por último, cabe señalar que el CNA ha participado por primera vez en un ejercicio de intercomparación internacional de radiocarbono. Los resultados globales del ejercicio solo se han hecho públicos parcialmente, y se espera que durante el primer semestre de 2015 se tengan al completo.

*The most important research collaboration has been carried on with the Instituto Milá i Fontanals, CSIC, with one published paper accepted by the end of 2014, and several papers in preparation. The research is around archaeological studies dating bone fragments from burials. As in the previous years, we still make control measurements of the C-14 concentration in diet samples from two different location of the country, in a three month basis.*

*During 2013 and 2014 we have performed the analysis of wood samples from Sweeden to study the C-14 concentration profile in samples affected by the nuclear tests. This study has been presented as the final research in master studies. We have also investigated the possibility to prepare biodiesel and other organic liquid samples in our automatic graphitization equipment. Results have been published and accepted by the end of 2014 and were used as the final research in grade studies.*

*Finally, it is worth mentioning that CNA has participated for the first time in an international radiocarbon intercomparison exercise. The final results of the exercise have not yet been fully published, and we expect to get the information through 2015.*



---

## 5. CNA y Sociedad / CNA and Society

---



## 5. CNA y Sociedad / CNA and Society

---

### 5.1 El CNA y la Salud / CNA and Health

---

En el acelerador ciclotrón del CNA se producen radiofármacos necesarios para la técnica de imagen PET (tomografía por emisión de positrones). Estos radiofármacos se producen y se distribuyen en colaboración con la empresa IBA-Molecular. Por otro lado, el CNA dispone de un tomógrafo PET, del que se benefician pacientes del Servicio Andaluz de Salud, para el diagnóstico precoz del cáncer y otras patologías.

En el CNA se desarrollan experimentos de radiobiología, en los que se estudia el efecto de la irradiación con haces de protones sobre cultivos celulares. El fin último de estos estudios es poder optimizar el tratamiento del cáncer mediante protonterapia. La protonterapia trata los tumores mediante haces de protones, depositando su energía de forma mucho más localizada que la radioterapia convencional, y produciendo menores efectos secundarios.

*The Cyclotron at CNA produces radiopharmaceuticals required for PET imaging technique (Positron Emission Tomography). These radiopharmaceuticals are produced and distributed in collaboration with the company IBA-Molecular. CNA also has a PET-CT scanner, used to diagnose Cancer and other pathologies to patients of the Andalusian Health Service.*

*Radiobiology experiments are carried out at CNA, to study the effect of proton beam irradiation on cellular cultures. The ultimate goal of this research is to optimize the treatment of cancer through proton therapy. Proton therapy treats tumors by proton beams, which deposit their energy much more localized than conventional radiotherapy, producing less secondary effects.*

## 5.2 El CNA y el Medio Ambiente / CNA and Environment

---

En el CNA se vienen realizando diversas investigaciones sobre residuos radiactivos en colaboración con la empresa ENRESA (Empresa Nacional de Residuos S.A.) para mejorar el conocimiento sobre los residuos radiactivos procedentes de centrales nucleares en funcionamiento y en fase de desmantelamiento. El objetivo es la evaluación del nivel de presencia de determinados núcleos radiactivos mediante la técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS), que se encuentra únicamente en el CNA dentro del territorio español.

Mediante la utilización de la espectrometría de masas con acelerador, el CNA también ha participado en una misión internacional liderada por la IAEA enfocada a la evaluación del impacto radiactivo generado por el accidente nuclear de Fukushima en las costas Japonesas y en el Pacífico Occidental. En particular se han realizado determinaciones ultrasensibles de I-129 en aguas superficiales y en perfiles de agua.

*CNA carries out research on radioactive residues in collaboration with the company ENRESA to improve the knowledge of residues from nuclear plants, both active and dismantled. The objective is to evaluate accurately the presence of some radioactive nuclei making use of the AMS technique, only available at CNA in Spain.*

*CNA has participated in the IAEA-led international collaboration to evaluate the impact in the Japanese coasts of the Fukushima accident. Using the AMS techniques, Iodine-129 has been accurately measured in water.*

### 5.3 El CNA y la Cultura / CNA and Cultural Heritage

---

El CNA tiene los dos únicos aceleradores en España que permite aplicar la técnica de espectrometría de masas por aceleradores para realizar el fechado por Carbono-14. Se pueden datar muestras geológicas, arqueológicas, artísticas y del patrimonio histórico en general, utilizando una fracción mínima (microgramos) de la muestra en cuestión. Esto ha permitido por ejemplo fechar manuscritos incunables, esculturas, huesos de yacimientos arqueológicos, testigos de hielo del ártico y otras muestras de interés histórico y arqueológico.

Usando los aceleradores, se pueden determinar, de forma no destructiva y con alta precisión, los elementos químicos que componen objetos de orfebrería, cerámicas, pinturas y otros objetos de interés histórico y artístico. El conocimiento de la composición química, sin alterar la muestra de interés, permite a los arqueólogos obtener información que permita determinar la procedencia de los distintos objetos arqueológicos.

*CNA has the only two accelerators in Spain to apply AMS (Accelerator mass spectrometry) to perform Carbon-14 dating. It allows to date geologic, archaeological, artistic and cultural heritage samples, using a tiny fraction (micrograms) of the sample. This has been applied to date old books, sculptures, bones, ice from the artic and other samples.*

*Using accelerators, one can determine, non-destructively and accurately, the elementary composition of paintings, pottery, goldsmithing, and other objects of historic and artistic interest. The knowledge of the composition gives the archaeologists and historians additional information to determine the origin of the objects.*

#### 5.4 El CNA y la Empresa / CNA and Company

---

El CNA mantiene colaboraciones estables con diversas empresas. Así, la empresa IBA opera el ciclotrón del CNA para la producción de radiofármacos, y los comercializa. La empresa ALTER Technology utiliza el irradiador de  $^{60}\text{Co}$  para la realización de ensayos de componentes aeroespaciales. La empresa ENRESA obtiene medidas de elementos radioactivos y las empresas AVS y ATI, colaboran con el CNA para el desarrollo de instrumentación científica.

El CNA está localizado en el Parque Científico y Tecnológico Cartuja, y participa en las iniciativas del parque y del círculo de empresarios para incrementar la colaboración con las empresas. Recientemente, el CNA recibió el premio Cartuja al Desarrollo Científico. Además, participa regularmente en el foro TRANSFIERE, localizado en Málaga, y colabora con la asociación INEUSTAR de industria de la ciencia.

El CNA, como instalación Científico-Técnica Singular, está abierto a la colaboración con las empresas, tanto como cliente de la industria de la ciencia, como proveedor de servicios con certificaciones de calidad, o como colaborador estratégico de cara a la participación en grandes proyectos nacionales e internacionales.

*CNA maintains stable collaborations with different companies. IBA operates the CNA cyclotron to produce and commercialize radiopharmaceuticals. ALTER uses the  $^{60}\text{Co}$  irradiator to test aerospace components. ENRESA obtains radioactive element measurements and AVS and ATI collaborate with CNA for the development of scientific instrumentation.*

*CNA is placed in Cartuja Scientific and Technologic Park, and participates in the initiatives of the park and its entrepreneur circle, to enhance the collaboration with companies. Recently, CNA received the Cartuja award for scientific development. It participates regularly in the TRANSFIERE forum, and collaborates with the association INEUSTAR of the industry of science.*

*CNA, as a singular scientific and technical infrastructure, is open to the collaboration with companies, as a client of the industry of science, as a provider of quality certified services, and as a strategic partner for large national and international projects.*





---

## 6. Cultura Científica / Outreach

---



## 6. Cultura Científica / Outreach

---

### 6.1 Presentación / Presentation

---

El año 2000 fue en el punto de partida para el programa de Divulgación Científica del Centro Nacional de Aceleradores.

Desde entonces, el CNA tiene diseñado como una de sus líneas estratégicas, un programa de Cultura Científica que comprende diversas acciones divulgativas y de comunicación científica en el ámbito de la Física y sus aplicaciones a los Aceleradores de Partículas y la Física Atómica y Nuclear.

Nuestro público objetivo de las acciones son estudiantes de Secundaria, Bachiller, Formación Profesional dentro de la línea Sanitaria así como estudiantes universitarios y público general.

Los objetivos estratégicos de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación del CNA, UCC+i, son:

- Diseminar la contribución que los Aceleradores de Partículas han aportado a la Ciencia Básica y Aplicada a lo largo de su historia.
- Demostrar la utilidad de los Aceleradores en la resolución de problemas de distinto ámbito científico útiles incluso para la vida cotidiana.
- Contribuir en el ámbito específico de los Aceleradores de Partículas a diseminar en la Sociedad la idea de que la apuesta por la ciencia tiene carácter estratégico para el ser humano.
- Contribuir en el ámbito específico de los Aceleradores de Partículas a la formación científica de la comunidad, necesaria en una Sociedad en la que, cada vez más, la Ciencia, incluso la más lejana a nuestra experiencia diaria, está presente en la vida cotidiana.

*The Outreach Programme of the National Centre of Accelerators is working since 2000.*

*This Scientific Culture Programme is a strategic line for CNA. The different actions carried out are educational activities and scientific communication in the field of Physics and its applications to Particle Accelerators and Atomic and Nuclear Physics.*

*Our visitors are mainly Secondary and High School, job training of the Sanitary Line students and Universities.*

*The main objectives of the Scientific and Innovation Culture Unit:*

*-To illustrate the historical contribution of Particle Accelerators to basic and applied Science.*

*-To show how Particle Accelerators have helped in the resolution of scientific problems and their applications to daily life.*

*-To explain the strategic importance of Particle Accelerators.*

*-To promote scientific knowledge, within the Particle Accelerators field. This is essential in our modern society, where science is particularly involved in daily life.*

## 6.2 Acciones / Actions

Las acciones divulgativas que se llevan a cabo en el CNA son las siguientes:

Programa anual de visitas guiadas al CNA “Visítanos y Conciéciate”. Con carácter semanal y durante todo el año académico, los miembros de la Unidad de Cultura Científica y de la Innovación del CNA muestran los distintos aceleradores de que disponemos en el CNA: Acelerador Tándem Van de Graaff de 3 MV, Ciclotrón, un sistema AMS de baja energía (1 MV), sistema ultracompacto para datación por  $^{14}\text{C}$  llamado MiCaDaS, así como la sala PET/TAC de humanos y la sala del microPET y microCT de investigación preclínica. La actividad consta de la visita a los distintos aceleradores, laboratorios y otras instalaciones del CNA, la charla “Investigación en el CNA” y por último, se desarrolla el Taller de Estructura de la Materia, Óptica y Electromagnetismo “Experimenta con nosotros”.



IES Las Lagunas (21 de Noviembre de 2014)

Jornadas de puertas abiertas de la Semana de la Ciencia “Acelera y Conócenos”. Con motivo de la Semana de la Ciencia, el CNA celebra en el mes de noviembre la actividad “Acelera y Conócenos”, desde sus inicios en el año 2001, consistente en unas jornadas de puertas abiertas donde todo el público puede, mediante reserva previa, visitar nuestro Centro y conocer un poco más de cerca el mundo de los Aceleradores de Partículas.



IES Torre de los Guzmanes (11 de Noviembre de 2014)

Campus de Excelencia de verano "Andalucía Tech". Desde el año 2011, el CNA participa como centro visitado por los alumnos participantes en el Campus de Excelencia Andalucía Tech.



Campus Científico de Verano Andalucía-Tech (08 de Julio de 2014)

Programa anual de visitas a centros educativos “Acelera2”. Dentro de las actividades que lleva a cabo la Unidad de Divulgación Científica del CNA, se encuentra “Acelera2”. En este programa, los miembros de nuestra Unidad se desplazan a los centros educativos para dar la charla “Aceleradores de Partículas”, en la que muestran los aceleradores del CNA y sus aplicaciones.

MasterClass “Investiga con el CNA”. Esta actividad se desarrolla en los centros educativos y consiste en la clase “Técnicas Analíticas con Aceleradores”, en la que se introduce a los alumnos en los distintos métodos de análisis con aceleradores y ellos mismos se enfrentan al estudio de distintos problemas analíticos, así como ejercicios prácticos de Efecto Fotoeléctrico.

Feria de la Ciencia de Sevilla “Acelerando la Ciencia”. El CNA participa, desde la primera feria de la Ciencia en el año 2003, con un stand en la Feria de la Ciencia. Ésta se lleva a cabo todos los años en el mes de mayo en Sevilla. Nuestro centro, participa en la feria con la exposición “Acelerando la Ciencia” consistente en videos, presentaciones y experimentos. En definitiva, muestra la Ciencia e Investigación desarrollada en el CNA al público en general.



Feria de la Ciencia de Sevilla (17 de Mayo de 2014)

Exposición “Aceleradores para la Vida, la Ciencia y la Tecnología” (CNA). Con el fin de dar continuidad a la exposición inaugurada en el Parque de las Ciencias de Granada en

2011, se montó dicha exposición en el CNA, con motivo de la Semana de la Ciencia de noviembre del 2012.

Dado el gran éxito de la exposición entre el público asistente a la misma, la muestra ha quedado instalada con carácter fijo en las instalaciones del Centro Nacional de Aceleradores.



Los elementos fundamentales de esta muestra son la Tecnología con la presentación de elementos tan característicos de los aceleradores como son detectores de partículas, bombas de vacío, medidores de vacío o la Sala de Control del Acelerador Tándem de 3 MV. Asimismo, también cobra especial importancia en esta exposición la presentación de la investigación desarrollada en el CNA y la interacción con el público a través de simples experimentos y simulaciones donde el asistente podrá conocer el funcionamiento de determinadas partes de los aceleradores del CNA.

Rutas Científicas por Andalucía. Desde el año 2008, el Centro Nacional de Aceleradores participa en el Programa de Cooperación Territorial de Rutas Científicas, "Andalucía a tope". En esta actividad los alumnos visitantes conocen los distintos aceleradores del CNA y la investigación que se lleva a cabo en nuestro centro a través de la charla "Investigación en el CNA". Dentro de la actividad, los visitantes participan el Taller de Electromagnetismo, Óptica y Estructura de la Materia "Experimenta con nosotros".

Página Web de Divulgación Científica "El Mundo de las Partículas". También se incluye en nuestro proyecto de divulgación la realización de una página web dirigida a niños y jóvenes, cuyo objetivo es presentar de forma amena y didáctica los fundamentos y



aplicaciones de la investigación con Aceleradores de Partículas y la Física Atómica y Nuclear, <https://institucional.us.es/divulgacioncna/>

Social Media “Redescna”. Uno de los objetivos del CNA, a nivel divulgativo, es el de acercar la investigación que se desarrolla en el centro a través de distintas redes sociales, tales como Xing, LinkedIn, G+, Prester, Facebook, Twitter, Tuenti, Flickr o CANALCNA en YouTube.

Newsletter “Boletín Informativo del CNA”. Con carácter trimestral, se publica un resumen de las noticias más interesantes relacionadas con el CNA, tanto de índole científica, institucional como divulgativa.

Cómic del CNA. Trimestralmente y desde el año 2013, se comenzó con esta nueva acción cuyo objetivo es el de mostrar los estudios que se llevan a cabo en el CNA a través de nuestra mascota “Superprotón” y su inseparable amigo Spiker.

Comunicación de la investigación. En los últimos años, se ha dado desde el Centro Nacional de Aceleradores un impulso a la comunicación de la investigación desarrollada en el Centro y por sus investigadores mediante notas de prensa con difusión en medios locales, autonómicos y nacionales.

Concurso de Fotografía Científica del CNA (Septiembre-Noviembre). Desde el año 2012, el CNA viene organizando el Concurso de Fotografía Científica con el objetivo de fomentar el interés por la Ciencia y la Tecnología entre el público no especializado.

*The outreach actions carried out in the center are:*

*Programme of annual visits “Visítanos y Conciénciate”. Weekly, the Outreach group shows the different CNA accelerators: 3 MV Tandem Accelerator, Cyclotron with 18 MeV protons and 9 MeV deuterons, an AMS low energy system (1 MV), MiCaDaS (Mini radioCarbon Dating System), scanner PET/CT and microPET and microCT laboratory. In this activity, the visitants go to the different facilities of CNA. Also it is given the conference “Research at CNA” and the experimental workshop “Experiment with us”.*

*Open doors during Science Week “Acelera y Conócenos”. Since 2001, CNA carries out the activity “Acelera y Conócenos”. During Science Week, which is held annually in November, our center carries out open conferences where anyone, who wants to learn a little more about the world of particle accelerators, can visit us.*

*Summer Campus of Excellence “Andalucía Tech”. Since 2011, the CNA has been selected to participate as a center visited by the students participating in the Andalusia Campus of Tech.*

*Visits to educative Centers “Acelera2”. The members of Outreach Unit visit different centers where they impart the conference “Particle Accelerators”.*

Masterclass “Research with CNA”. In this activity, the students of the different educative centers have to do exercises on analytical techniques with accelerators and other practical exercises such as Photoelectric Effect.

Sevilla Science Fair “Acelerando la Ciencia”. CNA participates with a stand at the Science Fair which takes place every year in May since 2003. Our center participates in the fair exposing videos, presentations, doing experiments, in order to approach science to young people.

Exhibition “Aceleradores para la Vida, la Ciencia y la Tecnología” (CNA). CNA set up the exhibition in its hall with the aim to continue the exhibition of Granada “Partículas para la Vida, la Ciencia y la Tecnología” in 2011.

This exhibition started in November with the Science Week. Due to the success of the exhibition, CNA has installed the exhibition with immovable character for the visits from all persons who are interested.

The elements of this show are the technology with the introduction of characteristic elements such as accelerators, particle detectors, vacuum pumps, vacuum gauges or Control Room of 3 MV Tandem Accelerator. Also it is particularly important in this exhibition the research developed in the CNA. The visitors interact through simple experiments and simulations where the public can learn how certain parts of the accelerators of CNA work.

Scientific Routes Territorial Cooperation Program “Andalucía a tope”. Since 2008, CNA participates in the Scientific Routes Territorial Cooperation Program, funded by the Ministerio de Educación de España. In this activity, the students visit CNA facilities. Also it is given the conference “Research at CNA” and the experimental workshop “Experiment with us” and other guided visit activities.

CNA Outreach website. The outreach program has a website devoted to children and young people, to show research with Particle Accelerators and Atomic and Nuclear Physics, <https://institucional.us.es/divulgacioncna/>

Social networks. The different activities of CNA are shown in the social networks such as Xing, LinkedIn, G+, Prester, Facebook, Twitter, Tuenti, Flickr or CANALCNA in YouTube.

Newsletter. Every three months, a newsletter is elaborated with all the information on research, or activities at CNA.

Comic. Since 2013, our group develops a new action based in our friend “Superproton” and its dog called Spiker. With them we try to show the different studies carried out at CNA to the young people.

*Research Communication.* In recent years, there has been from the Centro Nacional de Aceleradores boost the communication of research carried out at the Centre and for its researchers through press notes to local, regional and national media diffusion.

*CNA Scientific Photography Contest (September-November).* Since 2012, CNA organizes the Contest of Scientific Photography for non-specialist public to promote Scientific Culture.

### 6.3 Otras acciones / Other actions

En este apartado se muestran las acciones de carácter eventual llevadas a cabo por la Unidad de Divulgación a lo largo de los años 2013 y 2014:

*In this section, it is shown other eventual actions which have been developed by Outreach Group during 2013 and 2014:*

#### 6.3.1 Año 2013 / Year 2013

Exposición “El instrumento científico más grande jamás construido” (Diciembre 2012-Enero 2013) (CNA). La Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), como máximo centro de investigación experimental en Física de Partículas, trajo a Sevilla esta exposición con el objetivo de aproximar la investigación desarrollada en sus distintas instalaciones a todo el público.

El Centro Nacional de Aceleradores (CNA) fue el encargado de albergar esta muestra sobre el CERN, entre el 20 de diciembre de 2012 y el 9 de enero de 2013.

*Exhibition “The biggest scientific instrument ever built” (December 2012-January 2013) (CNA). CERN brought its exhibition at CNA during 20 days with the aim to show the research of the biggest facility of the world dedicated to Nuclear Physics.*



### 6.3.2 Año 2014 / Year 2014

Noche de los investigadores (Septiembre 2014). Por primera vez, el Centro Nacional de Aceleradores participa en la Noche de los Investigadores.

La aportación del CNA a este evento consistió en la presentación de Cristina Battaglia en “The European Corner”, el taller “Aceleradores de Partículas y Sociedad” y el microencuentro, “Aceleradores de partículas: Del bosón de Higgs al diagnóstico del cáncer”.

*Researchers' night (September 2014). The National Accelerator Centre participates in Researchers' Night.*

*CNA's contribution to this event was the presentation of Cristina Battaglia on “The European Corner”, the workshop “Particle Accelerators and Society” and the conference, “Particle accelerators: from Higgs boson to the diagnosis of cancer”.*

Exposición “La física de partículas, astropartículas y la física nuclear en nuestras vidas” (Octubre-Noviembre 2014). La exposición llegó a Sevilla de la mano del CPAN con el apoyo del Centro Nacional de Aceleradores, centro integrante del CPAN, en el mes de octubre, siendo visitable desde el 14 de octubre hasta el 2 de noviembre en la céntrica Puerta de Jerez.



La aportación del CNA a esta exposición itinerante se centró en las aplicaciones de nuestros aceleradores de partículas a campos tan variados como el Diagnóstico por Imagen Médica gracias al uso de aceleradores de partículas como el ciclotrón del CNA,

que dispone de un servicio de diagnóstico por imagen experimental donde colaboran, entre otros, el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla, o su utilidad para estudios de impacto medioambiental gracias a la tecnología de Espectrometría de Masas con Aceleradores empleada con el acelerador SARA (Spanish Accelerator for Radionuclei Analysis) del CNA.

*Exhibition “Particle physics, astroparticle and nuclear physics in our lifes” (October-November 2014). The exhibition could be visited from October 14 to November 2 in the central Puerta de Jerez. The exhibition arrived at Seville thanks to CPAN.*

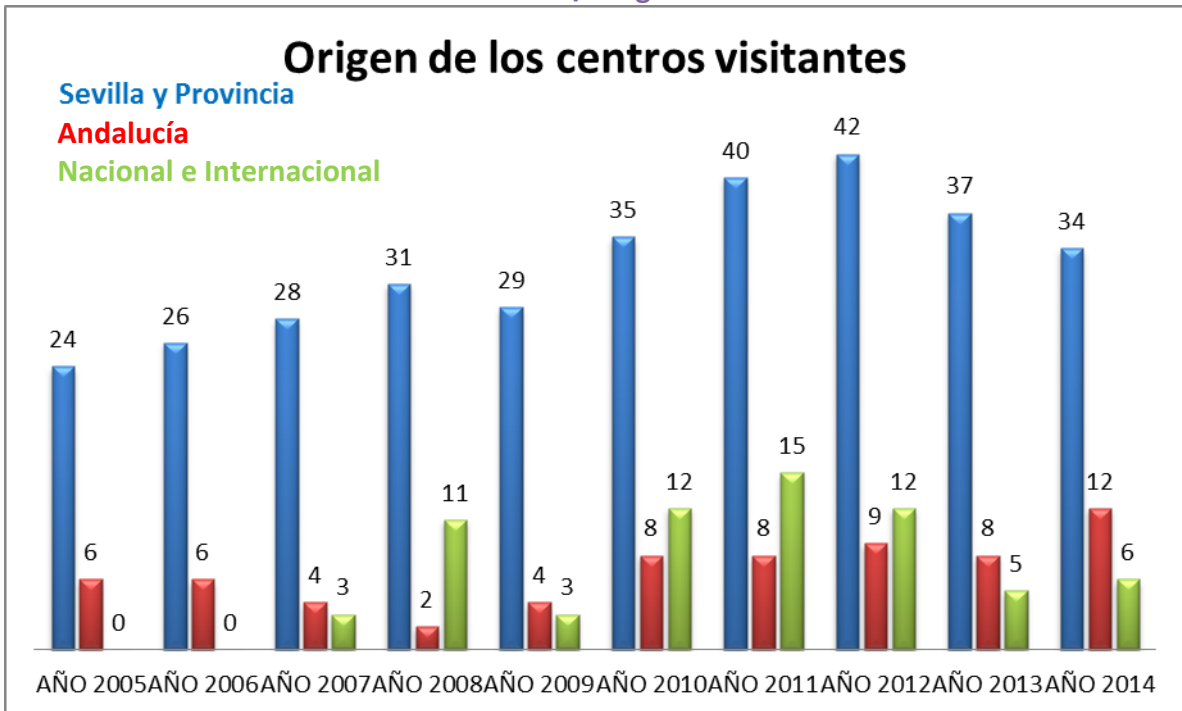
*CNA's contribution to this traveling exhibition focused on the applications of our particle accelerators such as medical imaging by using particle accelerators as cyclotron of CNA, where the Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla collaborates among others, or its usefulness for studies of environmental impact through technology accelerator Mass Spectrometry employed with the SARA accelerator (Spanish accelerator for radionuclides Analysis) of CNA.*

6.4 Impacto de actividades / Activities impact

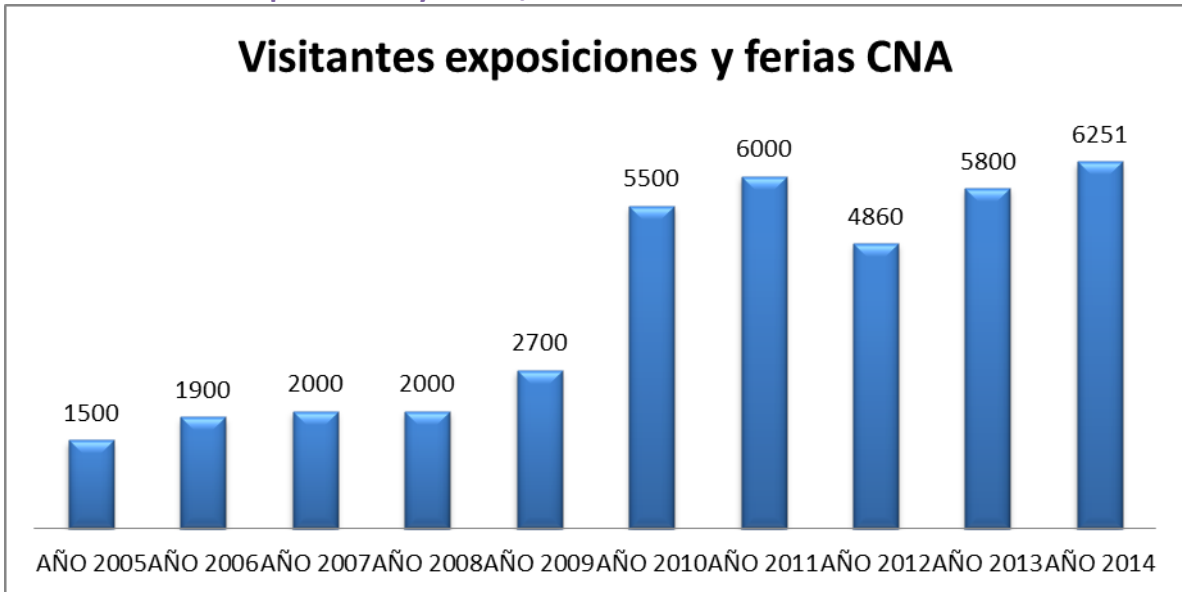
6.4.1 Visitantes de las instalaciones por año / Annual visitors



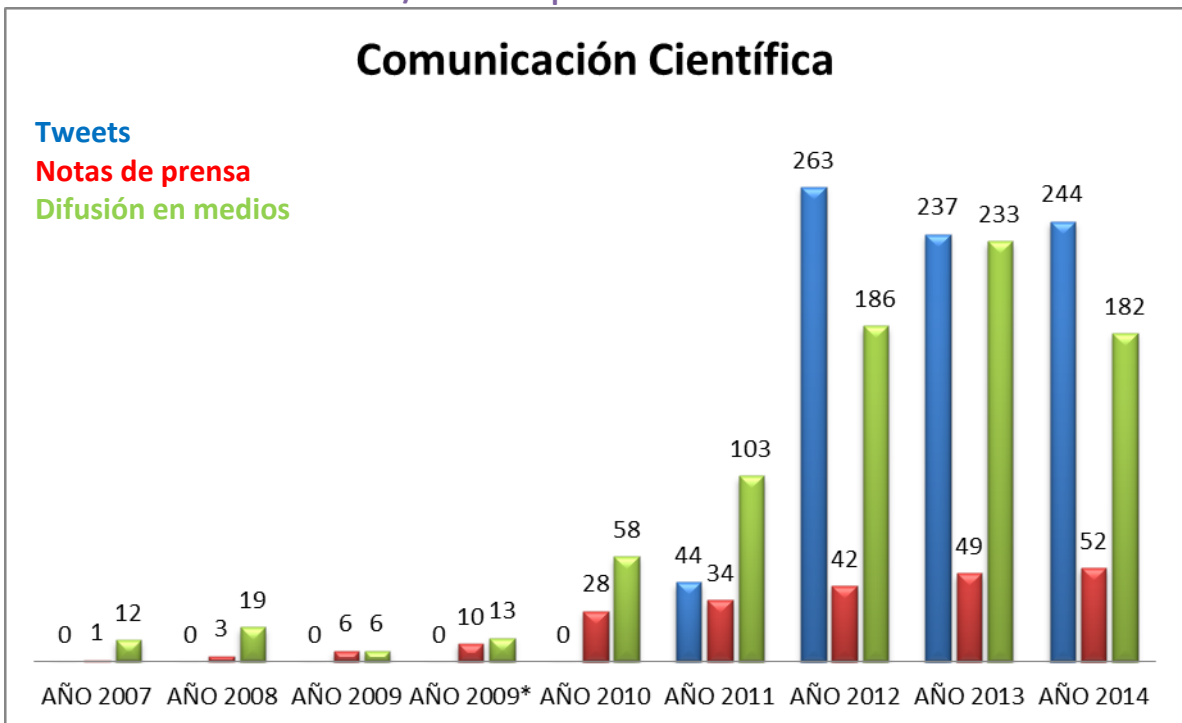
6.4.2 Procedencia de los centros visitantes / Origin of visitant centers



6.4.3 Visitantes a exposiciones y ferias / Visitors of exhibitions



6.4.4 Comunicación Científica / Scientific press notes







---

## 7. Producción Científica / Scientific Production

---



## 7. Producción Científica / Scientific Production

---

En este apartado, se muestran los resultados de la producción científica que se ha llevado a cabo por cada una de las Unidades de Investigación del CNA:

*In this section, the research carried out by the different CNA Research Units is shown:*

### 7.1 Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects, Agreements and Contracts

---

#### 7.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects

##### **Optimization for particle accelerators (oPAC). A Marie Curie Initial Training Network** FP7-PEOPLE-2011-ITN

Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (7º Programa Marco de la U.E)

Joaquín Gómez Camacho

30/11/2011 al 30/11/2015

##### **Ion Beam Accelerators Techniques for Characterization and Defects Production in Semiconductors and Insulators Materials and Devices**

Coordinated Research Project 17034

International Atomic Energy Agency (IAEA)

Francisco Javier García López

08/12/2011 al 07/12/2015

##### **Development of scintillator-based Fast Ion loss detectors for Fusion Devices using Low-Energy Particle Accelerators**

PCIG11-GA-2012-321455

Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (7º Programa Marco de la U.E)

Manuel García Muñoz

01/09/2012 al 31/08/2016

##### **Diagnosing fast ion behavior in ITER**

EFDA-WP12-IPH-A

EURATOM FP7

Francisco Javier García López

01/01/2013 al 31/12/2013

##### **Phase-space dynamics of energetic ions in the presence of Alfvén Eigenmodes, Edge Localized Modes and externally applied Magnetic Perturbations**

CfP-WP14-ER-01/CIEMAT-05

Eurofusion

Manuel García Muñoz

01/01/2014 al 31/12/2014

**Implementation of the scintillator-based fast-ion loss detectors on MAST and AUG**

WP14-MST2-3

Eurofusion

Manuel García Muñoz

01/01/2014 al 31/12/2016

**Scintillator Probe Upgrade**

WPJET4-SPU

Eurofusion

Manuel García Muñoz

01/01/2014 al 31/12/2016

**7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic Projects**

**Dispersión, Estructura, Trazado de Núcleos Exóticos e Instrumentación Nuclear**

FPA2009-08848

MICINN (Plan Nacional del 2009)

Joaquín Gómez Camacho

01/01/2010 al 30/06/2014

**Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas**

P09-HUM-4544

Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas) (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía)

Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

03/02/2010 al 02/10/2014

**Centro para ensayos de irradiación en Dispositivos para Espacio-CEIDES**

TEC2010-22095-C03-02

MICINN (Plan Nacional del 2010)

Yolanda Morilla García

01/01/2011 al 30/09/2014

**Uso de la Tecnología de Aceleradores de Partículas en la Caracterización de Residuos Nucleares**

P10-FQM-5956

Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas) (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía)

José María López Gutiérrez

15/03/2011 al 14/06/2015

**Laboratorio para Ensayos de Irradiación “RADLAB”**

IPT-2011-1603-370000  
MICINN (OPN-INNPACTO)  
Joaquín Gómez Camacho  
05/05/2011 al 31/12/2014

**Use of Low-Energy Particle Accelerators at CNA to Develop and Calibrate Detectors of Energetic Particle Losses for Magnetically Confined Fusion Devices**

RYC-2011-09152  
MINECO (Dotación adicional Ramón y Cajal)  
Manuel García Muñoz  
01/09/2012 al 31/08/2017

**Transporte de iones rápidos inducido por inestabilidades magnetohidrodinámicas en plasmas calientes confinados magnéticamente**

ENE2012-31087  
MINECO (Plan Nacional del 2012)  
Manuel García Muñoz  
01/01/2013 al 31/12/2015

**Espectrometría de masas con aceleradores de baja energía (Leams) en el Centro Nacional de Aceleradores: Datación y aplicaciones ambientales**

FIS2012-31853  
MINECO (Plan Nacional del 2012)  
Manuel García León  
01/01/2013 al 31/12/2015

**La Producción Metálica de las Sociedades Mediterráneas (Ss. VII A.c.-II D.c.): Valor, Circulación y Cambio Tecnológico**

HAR2012-33002  
MINECO (Plan Nacional de 2012)  
Miguel Ángel Respaldiza Galisteo  
01/01/2013 al 31/12/2015

**Línea de neutrones en el CNA**

UNSE13-1E-2023  
MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Equipamiento)  
Joaquín Gómez Camacho  
01/01/2013 al 31/12/2015

**Técnicas avanzadas de análisis ambiental por AMS en el CNA**

UNSE13-1E-1821  
MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Equipamiento)  
Rafael García-Tenorio García-Balmaseda  
01/01/2013 al 31/12/2015

**Vitrificación de ovocitos y embriones bovinos producidos in vitro en bajas concentraciones de crioprotector**

RTA2012-00026-00-00

MINECO (Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria)

Julio de la Fuente

13/05/2013 al 05/12/2016

**Física Nuclear y Aplicaciones Médicas en el Centro Nacional de Aceleradores**

FPA2013-47327-C2-1-R

MINECO (Plan Nacional del 2012)

Joaquín Gómez Camacho

01/01/2014 al 31/12/2016

**Microlab-on-chip para producción de radiofármacos para diagnóstico PET**

TIC-2296

Junta de Andalucía (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía)

José Manuel Quero Reboul

30/01/2014 al 29/01/2018

**Integración de la imagen PET/CT en una planificación radioterápica de precisión y adaptativa**

CTS-2482

Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas)

Antonio Leal Plaza

2014-2016

**Avances en las técnicas nucleares de análisis no destructivos y aplicaciones en el estudio de las tecnologías de fabricación de objetos metálicos antiguos**

SUBCEI2014/004

MICINN (Campus de Excelencia Internacional)

Miguel Ángel Respaldiza Galiesteo

24/10/2014 al 23/10/2015

**7.1.3 Convenios y Contratos / Agreements and Contracts**

**Contrato de Explotación temporal del laboratorio de radiofarmacia asociado al acelerador denominado CICLOTRON del CNA e investigación**

IBA Molecular S.A

Joaquín Gómez Camacho

09/12/2003 hasta la actualidad

**Convenio de colaboración entre Ciemat y CNA**

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat)

Joaquín Gómez Camacho

26/06/2007 al 01/10/2013

**Convenio de colaboración entre la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y la Universidad de Sevilla para llevar a cabo el programa de captación del conocimiento para Andalucía (C2A)**

Junta de Andalucía  
Joaquín Gómez Camacho  
10/12/2009 al 10/12/2013

**Convenio específico de colaboración entre el CNA y el HUVR para la potenciación de la investigación y el desarrollo de las aplicaciones humanas de la tomografía por emisión de positrones**

Junta de Andalucía (Servicio Andaluz de Salud)  
Joaquín Gómez Camacho  
17/11/2011 hasta la actualidad

**Convenio de Colaboración entre la Institución Milá Fontanals del CSIC, la Universidad Autónoma de Barcelona y el CNA**

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)  
Joaquín Gómez Camacho  
01/02/2012 al 31/12/2014

**Optimización de un procedimiento general para la determinación de isótopos de torio en muestras ambientales e industriales**

OPNCSN012/008  
Consejo de Seguridad Nuclear  
Rafael García-Tenorio García-Balmaseda  
15/11/2012 al 14/11/2015

**Convenio de irradiación con la empresa ALTER**

Alter Technology  
Joaquín Gómez Camacho  
01/01/2013 hasta la actualidad

**Asesoramiento en el diseño de los ensayos analíticos asociados al proyecto de estudio radiológico en la zona granítica del Oeste de la Península Ibérica**

LABS & Technological Services AGQ, S.L.  
Rafael García-Tenorio García-Balmaseda  
22/10/2013 al 21/01/2014

**Acuerdo Específico de Cooperación entre el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) y la Universidad de Sevilla (US) en el marco del programa "Education" de Eurofusion**

CIEMAT-Eurofusion  
Manuel García Muñoz  
01/01/2014 al 31/12/2014

## 7.2 Artículos publicados / Published Articles

---

### 7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles

#### **Silver surface enrichment in ancient coins studied by micro-PIXE**

F.J. Ager; A.I. Moreno Suárez; S. Scrivano; I. Ortega Feliu; B. Gómez Tubío; M.A. Respaldiza

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (306) (241-244) (2013)

#### **Identification of soldering and welding processes in ancient gold jewelry by micro-XRF spectroscopy**

S. Scrivano; B. Gómez Tubío; I. Ortega Feliu; F.J. Ager; A.I. Moreno Suárez; M.A. Respaldiza; M.L. de la Bandera; A. Marmolejo

X Ray Spectrometry (42) (251-255) (2013)

#### **A MATLAB-based interface for the beam-transport system of an AMS facility**

J.M. Gómez Guzmán; I. Gómez Morilla; S.M. Enamorado Báez; A.I. Moreno Suárez; A.R. Pinto Gómez

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (316) (130-136) (2013)

#### **Quasi-elastic processes of the $^{48}\text{Ca} + ^{120}\text{Sn}$ system and the $^{48}\text{Ca}$ nuclear matter density**

E. Crema; M.A.G. Álvarez; N. H. Medina; L. R. Gasques; J.F.P. Huiza; B. Fernández; Z. Abou-Haidar; P.N. de Faria; P.R.S. Gomes; J. Lubian; D. Verney

Physical Review C (88) (044616/1-8) (2013)

#### **Certified Reference Material IAEA-446 for radionuclides in Baltic Sea seaweed**

M.K. Pham; M. Benmansour; F.P. Carvalho; E. Chamizo; D. Degering; C. Engeler; C. Gascó; J.P. Gwynn; A.V. Harms; E. Hrneckec; F.L. Ibanez

Applied Radiation and Isotopes (on-line)

#### **Long-lived radionuclides in residues from operation and decommissioning of nuclear power plants**

J.M. López Gutiérrez; J.M. Gómez Guzmán; E. Chamizo; J.I. Peruchena; M. García León

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (294) (647-651) (2013)

#### **Femtosecond-laser written 16.5 mm long glass-waveguide amplifier and laser with 5.2 dB/cm internal gain at 1534 nm**

J. Hoyo; V. Berdejo; T. Toney Fernández; A. Ferrer; A. Ruiz; J.A. Vallés; M.A. Rebolledo; I. Ortega Feliu; J. Solis

Laser Physics Letters (10) (105802/1-7) (2013)

#### **Low refractive index SiOF thin films prepared by reactive magnetron sputtering**



F.J. García García; J. Gil Rostra; A. Terriza; J.C. González; J. Cotrino; F. Frutos; F.J. Ferrer; A.R. González Elipe; F. Yubero  
Thin Solid Films (542) (332-337) (2013)

**A new bottom-up methodology to produce silicon layers with a closed porosity nanostructure and reduced refractive index**

V. Godinho; J. Caballero Hernández; D. Jamon; T.C. Rojas; R. Shierholz; J. García López; F.J. Ferrer; A. Fernández  
Nanotechnology (24) (275604/1-10) (2013)

**Preventing the degradation of Ag nanoparticles using an ultrathin  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  layer as protective barrier**

G. Baraldi; M. Carrada; J. Toudert; F.J. Ferrer; A. Arbouet; V. Paillard; J. Gonzalo  
Journal of Physical Chemistry C (117) (9431-9439) (2013)

**Combined reactive magnetron sputtering and plasma decomposition of non-volatile precursors to grow luminescent thin films**

J. Gil Rostra; F. Yubero; F.J. Ferrer; A.R. González Elipe  
Surface and Coatings Technology (222) (144-150) (2013)

**Tuning dichroic plasmon resonance modes of gold nanoparticles in optical thin films**

D. González García; J. Parra Barranco; J.R. Sánchez Valencia; F. J. Ferrer; M.C. García Gutiérrez; A. Barranco; A.R. González Elipe  
Advanced Functional Materials (23) (1655-1663) (2013)

**AMS measurements of  $^{129}\text{I}$  in seawater around Iceland and the Irminger Sea**

J.M. Gómez Guzmán; M. Villa; F. Le Moigne; J.M. López Gutiérrez; M. García León  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (294) (547-551) (2013)

**Pre- and post-Chernobyl accident levels of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the Southern Baltic Sea by brown seaweed *Fucus vesiculosus***

J.M. Gómez Guzmán; E. Holm; S.M. Enamorado Báez; J.A. Abril; A.R. Pinto Gómez; J.M. López Gutiérrez; M. García León  
Journal of Environmental Radioactivity (115) (134-142) (2013)

**Iodine-129 microdosing for protein and peptide drug development: erythropoietin as a case study**

R.J. Lamers; A. de Jong; J.M. López Gutiérrez; J.M. Gómez Guzmán  
Bioanalysis (5-1) (53-63) (2013)

**Measurement of the MACS of  $^{181}\text{Ta}$  ( $n,\gamma$ ) at  $kT = 30$  keV as a test of a method for Maxwellian neutron spectra generation**

J. Praena; P.F. Mastinu; M. Pignatari; J.M. Quesada; J. García López; M. Lozano; N. Dzysiuk; R. Capote; G. Martín Hernández

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (727) (1-6) (2013)

**Elastic scattering of the  $^8\text{He}+^{208}\text{Pb}$  at 22 MeV**

G. Marquínez Durán; A.M Sánchez Benítez; I. Martel; L. Acosta; K. Rusek; M.A.G. Álvarez; R. Berjillos; M.J.G. Borge; A. Chbihi; C. Cruz; J. Gómez Camacho  
Acta Physica Polonica B (44) (467-470) (2013)

**$^{11}\text{Li}$  Breakup on  $^{208}\text{Pb}$  at energies around the Coulomb Barrier**

J.P. Fernández García; M. Cubero; M. Rodríguez Gallardo; L. Acosta; M. Alcorta; M.A.G. Álvarez; M.J.G Borge; L. Buchmann; C.A. Diget; H.A. Falou; J. Gómez Camacho  
Physical Review Letters (110) (142701/1-5) (2013)

**Export of organic carbon and biominerals derived from  $^{234}\text{Th}$  and  $^{210}\text{Po}$  at the Porcupine Abyssal Plain**

F.A.C. Le Moigne; M. Villa Alfageme; R.J. Sanders; C. Marsay; S. Henson; R. García-Tenorio  
Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers (72) (88-101) (2013)

**Occupational exposures in two industrial plants devoted to the production of ammonium-phosphate fertilizers**

J.P. Bolívar; R. García-Tenorio; F. Mosqueda; M.J. Gázquez; I. López Coto; J.A. Adame; F. Vaca  
Journal of Radiological Protection (33) (199-212) (2013)

**Radioactive characterization of the main materials involved in the titanium dioxide production process and their environmental radiological impact**

J. Mantero; M.J. Gázquez; J.P. Bolívar; R. García-Tenorio; F. Vaca  
Journal of Environmental Radioactivity (120) (26-32) (2013)

**Evaluation of the use of  $\text{TiO}_2$  industry red gypsum waste in cement production**

M.J. Gázquez; J.P. Bolívar; F. Vaca; R. García-Tenorio; A. Caparrós  
Cement and Concrete Composites (37) (76-81) (2013)

**Estudios radioecológicos en el Centro Nacional de Aceleradores basados en el uso de la espectrometría de masas con acelerador (AMS)**

E. Chamizo; J.M. López Gutiérrez; J.M. Gómez Guzmán; F.J. Santos; M. García León; R. García-Tenorio  
Radioprotección (74) (41-47) (2013)

**$^{90}\text{Sr}$  and  $^{89}\text{Sr}$  in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident**

N. Casacuberta; P. Masqué; J. García Orellana; R. García-Tenorio; K.O. Buesseler  
Biogeosciences (10) (3649-3659) (2013)

**$^{210}\text{Po}$  concentration of commercial bottled waters in Spain and its dose contribution**

I. Díaz Francés; J. Mantero; G. Manjón; J. Díaz; R. García-Tenorio  
Radiation Protection Dosimetry (156) (336-342) (2013)

**Meso-scale Behavior of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in superficial air along the Gulf of Cadiz (South of Iberian Peninsula)**

R.L. Lozano; M.A. Hernández Ceballos; J.F. Rodrigo; E.G. San Miguel; M. Casas Ruiz; R. García-Tenorio; J.P. Bolívar  
Atmospheric Environment (80) (75-84) (2013)

**Structural, optical, and spectroscopic properties of  $\text{Er}^{3+}$ -doped  $\text{TeO}_2\text{-ZnO-ZnF}_2$  glass-ceramics**

A. Miguel; R. Morea; M.A. Arriandiaga; M. Hernández; F.J. Ferrer; C. Domingo; J.M. Fernández-Navarro; J. Gonzalo; J. Fernández; R. Balda  
Journal of the European Ceramic Society (34) (3959-3968) (2014)

**On the Deposition Rate of Magnetron Sputtered Thin Films at Oblique Angles**

R. Álvarez; J.M. García-Martín; M.C. López-Santos; V. Rico; F.J. Ferrer; J. Cotrino; A.R. González-Elipe; A. Palmero  
Plasma Processes and Polymers (11) (571-576) (2014)

**Simultaneous quantification of light elements in thin films deposited on Si substrates using proton EBS (Elastic Backscattering Spectroscopy)**

F.J. Ferrer; M. Alcaire; J. Caballero-Hernández; F.J. García-García, J. Gil-Rostra; A. Terriza; V. Godinho; J. García-López; A. Barranco; A. Fernández-Camacho  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (332) (449-453) (2014)

**Characterization of scintillator materials for fast-ion loss detectors in nuclear fusion reactors**

M.C. Jiménez-Ramos; J. García López; M. García-Muñoz; M. Rodríguez-Ramos; M. Carmona Gázquez; B. Zurro  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (332) (216-219) (2014)

**Charge collection efficiency degradation on Si diodes irradiated with high energy protons**

J. García López; M.C. Jiménez-Ramos  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (332) (220-223) (2014)

**Measurement of the MACS of  $^{159}\text{Tb}(n,\gamma)$  at  $kT = 30$  keV by Activation**

J. Praena; P.F. Mastinu; M. Pignatari; J.M. Quesada; R. Capote; Y. Morilla  
Nuclear Data Sheets (120) (205-207) (2014)

**New insights on the role of sea ice in intercepting atmospheric pollutants using  $^{129}\text{I}$**

J.M. Gómez-Guzmán; P. Cámara-Mor; T. Suzuki; J.M. López-Gutiérrez; J.L. Mas; P. Masqué; S.B. Moran; J.N. Smith  
Marine Pollution Bulletin (89) (180-190) (2014)

**Plasters in medieval mural paintings of Carinthia and its influence on Slovenia**

A. Kriznar  
Journal of Architectural Conservation (20/1) (43-55) (2014)

**Non-destructive XRF analysis of selected Flemish panel paintings in the Fine Arts Museum of Seville**

A. Kriznar; M.V. Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega  
Journal of the Institute for Conservation (37/2) (136-151) (2014)

**A comparative study of wall painting materials and techniques used in fifteenth century Austria by Frederich of Villach and his followers**

A. Kriznar  
Studies in Conservation (59/5) (289-299) (2014)

**Raman microspectroscopic analysis of pigments of the Gothic wall painting from the Dominican Monastery in Ptuj (Slovenia)**

M. Gutman; M. Lesar-Kikelj; A. Mladenovič; V. Čobal-Sedmak; A. Kriznar; S. Kramar  
Journal of Raman Spectroscopy (45/11) (992-1002) (2014)

**Certified Reference Material IAEA-446 for radionuclides in Baltic Sea seaweed**

M.K. Pham; M. Benmansour; F.P. Carvalho; E. Chamizo; D. Degering; C. Engeler; C. Gascó; J.P. Gwynn; A.V. Harms; E. Hrncsek; F.L. Ibanez; C. Ilchmann  
Applied Radiation and Isotopes (87) (468-474) (2014)

**Scattering of light halo nuclei on heavy target at energies around the Coulomb barrier**

O. Tengblad; M.J.G. Borge; M. Cubero; E. Nacher; V. Pesudo; A. Perea; J. Gómez-Camacho; A.M. Moro; J.P. Fernández-García; M.A.G. Alvarez; M. Rodríguez-Gallardo; J.A. Lay; I. Martel; L. Acosta; A.M. Sánchez-Benítez; G. Marquínez-Durán; P. Walden  
EPJ Web of Conferences (66) (03086) (2014)

**Near barrier scattering of  $^8\text{He}$  on  $^{208}\text{Pb}$**

G. Marquínez-Durán; A.M. Sánchez-Benítez; I. Martel; L. Acosta; K. Rusek; M.A.G. Álvarez; R. Berjillos; M.J.G. Borge; A. Chbihi; C. Cruz; M. Cubero; J.A. Dueñas; J.P. Fernández-García; B. Fernández-Martínez; J.L. Flores; J. Gómez-Camacho; N. Keeley; J.A. Labrador; M. Marqués; A.M. Moro; M. Mazzocco; A. Pakou; V.V. Parkar; N. Patronis; V. Pesudo; D. Pierrotsakou; R. Raabe; R. Silvestri; N. Soic; L. Standylo; I. Strojek; O. Tengblad; R. Wolski; A.H. Ziad  
EPJ Web of Conferences (66) (03058) (2014)

**Elastic and break-up of the 1n-halo  $^{11}\text{Be}$  nucleus**

A. Di Pietro; A.M. Moro; L. Acosta; F. Amorini; M.J.G. Borge; P. Figuera; M. Fisichella; L.M. Fraile; J. Gómez-Camacho; H. Jeppesen; M. Lattuada; I. Martel; M. Milin; A. Musumarra; M. Papa; M.G. Pellegriti; F. Pérez-Bernal; R. Raabe; G. Randisi; F. Rizzo; V. Scuderi; O. Tengblad; D. Torresi; A. Maira Vidal; D. Voulot; F. Wenander; M. Zadro  
EPJ Web of Conferences (66) (03023) (2014)

**Core excitations in the structure and reactions of halo nuclei**

J.A. Lay; A.M. Moro; J.M. Arias; J. Gómez-Camacho  
EPJ Web of Conferences (66) (03053) (2014)

**Reaction of the halo nucleus  $^{11}\text{Be}$  on heavy targets at energies around the coulomb barrier**

V. Pesudo; M.J.G. Borge; A.M. Moro; E. Nacher; L. Acosta; M. Alcorta; M.A.G. Alvarez; G.C. Ball; P.C. Bender; R. Braid; M. Cubero; A. Di Pietro; J.P. Di Pietro; P. Figuera; M. Fisichella; B.R. Fulton; A.B. Garnsworthy; J. Gómez-Camacho; G. Hackman; O.S. Kirsebom; K. Kuhn; R. Krüecken; M. Lattuada; J.A. Lay; G. Marquínez-Durán; I. Martel; D. Miller; M. Moukaddam; P.D. O'Malley; A. Perea; M.M. Rajabali; A.M. Sánchez-Benítez; F. Sarazin; V. Scuderi; C.E. Svensson; O. Tengblad; C. Unsworth; Z.M. Wang  
Acta Physica Polonica B (45) (375-382) (2014)

**Study of the break-up channel in  $^{11}\text{Li}+^{208}\text{Pb}$  collisions at energies around the Coulomb barrier**

J.P. Fernández-García; M. Cubero; M. Rodríguez-Gallardo; L. Acosta; M. Alcorta; M.A.G. Alvarez; M.J.G. Borge; L. Buchmann; C.A. Diget; H.A. Falou; B.R. Fulton; H.O.U. Fynbo; D. Galaviz; J. Gómez-Camacho; R. Kanungo; J.A. Lay; M. Madurga; I. Martel; A.M. Moro; I. Mukha; T. Nilsson; A.M. Sánchez-Benítez; A. Shotter; O. Tengblad; P. Walden  
Journal of Physics: Conference Series (515) (012004) (2014)

**Fitting of alpha-efficiency versus quenching parameter by exponential functions in liquid scintillation counting**

M. Sosa; G. Manjón; J. Mantero; R. García-Tenorio  
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (745) (12-15) (2014)

**A review of the production cycle of titanium dioxide pigment**

M.J. Gázquez; J.P. Bolívar; R. García-Tenorio; F. Vaca  
Materials Sciences and Applications (5) (441-458) (2014)

**A comparative evaluation of the CIC and CRS models in  $^{210}\text{Pb}$  chronological studies applied to hydrographic basins in Brazil**

D.M. Bonotto; R. García-Tenorio  
Applied Radiation and Isotopes (92) (58-72) (2014)

**Fast-ion transport in the presence of magnetic reconnection induced by sawtooth oscillations in ASDEX Upgrade**

B. Geiger; M. García-Muñoz; R. Dux; F. Ryter; G. Tardini; L.B. Orte; I.G.J. Classen; E. Fable; R. Fischer; V. Igochine; R.M. McDermott  
Nuclear Fusion (54) (22005) (2014)

**Influence of externally applied magnetics perturbations on neoclassical tearing modes at ASDEX Upgrade**

S. Fietz; A. Bergmann; I. Classen; M. Maraschek; M. García-Muñoz; W. Suttrop; H. Zohm; ASDEX Upgrade Team  
Nuclear Fusion (55) (13018) (2014)

**7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles**

**Scattering of  $^8\text{He}$  on  $^{208}\text{Pb}$  at 22 MeV**

G. Marquínez Durán; A.M. Sánchez Benítez; I. Martel, L. Acosta; K. Rusek; M.A.G. Álvarez; R. Berjillos; M.J.G. Borge; A. Chbihi; C. Cruz; J. Gómez Camacho  
AIP Conference Proceedings (1541) (175-176) (2013)

**Core excitation effects in halo nuclei using a transformed oscillator basis**

J.A. Lay; J.M. Arias; J. Gómez Camacho; A.M. Moro  
AIP Conference Proceedings (1541) (152-153) (2013)

**El laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Sevilla (red espaciada) y el accidente de Fukushima: Acciones tomadas y lecciones aprendidas**

R. García-Tenorio  
Proceedings VII Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental (16-25) (2013)

**Beam tracking with micromegas & wire chambers in secondary electron detection configuration**

M. Vostinar; B. Fernández; J. Pancin; M.A.G. Álvarez; T. Chaminade; S. Damoy; D. Dore; A. Drouart; F. Druillolle; G. Fremont; M. Kebbiri; T. Materna; E. Monmarthe; S. Panebianco; T. Papaevangelou, M. Riallot  
3<sup>rd</sup> International Conference on micro pattern gaseous detectors "Journal of Instrumentation" (8) (C12023/1-13) (2013)

**New gamma-radiation facility for device testing in Spain**

Y. Morilla; G. Muñiz; C.I. Sánchez-Angulo; M. Domínguez; P. Martín; J. Jiménez; J. Praena; E. Muñoz; G. Fernández  
2014 IEEE Radiation Effects Data Workshop (267-271) (2014)

**Low temperature radiation test of high voltage optocouplers for space applications**

E. Cordero; L. Peñate; J. Barbero; G. Quadri; J. Carron; H.C. Serán; Y. Morilla; G. Muñiz; S. Massetti  
ICSO 2014 Proceedings (1-7) (2014)

**Mineralogy of supports and selected pigments in mediaeval churches of Slovenia**

A. Kriznar, A. Ruíz-Conde, P. J. Sánchez-Soto

Workshop “Mineralogía Aplicada” MACLA (18) (77-78) (2014)

**Análisis de pinturas murales góticas en Eslovenia del maestro Bolfgang y su discípulo maestro de Mače (siglo XV)**

A. Kriznar; A. Ruíz-Conde; P.J. Sánchez-Soto

IAPH Investigación (3) (21) (2014)

**Infrared reflectography (IRR) for large formats: comparison of various capture and mosaic assembly methodologies for large format easel paintings**

E. Hernández; K. Laclavetine; R. Alvarado; A. Kriznar; M. del Valme Muñoz; M. Vega; E. Arroyo; J.L. Ruvalcaba Sil; M.A. Respaldiza

ART 2014 (2014)

**Panel painting by Cristobal de Morales analyzed by non-destructive XRF technique**

A. Kriznar; M. Valme Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega

Book of abstracts of the International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage II (84) (2014)

**7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books**

**Workshop practice in Slovenian wall paintings from the fourteenth and fifteenth centuries**

A. Kriznar

Capítulo en el libro “The Renaissance Workshop: The Materials and Techniques of Renaissance Art” (2013)

ISBN: 978-1904982937

**Pigments and painting preparations of Gonzalo Bilbao analyzed by non-destructive XRF technique**

A. Kriznar; M.A. Respaldiza; V. Muñoz; M. Vega

Capítulo en el libro “Science and technology for the conservation of Cultural Heritage” (2013)

ISBN: 978-1-138-00009-4

**El <sup>210</sup>Po en la cadena alimenticia humana y sus implicaciones dosimétricas**

R. García-Tenorio

Libro “El <sup>210</sup>Po en la cadena alimenticia humana y sus implicaciones dosimétricas” (2013)

ISBN: 13 978-84-616-1720-3

**Panel painting by Cristobal de Morales analyzed by nondestructive XRF Technique**

A. Kriznar

Capítulo en el libro “Science and Technology for the conservation of Cultural Heritage” (2014)

ISBN: 978-1-13-800009-4

**Procedencia y manufactura de las turquesas de Pajones, El Bajío y Cerro Moctehuma, Chalchihuites, Zacatecas**

E. Melgar; J.L. Ruvalcaba-Sil; K. Laclavetine; E. Martínez; G. Córdova

Capítulo en el libro "Tiempo y Región. Estudios Históricos y Sociales" (2014)

ISBN: 978-607-513-097-2

**Les "turquoises culturelles" et la caractérisation par Fluorescence de Rayons X (XRF) in situ du disque de mosaïque de l'offrande 99 du Templo Mayor de México-Tenochtitlán**

K. Laclavetine; J.L. Ruvalcaba-Sil; C. Duverger; E. Melgar

Capítulo en el libro "ArchéoSciences-Revue d'Archéométrie" (2014)

ISBN: 978-2-7535-3689-0



### 7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations

---

#### 7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings

##### **Influence of the Diet Habits in the Amount of $^{210}\text{Po}$ Ingested by the Spanish Population**

I. Díaz Francés; R. García-Tenorio; J. Mantero; J. Díaz; G. Manjón  
Second International Conference on Po-210 and Pb-210  
Mangalagangothri (India)  
10 al 13 de Febrero de 2013

##### **$^{210}\text{Po}$ content in human urine of people living in South of Spain**

I. Díaz Francés; R. García-Tenorio; J. Mantero; J. Díaz; G. Manjón  
Second International Conference on Po-210 and Pb-210  
Mangalagangothri (India)  
10 al 13 de Febrero de 2013

##### **Measurement of the MACS of $^{159}\text{Tb}$ ( $n,\gamma$ ) at $kT = 30$ keV by activation with an innovative method**

J. Praena; P.F. Mastinu; M. Pignatari; J.M. Quesada; R. Capote; Y. Morilla  
International Conference on Nuclear Data for Science and Technology  
Nueva York (EE.UU)  
04 al 08 de Marzo de 2013

##### **Occupational exposures in two industrial plants devoted to the production of ammoniu phosphate fertilizers**

J.P. Bolívar; R. García-Tenorio  
Seventh international Symposium on naturally Occurring Radioactive Materials, NORM VII  
Beiging (China)  
22 al 26 de Abril de 2013

##### **NORM levels in pit lakes located in South-West of Spain**

G. Manjón; J. Galván; J. Mantero; R.García-Tenorio  
Seventh international Symposium on naturally Occurring Radioactive Materials, NORM VII  
Beiging (China)  
22 al 26 de Abril de 2013

##### **Simultaneous quantification of light elements in thin films deposited on Si substrates using proton-RBS**

F.J. Ferrer; M. Alcaire; J. Caballero; F.J. García García; J. Gil Rostra; A. Terriza; V. Godinho; J. García López; A. Barranco; A. Fernández Camacho  
21<sup>st</sup> International Conference on Ion Beam Analysis 2013  
Seattle (EE.UU)

23 al 28 de Junio de 2013

**Charge collection efficiency degradation on Si diodes irradiated with high energy protons**

J. García López; M.C. Jiménez Ramos

21<sup>st</sup> International Conference on Ion Beam Analysis 2013

Seattle (EE.UU)

23 al 28 de Junio de 2013

**Characterization of scintillator materials for Fast-Ion Loss detectors in nuclear fusion reactors**

M.C. Jiménez Ramos; J. García López; M. García Muñoz; M. Rodríguez Ramos; M. Carmona Gázquez

21<sup>st</sup> International Conference on Ion Beam Analysis 2013

Seattle (EE.UU)

23 al 28 de Junio de 2013

**Multipurpose External Beamline at the CNA for Applied Physics**

Y. Morilla; M. C. Jiménez Ramos; J. García López

International Conference on Applications of Nuclear Techniques

Creta (Grecia)

23 al 29 de Junio de 2013

**<sup>129</sup>I concentrations in surface and deep seawater from the Irish Sea and the Atlantic Ocean**

J.M. López Gutiérrez

Goldschmidt 2013

Florenca (Italia)

26 de Agosto de 2013

**Study of the manufacture processes of Tartessic jewels using micro XRF spectrometry**

S. Scrivano; B. Gómez Tubío; I. Ortega Feliu; F.J. Ager; A.I. Moreno Suárez; M.L. de la Bandera; M.A. Respaldiza

International Congress on X-Ray Optics and Microanalysis-ICXOM 22

Hamburgo (Alemania)

02 al 06 de Septiembre de 2013

**Analysis of matrix effects on Al<sup>+</sup> extraction from Cs sputtering ion sources in Accelerator Mass Spectrometry (AMS)**

S. Padilla; J. Lachner; M. Christl; J. M. López Gutiérrez

11<sup>th</sup> European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology

Namur (Bélgica)

08 al 13 de Septiembre de 2013

**Painting techniques and materials of the 14<sup>th</sup> century murals that represent the so called “hybrid” gothic style in Slovenia**

A. Kriznar

Painting Techniques, History, Materials and Studio Practice

Amsterdam (Holanda)

18 al 20 de Septiembre de 2013

**RADLAB-Gamma Radiation Laboratory**

ALTER TECHNOLOGY; CNA

Conference on Radiation Effects on components and systems

Oxford (Inglaterra)

23 al 27 de Septiembre de 2013

**Estudio mediante PIXE y PIGE de huesos arqueofaunísticos de la provincia de Córdoba**

S. Limandri; I. Ortega Feliu; B. Gómez Tubío; S. Scrivano; S. Suárez; T. Costa; A. Izeta

98<sup>a</sup> Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina

San Carlos de Bariloche (Argentina)

24 al 27 de Septiembre de 2013

**Dosimetric Calibration of Radiochromic Film For Laser-accelerated Proton Beams**

P. Bellido; M. Seimetz; A. Soriano; C. Huertas; J. García Lopez; M.C. Jiménez Ramos; B. Fernández; P. Conde; E. Crespo; A.J. González; L. Hernández; A. Iborra; F. Martos; L. Moliner; J.P. Rigla; M.J. Rodríguez Álvarez; F. Sánchez; L. F. Vidal; J.M. Benlloch

2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference

Seul (Corea del Sur)

27 de Octubre al 02 de Noviembre de 2013

**Time-of-Flight Detector for the characterization of Laser-Accelerated Protons**

M. Seimetz; P. Bellido; A. Soriano; C. Huertas; J. García López; M.C. Jiménez Ramos; B. Fernández; P. Conde; E. Crespo; A.J. González; L. Hernandez; A. Iborra; F. Martos; L. Moliner; J.P. Rigla; M.J. Rodríguez Álvarez; F. Sánchez; L. F. Vidal; J.M. Benlloch

2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference

Seul (Corea del Sur)

27 de Octubre al 02 de Noviembre de 2013

**Long-Term temporal evolution of the radioactive impact caused by a Spanish Phosphate Industry in their neighboring environment**

R. García-Tenorio

6<sup>th</sup> EAN-NORM Workshop: Alternatives in NORM waste management

Madrid (España)

02 al 05 de Diciembre de 2013

**On the use of phosphogypsum in agriculture**

R. García-Tenorio

6th EAN-NORM Workshop: Alternatives in NORM waste management  
Madrid (España)  
02 al 05 de Diciembre de 2013

**Study and Development of Particle Detectors at the National Accelerator Center in Sevilla**

J. García López  
Upgraded Facility for Development of Silicon and Diamond Particle Detectors Systems  
Zagreb (Croacia)  
09 al 10 de Diciembre de 2013

**Measurements of terrestrial  $^{10}\text{Be}$  for Early Pleistocene rock terraces and a large alluvial fan in the Eastern part of the Spanish Central System (Community of Madrid)**

T. Karampaglidis; S. Padilla; J.M. López-Gutiérrez; A. Rodés; A. Pérez-González; A. Benito-Calvo; L. Rodríguez-Miguens  
International Congress AEQ-CNF INQUA Q9  
Lyon (Francia)  
26 al 28 de Marzo de 2014

**The FILD instrument function**

J. Galdón Quiroga; M. García Muñoz; J. García López; M.C. Jiménez Ramos; M. Rodríguez Ramos; L. Sanchís Sánchez; N. Lazányi; K. Shinohara  
12<sup>th</sup> Meeting of the ITPA Energetic Particle Topical Group  
Madrid (España)  
31 de Marzo al 03 de Abril de 2014

**The Huelva Case study: An Evidence-Based Approach to Assessing the Risks and Benefits of Long-Term PG Use in Spanish Agriculture**

R. García-Tenorio  
2014 IFA Global Technical Symposium  
Amsterdan (Holanda)  
01 al 03 de Abril de 2014

**The Huelva Case Study: Phosphogypsum in Agriculture**

R. García-Tenorio  
AFA Workshop  
Gammarth (Túnez)  
23 al 25 de Abril de 2014

**Novel system for 2D dose maps in complex radiotherapy treatment verification**

M.C. Battaglia  
Topical workshop on Beam Diagnostics  
Viena (Austria)  
08 al 09 de Mayo de 2014

**Non-destructive in situ study of Alonso Vazquez's paintings using XRF and multispectral techniques**

A. Kriznar; K. Laclavetine; M.V. Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega

5<sup>th</sup> Meeting X-Ray and other techniques in investigation of the objects of cultural heritage

Cracovia (Polonia)

14 al 17 de Mayo de 2014

**Manufacture procedures of gold jewelry characterized by a portable micro-XRF spectrometer**

S. Scrivano; B. Gómez Tubío; I. Ortega-Feliu; F.J. Ager; A.I. Moreno-Suárez; M.L. de la Bandera; M.A. Respaldiza

11<sup>th</sup> International Conference on Non-Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Heritage

Madrid (España)

11 al 13 de Junio de 2014

**Infrared reflectography (IRR) for large formats: comparison of various captures and mosaic assembly methodologies for large format easel paintings**

E. Hernández; K. Laclavetine; R. Alvarado; A. Kriznar; M. del Valme Muñoz; M. Vega; E. Arroyo; J.L. Ruvalcaba Sil; M.A. Respaldiza

11<sup>th</sup> International Conference on Non-Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Heritage

Madrid (España)

11 al 13 de Junio de 2014

**Reconstruction of paint layers thickness and composition by confocal micro X-Ray fluorescence**

P. Wrobel; K. Laclavetine; M. Czyzycki; M. Lankosz; F.J. Ager; J. Arquillo; M.A. Respaldiza

European Conference on X-Ray Spectrometry

Bolonia (Italia)

15 al 20 de Junio de 2014

**Intercomparison of three confocal micro X-Ray fluorescence (CXRF) systems for the non-destructive characterization of experimental paint layers**

K. Laclavetine; P. Wrobel; F.J. Ager; J. Arquillo; T. Calligaro; M. Eveno; M. Lankosz; K. Müller; I. Reiche; M.A. Respaldiza; M. Menu

European Conference on X-Ray Spectrometry

Bolonia (Italia)

15 al 20 de Junio de 2014

**NORM studies in an offshore oil production field located in the coast of Ghana**

D.O. Kpeglo; E.O. Darko; G. Emi-Reynolds; E.H.K. Faanu; J. Mantero; G. Manjón; I. Vioque; R. García-Tenorio

EU-NORM 2 Conference  
Praga (República Checa)  
17 al 19 de Junio de 2014

**Preliminary Steps in the Restoration of a Phosphogypsum Disposal Site: Radioactive Characterization of Leachates and Efflorescences Affecting the Surrounding Areas**

M.J. Gázquez; J. Mantero; F. Mosqueda; J.P. Bolívar; R. García-Tenorio  
EU-NORM 2 Conference  
Praga (República Checa)  
17 al 19 de Junio de 2014

**Technical and aesthetical issues in conserving selected fragments of detached mediaeval mural paintings in Slovenia**

B. Seme; A. Kriznar  
ICOMOS International Scientific Committee of Mural painting  
Esztergom (Hungría)  
19 al 22 de Junio de 2014

**Quantification of the impact of large and small scale instabilities on the fast-ion confinement in ASDEX Upgrade**

B. Geiger; M. Weiland; A. Mlynek; M. Reich; A. Bock; E. Fable; R. Fischer; M. García-Muñoz; J. Hobirk; Ch. Hopf; S. Kragh Nielsen; T. Odstrcil; Ch. Rapson; D. Rittich; F. Ryter; M. Salewski; P. Adrian Schneider; G. Tardini; ASDEX Upgrade team  
41<sup>st</sup> EPS Conference on Plasma Physics  
Berlín (Alemania)  
23 al 27 de Junio de 2014

**Panel painting by Cristobal de Morales analyzed by non-destructive XRF technique**

A. Kriznar; M.V. Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega  
TechnoHeritage. II International Congress on Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage  
Sevilla (España)  
24 al 27 de Junio de 2014

**Application of Gamma-Ray spectrometry in a NORM industry for its radiometrical characterization**

J. Mantero; M.J. Gázquez; S. Hurtado; J.P. Bolívar; R. García-Tenorio  
9<sup>th</sup> International Topical Meeting on Industrial Radiation and Radioisotope Measurement Applications, IRRMA  
Valencia (España)  
06 al 11 de Julio de 2014

**Optimization of <sup>10</sup>Be detection**

G. Scognamiglio; J.M. López Gutiérrez  
oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**Proton irradiation of cancer cells at the 3 MV Tandem Accelerator (National Centre of Accelerators, Seville)**

M.C. Battaglia; D. Schardt; J.M. Espino; M.I. Gallardo; J. M. Quesada; D. Guirado; A.M. Lallena; H. Miras; M. Villalobos; A. Tornero; J. Torres; M.A. Cortés-Giraldo

oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**A detection system to obtain 2D dose maps for Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) verification**

M.C. Battaglia; M.A. G. Alvarez; M.I. Gallardo; J.M. Espino; Z. Abou-Haidar; R. Arráns; A. Pérez Vega-Leal; M. Ovejero; M.A. Cortés-Giraldo; J.M. Quesada; A. Bocci; F.J. Pérez Nieto

oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**Ion implantation for nanoparticle production**

S. Bruschetta

oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**Leak detection and repair in the accelerator column**

A. Romero Serrano; J.A. Labrador Bernal; F.J. García López

oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**New Stripper that allows the use of different Gases. Replace Ar by Helium Gas Stripper**

J.M. López Gutiérrez; E. Chamizo Calvo; F.J. Santos Arévalo; S. Padilla Domínguez; G. Scognamiglio; I. Fernández Gómez; L. Agulló

oPAC topical workshop on Challenges in Accelerator Optimization

Londres (Inglaterra)

06 al 11 de Julio de 2014

**Charge collection efficiency degradation on Si diodes irradiated with high energy protons**

J. García-López

14<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications

Padova (Italia)

06 al 11 de Julio de 2014

**A comparative study of Etruscan and Tartesic gold jewels by micro-XRF**

S. Scrivano; C. Ruberto; L. Castelli; F.J. Ager; M.L. de la Bandera; C. Czelusniak; M.E. Fedi; N. Gelli; L. Giuntini; B. Gómez Tubío; P. A. Mandò; A. Mazzinghi; I. Ortega-Feliu; L. Palla; M. A. Respaldiza; F. Taccetti

14<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications  
Padova (Italia)

06 al 11 de Julio de 2014

**New gamma-radiation facility for device testing in Spain**

Y. Morilla; G. Muñiz; C.I. Sánchez-Angulo; J. Praena; M. Domínguez; P. Martín; E. Muñoz; J. Jiménez; G. Fernández

NSREC-2014 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference  
París (Francia)

14 al 18 de Julio de 2014

**Molecular characterization of an animal model of acromegaly induced by implantation of GC somatotroph tumor cell line**

A. Soto Moreno; J.F. Martín-Rodríguez; E. Venegas-Moreno; M. Balcerzyk; M. Gahete; J. Castaño; R. Luque; A. Leal-Cerro; D. Cano

The International Congress of Neuroendocrinology 2014  
Sídney (Australia)

17 al 20 de Agosto de 2014

**Ion Beam induced Charge on Si and SiC diodes irradiated with high energy protons**

J. García-López

XXIII International Materials Research Congress  
Cancún (México)

17 al 21 de Agosto de 2014

**Status report of the 1 MV AMS facility at CNA**

E. Chamizo; J.M. López-Gutiérrez; S. Padilla; F.J. Santos; M. García-León; J. Heinemeier; C. Schnabel

13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)

24 al 29 de Agosto de 2014

**Actinides studies on hot particles at the 1 MV CNA AMS facility**

E. Chamizo; M.C. Jiménez-Ramos; Mats Eriksson; R. García-Tenorio; L. León Vintro

13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)

24 al 29 de Agosto de 2014

**Presence of <sup>236</sup>U in an abyssal sediment core from the North Atlantic**



E. Chamizo; M. Villa; S. Hurtado; J.M. López-Gutiérrez; F.J. Santos; I. Gómez-Martínez  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**Analysis of the 1 MV CNA AMS system as a potential tool for <sup>236</sup>U studies in Oceanography**

E. Chamizo; M. López-Lora; M. Villa; N. Casacuberta; J.M. López-Gutiérrez; M. Khanh Pham  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**Optimization of cosmogenic <sup>10</sup>Be and <sup>26</sup>Al extraction for precise AMS measurements of low concentrations**

N. Adçar; S. Ivy-Ochs; M. Christl; A. Claude; C. Wirsig; J. Lachner; S. Padilla  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**Recent evolution of <sup>129</sup>I levels in the Arctic and North Atlantic Oceans**

J.M. López-Gutiérrez; M. Villa; C. Marcinko; F. Le Moigne; R. Periáñez; J.Peruchena  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**SIRI samples at CNA: measurements at 200 kV and 1000 kV**

F.J. Santos; I. Gómez-Martínez; L. Agulló  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**<sup>14</sup>C determination in different bio-based products**

F.J. Santos; I. Gómez-Martínez; L. Agulló; M.T. Reina; M. García-León  
13<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry  
Marsella (Francia)  
24 al 29 de Agosto de 2014

**Neolithic funerary practices from north-east Iberia. A holistic and multidisciplinary approach**

J.F. Gibaja; M.E. Subirà; F. Alliése; E. Arroyo; P. Chambon; M. Díaz-Zorita; M. Fontanals; K. Knudson; C. Lopes; D. López; S. Palomo; J. Santana; F.J. Santos  
XII Mundial Congress of Prehistoric and Protohistoria Sciences 2014  
Burgos (España)  
01 al 07 de Septiembre de 2014

**Self-Absorption corrections in gamma-ray spectrometry applied to NORM industrial samples**

J. Mantero; T. Vidmar; S. Hurtado; R. García-Tenorio

International Congress on Radioecology and Environmental Radioactivity

Barcelona (España)

07 al 12 de Septiembre de 2014

**Natural levels of  $^{210}\text{Po}$  in human urine**

I. Díaz; J. Mantero; J. Díaz; G. Manjón; R. García-Tenorio

International Congress on Radioecology and Environmental Radioactivity

Barcelona (España)

07 al 12 de Septiembre de 2014

**NORM levels in Spanish pit lakes and their impact in neighboring environments**

G. Manjón; J. Galván; J. Mantero; I. Díaz; R. García-Tenorio

International Congress on Radioecology and Environmental Radioactivity

Barcelona (España)

07 al 12 de Septiembre de 2014

**Simulations of a resonant plasma kink response to externally applied magnetics perturbations in the AUG tokamak**

D.A. Ryan; Y. Liu; M. Reinke; B. Dudson; A. Kirk; M. García-Muñoz; P. Piovesan; W. Suttrop; ASDEX Upgrade Team

19<sup>th</sup> Joint EU-US Transport Task Force Meeting

Culham (Inglaterra)

08 al 11 de Septiembre de 2014

**Problems & solutions in Gamma Spectrometry with NORM samples**

J. Mantero; S. Hurtado; R. García-Tenorio

4<sup>th</sup> African Regional IRPA Congress, AFRIRPA 2014

Rabat (Marruecos)

13 al 17 de Septiembre de 2014

**Naturally Occurring Radioactivity in a Deposit of Tailings from the Mining Industry in Guanajuato Mexico**

C.D. Mandujano-García; J. Mantero; G. Cruz-Jiménez; R. Loredó-Portales; G. de la Rosa; M. Sosa; R. García-Tenorio

4<sup>th</sup> African Regional IRPA Congress, AFRIRPA 2014

Rabat (Marruecos)

13 al 17 de Septiembre de 2014

**Management of by-products generated by NORM industries: Towards their valorization and minimization of their environmental impact**

R. García-Tenorio

4<sup>th</sup> International Nuclear Chemistry Congress

Maresias (Brasil)

14 al 19 de Septiembre de 2014

**Fallout of  $^{238}\text{Pu}$  over Madagascar following the SNAP 9A satellite failure**

E. Holm; C. Rääf; N. Rabesiranana; R. García-Tenorio

International Symposium on nuclear and Environmental Radiochemical Analysis  
Bath (Inglaterra)

17 al 19 de Septiembre de 2014

**Analisi micro-XRF applicate all'oreficeria: confronto tra Tartesici e Etruschi**

S. Scrivano; C. Ruberto; A. Mazzinghi; F.J. Ager; M.L. de la Bandera; L. Castelli; C. Czelusniak; M.E. Fedi; N. Gelli; L. Giuntini; B. Gómez Tubío; P.A. Mandò; I. Ortega-Feliu; L. Palla; M.A. Respaldiza; F. Taccetti

100 Congresso Nazionale della società di Fisica Italiana  
Pisa (Italia)

22 al 26 de Septiembre de 2014

**Low temperature radiation test of high voltage optocouplers for space applications**

E. Cordero; L. Peñate; J. Barbero; G. Quadri; J. Carron; H.C. Serán; Y. Morilla; G. Muñoz; S. Massetti

ICSO-2014 International Conference on Space optics  
Tenerife (España)

07 al 10 de Octubre de 2014

**Use of X-Ray of computed tomography to determine the CPA permeation in ovarian tissue slices**

A. Corral; M. Balcerzyk; J. de la Fuente; a. Parrado; I. Fernández; L. Fernández; R. Risco  
50<sup>th</sup> Anniversary Celebration, Annual Scientific Conference & AGM

Londres (Inglaterra)

08 al 10 de Octubre de 2014

**Fast-ion response to externally applied 3D magnetic perturbations in ASDEX Upgrade H-mode plasmas**

M. García Muñoz

25<sup>th</sup> IAEA Fusion Energy Conference

San Petesburgo (Rusia)

13 al 18 de Octubre de 2014

**Fast Ion Transport during Applied 3D Magnetic Perturbations on DIII-D**

M.A. Van Zeeland; N.M. Ferraro; B.A. Grierson; W.W. Heidbrink; G.J. Kramer; C.J. Lasnier; D.C. Pace; S.L. Allen; X. Chen; T.E. Evans; M. García-Muñoz; J.M. Hanson; M.J. Lanctot; L. Lao; W.H. Meyer; R.A. Moyer; R. Nazikian; D.M. Orlov; C. Paz-Soldan; A. Wingen

25<sup>th</sup> IAEA Fusion Energy Conference

San Petesburgo (Rusia)

13 al 18 de Octubre de 2014

**Rapid and simplified synthesis of [<sup>18</sup>F]MISO and its use in subarachnoidal hemorrhage PET imaging**

L. Fernández-Maza; M. Balcerzyk; J.J. Egea Guerrero; I. Fernández-Gómez; A. Parrado-Gallego; R. Iglesias-Jerez; Murillo-Cabeza

26<sup>th</sup> Congress European Association of Nuclear

Gotemburgo (Suecia)

18 al 22 de Octubre de 2014

**Landau-Spitzer Award: Fast-Ion Transport in the ASDEX Upgrade and DIII-D Tokamaks**

M. García Muñoz

56<sup>th</sup> Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics

Nueva Orleans (EE.UU)

27 al 31 de Octubre de 2014

**Measurements of Fast Ion Transport Due to n = 3 Magnetic Perturbations on DIII-D**

M.A. Van Zeeland; T.E. Evans; N. Ferraro; M. Lanctot; D.C. Pace; C. Collins; W.W. Heidbrink; M. García-Muñoz; J.M. Hanson; B.A. Grierson; G.J. Kramer; R. Nazikian; S.L. Allen; C.J. Lasnier; W.H. Meyer

56<sup>th</sup> Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics

Nueva Orleans (EE.UU)

27 al 31 de Octubre de 2014

**Fast-ion transport and NBI current drive in ASDEX Upgrade**

B. Geiger; M. Weiland; A. Mlynek; M. Reich; A. Bock; M. Dunne; R.M. Dux; R. Fischer; M. García-Muñoz; J. Hobirk; Ch. Hopf; D. Rittich; F. Ryter; P. Adrian Schneider; G. Tardini; ASDEX Upgrade team

56<sup>th</sup> Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics

Nueva Orleans (EE.UU)

27 al 31 de Octubre de 2014

**Multispectral and spectroscopic techniques applied to non-destructive in situ study of a set of artworks attributed to Alonso Vázquez**

K. Laclavetine; E. Arroyo; E. Hernández; A. Kriznar; M.V. Muñoz; M. Vega; J.L. Ruvalcaba Sil; M.A. Respaldiza

4<sup>th</sup> Latin-American Congress of Archaeometry

México DF (México)

27 al 31 de Octubre de 2014

**First non-destructive in situ easel painting analysis by confocal micro X-Ray fluorescence (CXRF) with  $\mu$ XRF-CONCHA system**

K. Laclavetine; F.J. Ager; M. del Valme Muñoz; M. Vega; M.A. Respaldiza

4<sup>th</sup> Latin-American Congress of Archaeometry

México DF (México)

27 al 31 de Octubre de 2014

**Provenance study of obsidian of the Sierra Norte of Puebla (Agua Fría region) by PIXE**

K. Laclavetine; R. Rocha García; S. Suárez Cruz; L. Pichon; J.L. Ruvalcaba-Sil

Anual meeting of the Unión Geofísica Mexicana (UGM)

Puerto Vallarta (México)

02 al 07 de Noviembre de 2014

**Estudio del reciclado de material cortical durante la subducción de la placa de Nazca mediante la técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores**

D. Rodrigues; A. Arazi; D. Fracchia; S. Padilla; G.V. Martí

10<sup>º</sup> Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra E-ICES 10

Buenos Aires (Argentina)

03 al 06 de Noviembre de 2014

**Implementation of scintillator-based fast-ion loss detectors (FILD) on MAST and AUG**

M. García-Muñoz; M. Turnyanskiy; J.M. Carmona; D. Dunai; J. Galdón-Quiroga; N. Lazanyi; P. Leitenstern; K. McClement; R. Martin; L. Sanchís-Sánchez; I. Sard

27<sup>th</sup> Meeting of the ITPA Topical Group on Diagnostics

St. Paul Lez Durance (Francia)

03 al 07 de Noviembre de 2014

**Upgrade of the Scintillator Based Fast-Ion Loss Detector (FILD) at JET**

M. García-Muñoz; M.C. Jiménez-Ramos; M. Rodríguez-Ramos; J. García-López; J. Galdón; J.M. Carmona; J.M. Núñez-García; V. Goloborod'ko; V. Yavorskij; Ch. Perez von Thun; P. Beaumont; S. Dorling; V. Kiptily; R. Lucock

27<sup>th</sup> Meeting of the ITPA Topical Group on Diagnostics

St. Paul Lez Durance (Francia)

03 al 07 de Noviembre de 2014

**Study of transport properties by IBIC in Si and SiC diodes irradiated with high energy protons**

J. García-López

Third Research Coordination Meeting on Radiation Induced Defects in Semiconductors and Insulators

Viena (Austria)

10 al 13 de Noviembre de 2014

**Synthetic Fast Ion Loss Detector and absolute ion flux calibration**

J. Galdón Quiroga; M. García-Muñoz; J. García López; K. Shinohara; M. Rodríguez Ramos; L. Sanchís Sánchez

MST1 Modelling Meeting

Garching (Alemania)

11 de Diciembre de 2014

### 7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings

#### **Hydrogenated amorphous silicon deposited by high pressure sputtering for HIT solar cells**

R. García Hemansanz; E. García Hemme; J. Olea; D. Pastor; A. del Prado; F.J. Ferrer; I. Martil; G. González Díaz  
Spanish Conference on Electron Devices 2013  
Valladolid (España)  
12 al 14 de Febrero de 2013

#### **Determinación de plutonio en muestras de orina de 24h mediante ICP-SFMS y AMS**

A. Aragón del Valle; M.P. Antón Mateos; E. Chamizo Calvo; A.I. Barrado Olmedo; A. Yllera de Llano  
3<sup>er</sup> Congreso conjunto de la Sociedad Española de Física Médica y de la Sociedad Española de Protección Radiológica  
Cáceres (España)  
18 de Junio de 2013

#### **Estudios radioecológicos en el centro nacional de aceleradores basados en el uso de la espectrometría de masas con acelerador (AMS)**

E. Chamizo; J.M López Gutiérrez; J.M. Gómez Guzmán; F. J. Santos; M. García León; R. García-Tenorio  
3<sup>er</sup> Congreso conjunto de la Sociedad Española de Física Médica y de la Sociedad Española de Protección Radiológica  
Cáceres (España)  
18 de Junio de 2013

#### **Determinación de Uranio y Po-210 en el río Odiel para valorar el impacto radiactivo de los drenajes ácidos mineros**

G. Manjón; M. Lehitani; J. Mantero; I. Díaz Francés; R. García-Tenorio  
3<sup>er</sup> Congreso conjunto de la Sociedad Española de Física Médica y de la Sociedad Española de Protección Radiológica  
Cáceres (España)  
18 de Junio de 2013

#### **Impacto radiactivo en las áreas limítrofes a las balsas de fosfoyeso previo a su restauración**

J.P. Bolívar; M. Gázquez; R. García-Tenorio; J. Mantero  
3<sup>er</sup> Congreso conjunto de la Sociedad Española de Física Médica y de la Sociedad Española de Protección Radiológica  
Cáceres (España)  
18 de Junio de 2013

#### **Niveles naturales de Po-210 en orina humana**

I. Díaz Francés; R. García-Tenorio; J. Mantero; I. Díaz; G. Manjón

3<sup>er</sup> Congreso conjunto de la Sociedad Española de Física Médica y de la Sociedad Española de Protección Radiológica  
Cáceres (España)  
18 de Junio de 2013

**Viability study of a detection system for complex radiation therapy treatment verification. Achievements of the Radia collaboration and ongoing developments**

J.M. Espino; M.I. Gallardo, M.A.G. Alvarez; R. Arráns; A. Bocci; M.A. Cortés Giraldo; Z. Abou Haidar; A. Pérez Vega-Leal; M.C. Ovejero; J.M. Quesada; F.J. Pérez Nieto; R. Núñez Martín; M.C. Battaglia  
CPAN Workshop on Technology Transfer  
Sevilla (España)  
24 al 25 de Junio de 2013

**Nuevas instalaciones del CNA para ensayos de irradiación en componentes**

Y. Morilla; G. Muñoz; J. Praena; M. Domínguez; P. Martín; E. Muñoz  
CPAN Workshop on Technology Transfer  
Sevilla (España)  
24 al 25 de Junio de 2013

**Beam tracking with micromegas & wire chambers in secondary electron detection configuration**

M. Vostinar; B. Fernández  
3<sup>rd</sup> International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors  
Zaragoza (España)  
01 al 06 de Julio de 2013

**Estudio no destructivo de un vidrio romano del Pecio de San Ferreol**

I. Ortega Feliu; B. Gómez Tubío; M.A. Respaldiza; F. Capel; X. Nieto Prieto  
LIII Congreso de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio y XII Congreso Nacional del Técnico Cerámico  
Castellón (España)  
23 al 25 de Octubre de 2013

**Datación por C-14: Guía básica**

F.J. Santos Arévalo  
Nuevas aplicaciones del radiocarbono en el ámbito de las humanidades: la datación por C-14 y su calibración  
Barcelona (España)  
07 de Noviembre de 2013

**Cultura Científica en el CNA y FNUC**

S.D. León Dueñas; I. Díaz Francés; J.A. Galván Moreno; C. Falcón Carrero; E. Sanjuán Ballano; J. Castilla Guerra  
V CPAN Days (Red Temática de Física Nuclear)

Santiago de Compostela (España)  
25 al 27 de Noviembre de 2013

**Mineralogy of supports and selected pigments in mediaeval churches of Slovenia**

A. Kriznar; P.J. Sánchez Soto  
Workshop de Mineralogía Aplicada (Homenaje al Profesor Emilio Galán)  
Sevilla (España)  
16 al 17 de Enero de 2014

**Tecnología Aeroespacial en el Centro Nacional de Aceleradores**

J. Gómez Camacho  
Foro Aeronáutico  
Sevilla (España)  
04 de Febrero de 2014

**Determinación de isótopos de Th por espectrometría alfa**

R. García-Tenorio  
VIII Jornadas sobre Calidad en la Medida de la Radiactividad Ambiental  
Huelva (España)  
11 al 13 de Junio de 2014

**R&D on SED Detectors for heavy ion beams at low energy**

B. Fernández  
NUSTAR Week 2014  
Valencia (España)  
22 al 26 de Septiembre de 2014

**R&D on Secondary Electron Detectors at low pressure for heavy ion beam tracking at low energy**

B. Fernández  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014  
Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Estudio micro analítico mediante un equipo portátil de  $\mu$ XRF de joyas Tartésicas y Etruscas**

S. Scrivano; C. Ruberto; L. Castelli; F.J. Ager; M.L. de la Bandera; L. Giuntini; B. Gómez Tubío; P.A. Mandò; A. Mazzinghi; I. Ortega-Feliu; M.A. Respaldiza  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014  
Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Use of nuclear techniques to study transport properties in semiconductor devices**

J. García-López  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014



Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Proton irradiation of cell cultures at the 3 MV Tandem Accelerator of the National Centre of Accelerators (CNA)**

M.C. Battaglia  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014  
Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Coordinación de Aceleradores en España**

J. Gómez Camacho  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014  
Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Characterization of the new confocal micro X-Ray fluorescence (CXRF) system for non-destructive cultural heritage analysis at the CNA:  $\mu$ XRF-CONCHA**

K. Laclavetine; F.J. Ager; J. Arquillo; T. Calligaro; M. Eveno; K. Müller; I. Reiche; M.A. Respaldiza; M. Menu  
VI CPAN Days: Encuentros de Física Nuclear 2014  
Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Ion beam activities at the National Accelerator Center of Sevilla**

J. García-López  
First Iberian Accelerator Meeting  
Madrid (España)  
27 al 28 de Octubre de 2014

## 7.4 Tesis Doctorales y Trabajos Fin de Máster / Theses and Final Master Projects

---

### 7.4.1 Tesis Doctorales / Theses

#### **A 2D Silicon Detector System for Complex Radiotherapy Treatment Verification**

Ziad Abou-Haïdar

Director: M.A. González Álvarez; J.M. Espino Navas

18 de Enero de 2013

Apto Cum Laude

#### **Avances en Espectrometría alfa y gamma para su aplicación en la evaluación del impacto radiactivo de una industria NORM**

Juan Mantero Cabrera

Director: R. García-Tenorio García-Balmaseda; S. Hurtado

25 de Septiembre de 2013

Apto Cum Laude

#### **Caracterización de partículas calientes mediante técnicas analíticas avanzadas**

María del Carmen Jiménez Ramos

Director: M. García León; R. García-Tenorio García-Balmaseda; J. García López

14 de Noviembre de 2013

Apto Cum Laude

#### **Estudio de detectores gaseosos de electrones secundarios a baja presión para el trazado de haces de iones pesados de baja energía**

Begoña Fernández Martínez

Directores: Marcos A. Gonzalez Alvarez; Julien Pancin

12 de Marzo de 2014

Apto Cum Laude

#### **El polonio en la cadena alimenticia: Implicaciones dosimétricas**

Inmaculada Díaz Francés

Directores: Guillermo Manjón Collado; Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

13 de Noviembre de 2014

Apto Cum Laude

#### **Sistema Electrónico de Lectura para Trazado Espacial de Haces de Partículas de Futuros Aceleradores**

Alejandro Garzón Camacho

Directores: Marcos Aurelio Gonzalez Alvarez; José Manuel de la Rosa; Joaquín Gómez Camacho

04 de Diciembre de 2014

Apto Cum Laude

**7.4.2 Proyecto de Fin de Máster / Final Master Project**

**Dosimetría en un laboratorio de radiación gamma**

Gema Muñiz Romero

Directores: Yolanda Morilla García; Joaquín Gómez Camacho

01 de Julio de 2014

**Medidas de la concentración de  $^{14}\text{C}$  en muestras influenciadas por las pruebas nucleares**

Isabel Gómez Martínez

Directores: Manuel García León; Francisco Javier Santos Arévalo

01 de Septiembre de 2014

**Medida de isótopos de uranio y plutonio por Espectrometría de Masas con Aceleradores de baja energía y sus aplicaciones en estudios oceanográficos**

Mercedes López Lora

Directores: Elena Chamizo Calvo; María Villa; Manuel García León

25 de Septiembre de 2014

**Identification of wave-particle resonances responsible for fast-ion losses due to Alfvén Eigenmodes in the ASDEX Upgrade “tokamak”**

Lucía Sanchís Sánchez

Director: Manuel García Muñoz

26 de Septiembre de 2014

**Development of synthetic fast ion loss detector for fusion devices**

Joaquín Galdón Quiroga

Director: Manuel García Muñoz

10 de Octubre de 2014

**Medida de  $^{129}\text{I}$  en muestras atmosféricas tras el accidente de Fukushima mediante espectrometría de masas por aceleradores**

Lidia Agulló García

Directores: José María López Gutiérrez; Manuel García León

15 de Diciembre de 2014

## 7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings

---

### 7.5.1 Cursos / Courses

#### **Diseño de Instalación**

XIV Curso Teórico-Práctico PET

26 de Abril de 2013

Profesor: Celestino Ignacio Sánchez Angulo

#### **Máster de Arqueología**

2013

Profesor: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

#### **Técnicas no Destructivas, Nivel Avanzado, II Edición. Módulo “Datación por radiocarbono”**

Abril hasta Julio de 2014

Profesor: Francisco Javier Santos Arévalo

#### **La dimensión temporal de la materialidad: nuevas perspectivas en el estudio de las dataciones radiocarbónicas**

05 de Junio de 2014

Profesor: Francisco Javier Santos Arévalo

#### **Geocronología: radiocarbono, series de uranio y luminiscencia**

17 de Octubre de 2014

Profesor: Francisco Javier Santos Arévalo

#### **Master de Física Nuclear**

2013-2014

Profesor: Francisco Javier García López; Miguel Ángel Respaldiza Galisteo; Joaquín Gómez Camacho

#### **European Master of Science in Nuclear Fusion and Engineering Physics**

2014

Profesor: Manuel García Muñoz

#### **International Doctoral College in Fusion Science and Engineering**

2014

Profesor: Manuel García Muñoz

#### **Métodos Físicos de Análisis de capas finas y superficies de sólidos: Prácticas de Retrodispersión Rutherford**

2013-2014

Profesor: Francisco Javier García López; Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

### 7.5.2 Coloquios / Seminars

#### **Sensores 3D ultra-delgados para detección de neutrones en salas de radioterapia**

Dra. Consuelo Guardiola (Centro Nacional de Microelectrónica IMB-CNM (CSIC))

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

08 de Febrero de 2013

#### **Carbon-14 and stable isotopes reveal news of past and present: Age of archaeological materials, tissue and wine**

Prof. Jan Heinemeier (Laboratorio de Radiocarbono de la Universidad de Aarhus (Dinamarca))

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

13 de Febrero de 2013

#### **Gadolinium-based neutron capture therapy**

Mrs. Novriana Dewi (Universidad de Tokyo)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

20 de Septiembre de 2013

#### **Medidas de $^{14}\text{C}$ en Biodiésel por AMS**

M<sup>a</sup> Teresa Reina Maldonado y Dr. Fco. Javier Santos Arévalo (Centro Nacional de Aceleradores)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

02 de Octubre de 2013

#### **Measurements of the $^{33}\text{S}(n,\alpha)$ cross section at n\_TOF: applications to BNCT**

Marta Sabaté Gilarte (Centro Nacional de Aceleradores)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

04 de Octubre de 2013

#### **Nuevas Instalaciones del CNA para ensayos de irradiación gamma**

Dra. Yolanda Morilla García y Gema Muñiz (Centro Nacional de Aceleradores)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)

18 de Octubre de 2013

#### **Ensayos de eventos de partícula (SEE testing) en dispositivos electrónicos con Iones Pesados y Láser Pulsado**

Dra. Isabel López Calle (Universidad Complutense de Madrid / Agencia Espacial Europea)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)  
24 de Octubre de 2013

**Advanced capabilities of ion beam methods for semiconductor science**

Dr. Andrés Redondo Cubero (Universidad Técnica de Lisboa)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
21 de Noviembre de 2013

**Programa de Física de Neutrones en el CNA**

Dr. Javier Praena (Centro Nacional de Aceleradores)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
19 de Diciembre de 2013

**Detectores de Trazado: Cámara de hilos y micromegas a baja presión**

Begoña Fernández Martínez (Centro Nacional de Aceleradores)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
31 de Enero de 2014

**Diseño y construcción de un Microtrón de electrones de 12 MeV de la UPC**

Dr. Yuri Koubychine (Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
28 de Mayo de 2014

**Research activity in medical physics within the RADIA collaboration and the OPAC Project**

Cristina Battaglia (Centro Nacional de Aceleradores)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
18 de Junio de 2014

**El detector tiene un color especial, el p-EBS tiene su duende. Aplicaciones a Ciencia de Materiales del Acelerador Tándem 3 MV del CNA**

Dr. F. Javier Ferrer Fernández (Centro Nacional de Aceleradores)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
23 de Junio de 2014

**Hadrontherapy: what can low energy accelerators bring to the field?**

Prof. Stéphane Lucas (University of Namur)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Sevilla (España)  
17 de Julio de 2014

**AMS with a “large” accelerator at the Australian National University**

Prof. L. Keith Fifield Department of Nuclear Physics (Research School of Physics and Engineering) de la Universidad Nacional de Australia  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
12 de Septiembre de 2014

**Desarrollo de Diagnósticos en Programas de Fusión: Del CXRS a actividades de Broader Approach**

Dr. José Miguel Carmona Torres (AVS)  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
27 de Noviembre de 2014

**7.5.3 Eventos / Meetings**

**CPAN Workshop on Technology Transfer**

Workshop  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
24 al 25 de Junio de 2013

**Metodologías de diseño y ensayo de circuitos integrados para aplicaciones aeroespaciales**

Jornadas de difusión  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
23 de Octubre de 2013

**Oportunidades para empresas en el CNA**

Jornadas de difusión  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
22 de Mayo de 2014

**Encuentros de Física Nuclear**

Jornadas de difusión  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
20 de Octubre de 2014

**VI Jornadas CPAN**

Jornadas de difusión

Sevilla (España)  
20 al 22 de Octubre de 2014

**Arqueoworld**

Conferencia  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
07 de Noviembre de 2014

**Reunión NORM**

Jornadas  
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)  
Sevilla (España)  
18 al 20 de Noviembre de 2014





---

## 8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

---



## 8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

En esta sección, se encuentra disponible la información relacionada con la estadística de uso de cada acelerador y sus usuarios a lo largo de los años 2013 y 2014.

*In this section, the information about accelerators use statistics and their users in 2013 and 2014 is available.*

### 8.1 Estadísticas de uso / Statistics

Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator. En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador Tándem de 3 MV en los años 2013 y 2014.

*In the next table, the 3 MV Tandem Accelerator statistics are shown.*

<p><b>Año 2013:</b>  Días laborables útiles: 242  Días en uso: 97 (40%)  Días de mantenimiento: 113 (47%)  Días sin uso: 32 (13%)</p>	<p><b>Year 2013:</b>  <i>Total work time: 242 days</i>  <i>In use: 97 (40%)</i>  <i>Maintenance: 113 (47%)</i>  <i>Not in use: 32 (13%)</i></p>
---	---

<p><b>Año 2014:</b>  Días laborables útiles: 242  Días en uso: 147 (61%)  Días de mantenimiento: 22 (9%)  Días sin uso: 73 (30%)</p>	<p><b>Year 2014:</b>  <i>Total work time: 242 days</i>  <i>In use: 147 (61%)</i>  <i>Maintenance: 22 (9%)</i>  <i>Not in use: 73 (30%)</i></p>
--	--

Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS). En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador Tandetrón de 1 MV en los años 2013 y 2014.

*In the next table, the 1 MV Tandetron Accelerator statistics are shown.*

<p><b>Año 2013:</b>  Días laborables útiles: 260  Días en uso: 97 (37%)  Días de mantenimiento: 41 (16%)  Días sin uso: 122 (47%)</p>	<p><b>Year 2013:</b>  <i>Total work time: 260 days</i>  <i>In use: 97 (37%)</i>  <i>Maintenance: 41 (16%)</i>  <i>Not in use: 122 (47%)</i></p>
---	---

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

<p>Año 2014:                  Días laborables útiles: 258                  Días en uso: 50 (19%)                  Días de mantenimiento: 64 (25%)                  Días sin uso: 144 (56%)</p>	<p>Year 2014:                  Total work time: 258 days                  In use: 50 (19%)                  Maintenance: 64 (25%)                  Not in use: 144 (56%)</p>
--	--

Laboratorio de Producción de Radiofármacos del Ciclotrón / Cyclotron Radiopharmaceutical Production Laboratory. En la siguiente tabla, se muestran los datos correspondientes a la producción de diversos radiofármacos en el Acelerador Ciclotrón en los años 2013 y 2014.

*In the next table, the different radiopharmaceuticals, which are produced in the Cyclotron Accelerator, are shown.*

<p>Año 2013:                  Actividad total de <math>^{18}\text{F}</math>-FDG :                  66.34 TBq                  Actividad total de <math>^{18}\text{F}</math>-DOPA :                  276.89 GBq                  Actividad total de <math>^{11}\text{C}</math>-Colina:                  3.52 TBq</p>	<p>Year 2013:                  Total <math>^{18}\text{F}</math>-FDG activity produced:                  66.34 TBq                  Total <math>^{18}\text{F}</math>-DOPA activity produced:                  276.89 GBq                  Total <math>^{11}\text{C}</math>-Colina activity produced:                  3.52 TBq</p>
---	---

<p>Año 2014:                  Actividad total de <math>^{18}\text{F}</math>-FDG :                  70.73 TBq                  Actividad total de <math>^{18}\text{F}</math>-DOPA :                  341.40 GBq                  Actividad total de <math>^{11}\text{C}</math>-Colina:                  2.75 TBq</p>	<p>Year 2014:                  Total <math>^{18}\text{F}</math>-FDG activity produced:                  70.73 TBq                  Total <math>^{18}\text{F}</math>-DOPA activity produced:                  341.40 GBq                  Total <math>^{11}\text{C}</math>-Colina activity produced:                  2.75 TBq</p>
---	---

Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory. Los datos correspondientes a los años 2013 y 2014 al laboratorio RADLAB son mostrados en la siguiente tabla.

*The statistics of the RADLAB Laboratory is shown at the following table.*

<p>Año 2013:                  Dosimetría y calibración: 33 (9%)                  Ensayos CNA: 5 (1%)                  Ensayos ALTER: 91 (25%)                  Mantenimiento: 3 (1%)                  Días sin uso: 170 (64%)</p>	<p>Year 2013:                  Dosimetry and calibration: 33 (9%)                  CNA studies: 5 (1%)                  ALTER studies: 91 (25%)                  Maintenance: 3 (1%)                  Not in use: 170 (64%)</p>
---	---

<p>Año 2014:                  Dosimetría y calibración: 11 (2%)</p>	<p>Year 2014:                  Dosimetry and calibration: 11 (2%)</p>
---	---

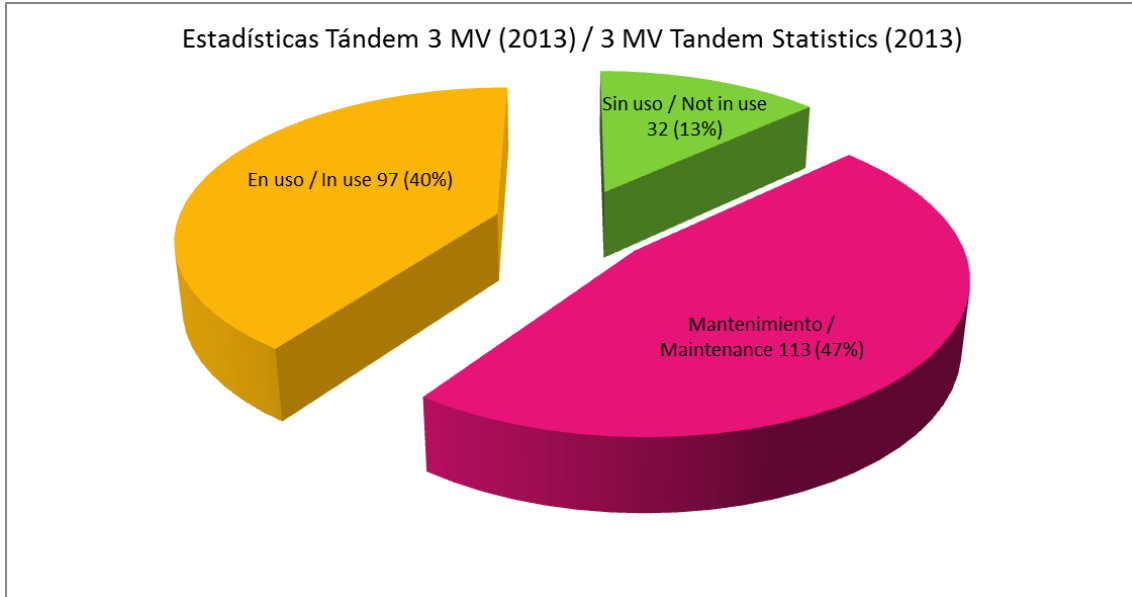
8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

---

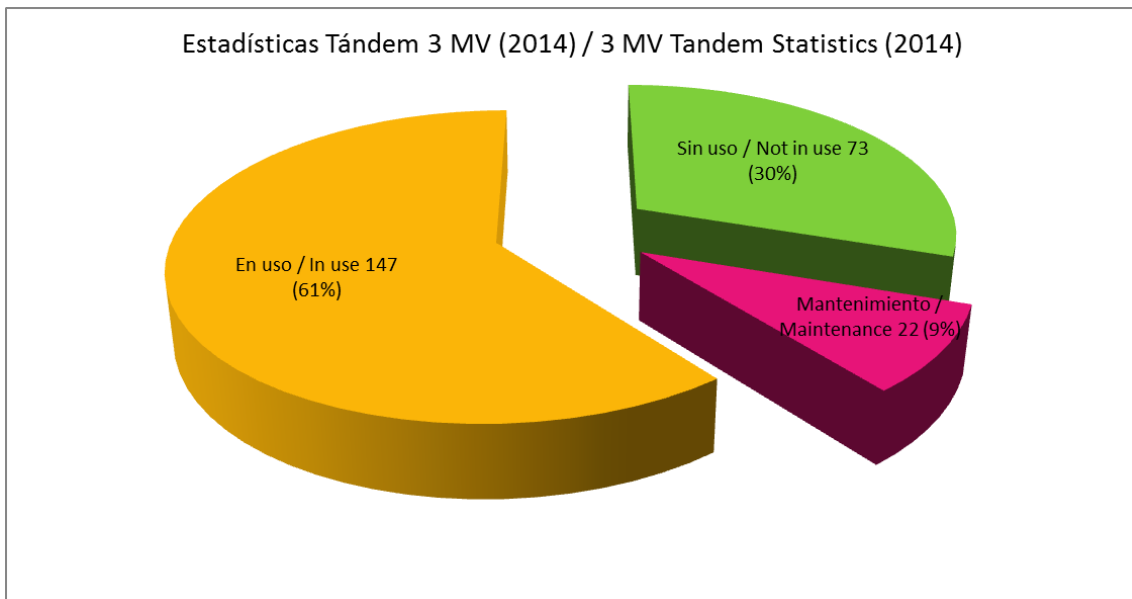
Ensayos CNA: 124 (26%) Ensayos ALTER: 307 (63%) Mantenimiento: 14 (3%) Días sin uso: 29 (6%)	<i>CNA studies: 124 (26%) ALTER studies: 307 (63%) Maintenance: 14 (3%) Not in use: 29 (6%)</i>
---	---

## 8.2 Gráficos estadísticos de uso de las instalaciones del CNA / CNA Facilities use statistics graphics

### 8.2.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

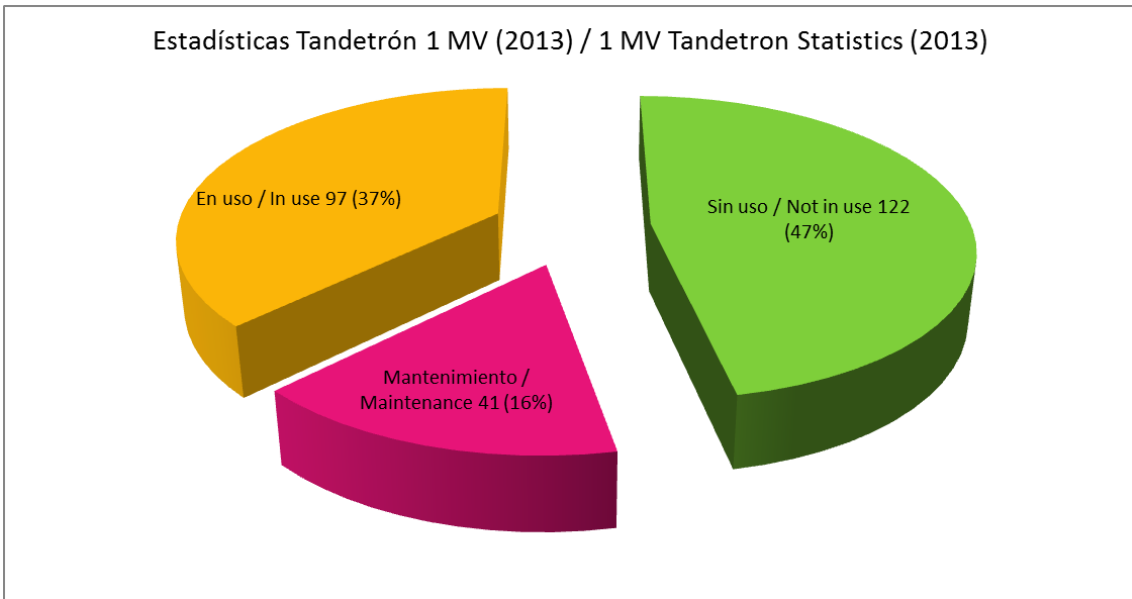


Estadísticas de uso del Acelerador Tándem de 3 MV en el año 2013 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2013)

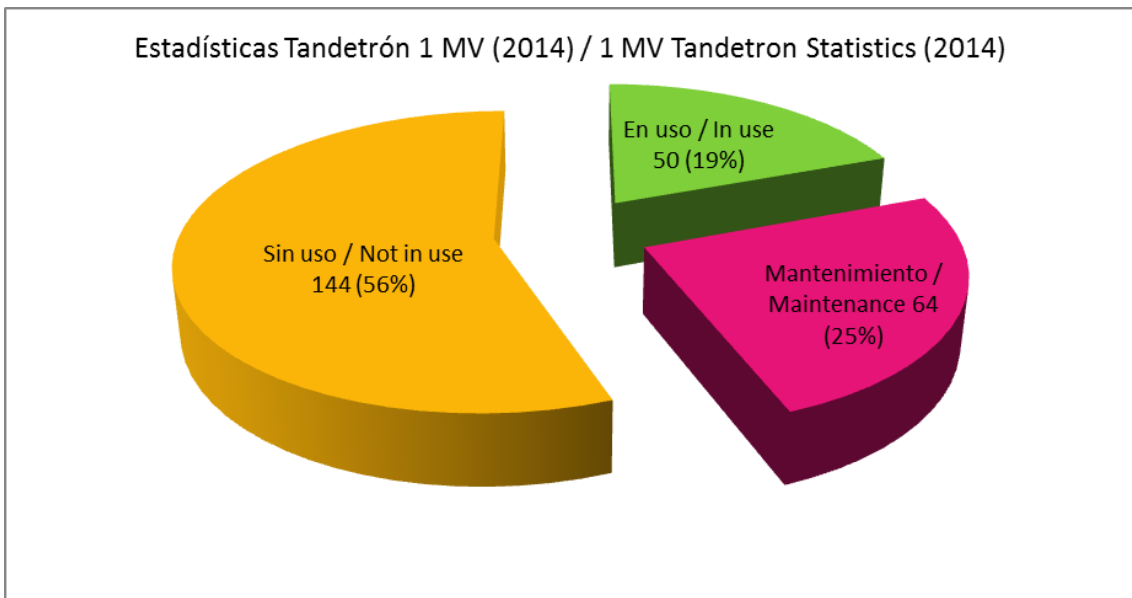


Estadísticas de uso del Acelerador Tándem de 3 MV en el año 2014 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2014)

8.2.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS)

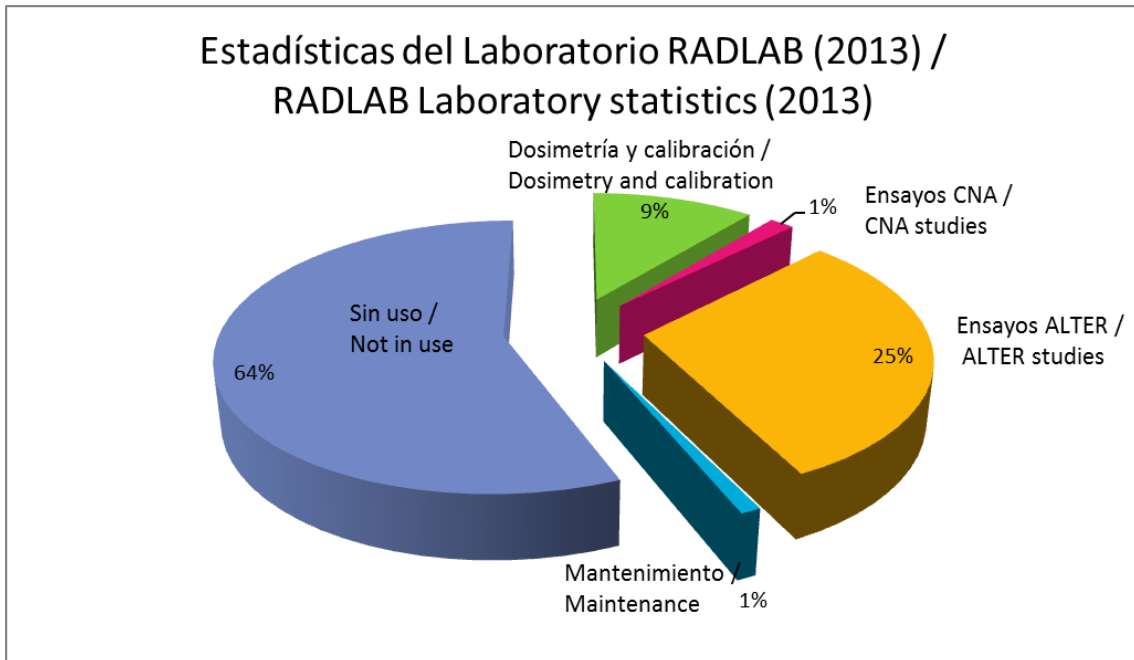


Estadísticas de uso del Acelerador Tandetrón de 1 MV en el año 2013 / 1 MV Tandetron Accelerator Statistics (2013)

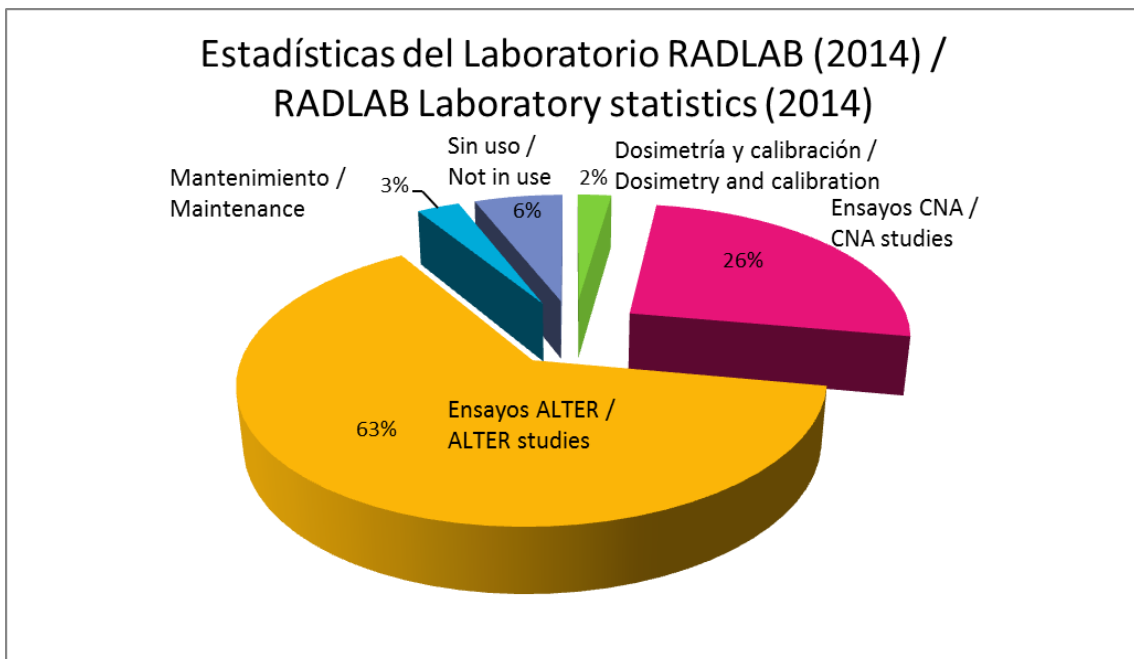


Estadísticas de uso del Acelerador Tandetrón de 1 MV en el año 2014 / 1 MV Tandetron Accelerator Statistics (2014)

8.2.3 Laboratorio RADLAB / RADLAB Laboratory



Estadísticas de uso del Laboratorio RADLAB en el año 2013 / RADLAB Laboratory Statistics (2013)



Estadísticas de uso del Laboratorio RADLAB en el año 2014 / RADLAB Laboratory Statistics (2014)



### 8.3 Usuarios de las Instalaciones del CNA / CNA Facilities users

---

A continuación, se detallan los usuarios de las instalaciones del CNA por años.

*The CNA Facilities users, in 2013 and 2014, are shown in the following section.*

#### Año 2013 / Year 2013.

Junta de Andalucía  
Gobierno de Andorra  
Patrimoni Cultural d'Andorra  
Generalitat de Catalunya  
Universidad de Sevilla  
Universidad de Almería  
Universidad de Cádiz  
Universidad de Granada  
Universidad de Huelva  
Universidad de Córdoba  
Universidad Autónoma de Madrid  
Universidad Complutense de Madrid  
Universidad Politécnica de Madrid  
Universidad de Extremadura  
Universidad de Barcelona  
Universidad de Alicante  
Universidad de Cantabria  
Universidad Autónoma de México  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Universidad de Lisboa  
Universidad de Rennes  
AMS Aarhus  
Centro de Ciencias Humanas y Sociales  
Centro de Estudios Geográficos  
Escuela Estudios Árabes  
Instituto de Biomedicina de Sevilla  
Instituto de Óptica  
Instituto de Microelectrónica de Barcelona  
Instituto de Microelectrónica de Sevilla  
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla  
Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona  
Instituto de Física Corpuscular  
Instituto de Geociencias  
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico  
Institut Milà i Fontanals  
Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular  
Institut Català d'Arqueologia Clàssica

Comisión Nacional de la Energía Atómica (Laboratorio TANDAR)  
Museo Arqueológico de Alicante  
Museo Nacional de Ciencias Naturales  
Organización Internacional de la Energía Atómica  
Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla  
CENIEH  
Ciemat  
Enresa  
Vendin S.L  
TRAD  
Gestión Cultural Larrate  
Hisparroz S.A  
TRIADES Serveis Culturals  
Usuarios particulares

Año 2014 / Year 2014.

MINECO (Seprona)  
Gobierno de Andorra  
Universidad de Sevilla  
Universidad de Córdoba  
Universidad de Almería  
Universidad de Santiago de Compostela  
Universidad de Granada  
Universidad de Huelva  
Universidad de Cádiz  
Universidad Pablo de Olavide  
Universidad de Extremadura  
Universidad de Burgos  
Universidad de Oviedo  
Universidad de Lleida  
Universidad Politécnica de Madrid  
Universidad de las Islas Baleares  
Universidad de Castilla la Mancha  
Universidad Carlos III de Madrid  
Universidad del País Vasco  
Universidad Complutense de Madrid  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Universidad de Barcelona  
Universidad Autónoma de Barcelona  
Universidad Nacional Autónoma de México  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra  
Instituto Nacional de Física Nuclear  
Instituto de Física Corpuscular  
Instituto Nacional del Carbón

Instituto de Óptica  
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico  
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla  
Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular  
Institució Milá i Fontanals  
Instituto de Biomedicina de Sevilla  
Instituto de Ciencias del Mar  
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria  
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra  
Servicio de Arqueología y Paleontología  
Museo Arqueológico de Alicante  
Museo de las Encartaciones  
Museo Histórico Municipal de Priego de Córdoba  
Museo Nacional de Ciencias Naturales  
Organización Internacional de la Energía Atómica  
Taller de Investigaciones Arqueológica  
Fundació Bosch i Gimpera  
Fundació de la Comunitat Valenciana Mare Nostrum  
Ciemat  
Cabimer  
Alter  
TRAD  
TRIADE  
Tecnologías Avanzadas Inspiralía  
Vitrosur Lab S.L.U  
Centro de Estudios Sobrarbe  
CIC ENERGIGUNE  
Gestión Cultural Larrate  
Aunia Kultural Elkartea  
Usuarios particulares





---

## 9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

---



## 9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

El uso de las instalaciones y las técnicas del CNA está sometido a tarifas. De acuerdo a las decisiones tomadas en Junta Rectora, se han ido aprobando algunas tarifas de uso del Centro, que son las que siguen.

*Prices for the use of the facilities and the techniques offered have been approved by the CNA Governing Board. Updated tariffs and services may also be checked visiting the CNA web page.*

### 9.1 Uso de tiempo de haz en el Acelerador Tándem de 3 MV. Análisis de Espectros y elaboración de Informes / 3 MV Tandem Accelerator beam time. Data Analysis and Reports

Servicio medidas rutinarias / Existing services	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
RBS con He <sup>2+</sup> / RBS with He <sup>2+</sup>	33 €	55 €	110 €
PIXE con H <sup>+</sup> / PIXE with H <sup>+</sup>	33 €	55 €	110 €
NRA (C, N, O)	33 €	55 €	110 €
Canalización con RBS / RBS Channeling	100 €	330 €	550 €
ERDA (H)	50 €	110 €	165 €
PIXE y RBS con microsonda / PIXE and RBS with microprobe	100 €	330 €	550 €
Uso de acelerador Tándem por día / Day of use of Tandem Accelerator	400 €	600 €	700 €
Hora dedicada al tratamiento de datos / €/hour for data processing	15,60 €	31,20 €	41,60 €

## 9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

---

### Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e Institutos de Investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- Esta tarifa es aplicable a series de hasta cinco medidas realizadas en las mismas condiciones (tipo de haz, calibración y configuración de línea).
- Para cada experimento en las mismas condiciones (tipo de haz, calibración y configuración de línea) se cobrará un mínimo de 5 medidas.
- Las tarifas incluyen la preparación del experimento, el análisis de los espectros y la elaboración de informes.
- A partir de 20 medidas en las mismas condiciones se realizará un descuento de un 10%.
- El estudio de casos especiales o de un número elevado de medidas conlleva una tarifa a convenir.
- Estas tarifas no incluyen la preparación de las muestras, si estas lo requieren. Se dispone de los siguientes servicios de preparación:
  - 1.- Molienda y homogeneización: 10 € / muestra
  - 2.- Prensado: 10 €/muestra
  - 3.- Pulido: 10 €/muestra
  - 4.- Calcinación: 10 €/muestra
- I.V.A. no incluido.

### Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.
- Group 2 prices for other public research institutions.
- Group 3 prices for companies and other private organizations.
- These prices are valid for up to five measurements that are carried out under the same conditions (beam, calibration and line configuration).
- Five measurements will be charged in each experiment carried out under the same conditions (beam, calibration and line configuration).
- The experiment set-up, spectrum analysis and reportings are included in the price.
- A discount of 10% will be done from 20 measured under the same conditions.
- Ask for quotes in case of service request is not shown here or many measurements.
- Prices do not include sample preparation. The following services also are offered:
  - 1.- Grinding and homogenization: 10 €/sample
  - 2.- Pressing: 10 €/sample
  - 3.- Polishing: 10 €/sample
  - 4.- Calcining: 10 €/sample
- Prices do not include V.A.T.



## 9.2 Medidas de $^{14}\text{C}$ y Datación / $^{14}\text{C}$ Measurements and Radiocarbon Dating

Servicio de medida de $^{14}\text{C}$ / $^{14}\text{C}$ Measurements	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Pretratamiento de la muestra / Sample pretreatment	65,00 €	110,00 €	165,00 €
Grafitización / Graphitization	45,00 €	65,00 €	100,00 €
Medida y análisis de resultados / Measurement and data analysis	60,00 €	100,00 €	150,00 €
Proceso completo / Whole analysis	165,00 €	275,00 €	415,00 €
Extra por tratamiento de huesos / Plus for treatment of bones	25,00 €	25,00 €	25,00 €

### Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e Institutos de Investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- La preparación de la muestra incluye la toma de la muestra en el laboratorio, y la aplicación de todos los procesos físico-químicos necesarios para la obtención del material utilizado en la medida (grafito).
- La medida y análisis de resultados incluye la determinación del cociente isotópico  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  mediante el acelerador Tandetrón del CNA, así como la aplicación de todas las correcciones necesarias para la obtención del dato definitivo.
- A partir de 10 muestras medidas se aplicará un descuento de un 10%.
- El estudio de casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- En el caso de llevarse a cabo exclusivamente la medida y análisis de resultados con muestras preparadas en otros laboratorios, no se podrá certificar el resultado obtenido.
- I.V.A. no incluido.

### Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.
- Group 2 prices for other public research institutions.

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

---

- Group 3 prices for companies and other private organizations.*
- The sample preparation includes sample withdrawal and the graphitization procedure.*
- The measurement and data analysis includes the determination of the  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio using the CNA Tandetron and the corrections for gaining the final results.*
- There is a 10% discount for every 10 measurements. Ask for quotes if you require more measurements.*
- Ask for quotes in case of service request are not shown here.*
- Measurements and data analysis of samples that have been prepared in other labs will not be certified by CNA.*
- Prices do not include V.A.T.*

## 9.3 Uso del micro-TAC y micro-PET / Animal PET/CT Scanning

Estudio PET-TAC en animales / Animal PET-CT scanning	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
TAC / CT	80 €	100 €	120 €
PET-TAC: fármacos <sup>18</sup> F (estático) / Statics <sup>18</sup> F PET-CT	200 €	250 €	300 €
PET-TAC: fármacos <sup>18</sup> F (dinámico) / Dynamics <sup>18</sup> F PET-CT	400 €	500 €	600€
PET-TAC: fármacos <sup>11</sup> C (todos) / <sup>11</sup> C PET-CT (all)	350 €	450 €	550 €

## Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e Institutos de Investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas de GRUPO 2 se refieren a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas de GRUPO 3 se refieren a empresas y otros organismos privados.
- Para estudios prolongados en el tiempo, con estancias de más de 2 semanas para animales en el estabulario, o con más de 10 estudios planificados, se estudiará el precio a convenir con el investigador.
- IVA no incluido.

## Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.
- Group 2 prices for other public research institutions.
- Group 3 prices for companies and other private organizations.
- For large time studies, with stays of two or more weeks in animal cabinet or 10 planned studies, ask for quotes.
- Prices do not include V.A.T.

9.4 Análisis de Isótopos de Plutonio,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ , por AMS / Pu isotopes analysis,  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ , by AMS

Servicio de medidas de $^{239}\text{Pu}$ y $^{240}\text{Pu}$ por AMS / Measurements Service $^{239}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}$ by AMS	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Preparación de la muestra <sup>1</sup> / Sample preparation	57,33 €	95,55 €	145,60 €
Preparación del cátodo <sup>2</sup> / Cathode preparation	8,19 €	13,65 €	20,80 €
Medida por AMS de $^{239}\text{Pu}$ <sup>3</sup> / Measurements Service $^{239}\text{Pu}$ by AMS	90,09€	150,15 €	228,80 €
Medida por AMS de $^{239}\text{Pu}$ y $^{240}\text{Pu}$ <sup>3</sup> / Measurements Service $^{239}\text{Pu}$ and $^{240}\text{Pu}$ by AMS	204,75 €	341,25 €	520 €
Proceso completo <sup>5</sup> / Whole process	262,08 €	436,80 €	665,60 €

<sup>1</sup> Incluye el proceso de extracción del plutonio a partir de la muestra original y la preparación del cátodo para su medida por AMS.

<sup>2</sup> Incluye únicamente la preparación del cátodo para su medida por AMS, a partir de una disolución con el plutonio ya purificado.

<sup>3</sup> Incluyen el análisis de datos.

<sup>5</sup> Incluye la preparación de la muestra, su medida por AMS y el análisis de datos.

<sup>1</sup> *The plutonium extraction from the original sample and the cathode preparation for measurement by AMS are included.*

<sup>2</sup> *The cathode preparation for AMS measurement, from a solution with the purified plutonium is included only.*

<sup>3</sup> *Data analysis is included.*

<sup>5</sup> *Sample preparation, its measurement by AMS and data analysis are included.*

Notas:

-Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e Institutos de Investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.

### 9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

---

- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- En el caso de muestras preparadas en otros laboratorios, el CNA no certificará las concentraciones de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$  obtenidas.
- Se podrán procesar en el CNA muestras de suelos, sedimentos y aguas. El CNA estudiará cada problema particular para establecer la cantidad de muestra necesaria para cada análisis.
- Las muestras preparadas en otros laboratorios deben ser trazadas con  $^{242}\text{Pu}$ , en el caso en el que se requieran las concentraciones de  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ . El CNA estudiará cada caso particular para establecer las cantidades de trazador necesarias.
- El estudio de otros casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- A partir de 10 muestras medidas se aplicará un descuento de un 10%.
- IVA no incluido

#### Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.*
- Group 2 prices for other public research institutions.*
- Group 3 prices for companies and other private organizations.*
- In case of samples prepared in other laboratories, the CNA will not certify the concentrations of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$  obtained.*
- Samples of soil, sediment and water can be processed in the CNA. CNA studies each particular problem to define the amount of sample needed for each analysis.*
- The samples prepared in other laboratories must be drawn with  $^{242}\text{Pu}$ , if they are required concentrations of  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$ . CNA will consider each individual case to establish the amounts of tracer required.*
- There is an extra 10% discount for every 10 measurements. In case of more measurements, please, ask for specific quotes.*
- In case you request a service that is not shown here, please, ask for specific quotes.*
- Prices do not include V.A.T.*

### 9.5 Uso de la línea de haz externo del Ciclotrón / External beam line Cyclotron use

Servicio de medidas / Measurements Service	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Uso del Ciclotrón por día / Day of use of Cyclotron	400 €	600 €	700 €

**Notas:**

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e Institutos de Investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- IVA no incluido

*Notes:*

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.*
- Group 2 prices for other public research institutions.*
- Group 3 prices for companies and other private organizations.*
- Prices do not include V.A.T.*

## 9.6 Uso de tiempo de haz en el Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Irradiation Laboratory use

---

Se valorará un presupuesto personalizado, teniendo en cuenta si se trata de ensayos puntuales o campañas de larga duración. El presupuesto incluirá un estudio de viabilidad, preparación de set-up y entrega de informe del ensayo de irradiación.

Al igual que en otros servicios se considerarán los diferentes grupos de usuarios.

*The budget will be personalized depending on short or large campaigns. Also it will include a feasibility study, preparation of set-up and delivery of radiation test report.*

*As in other services the different user groups will be considered.*

Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC e institutos de investigación que formen parte del PAI (Plan Andaluz de Investigación) de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- IVA no incluido

Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres, and Research Institutes of Andalusian Research Plan of Junta de Andalucía.
- Group 2 prices for other public research institutions.
- Group 3 prices for companies and other private organizations.
- Prices do not include V.A.T.







---

## 10. Calidad / Quality

---



## 10. Calidad / Quality

---

El Centro Nacional de Aceleradores tiene definida una clara y bien conocida política de calidad. Uno de los objetivos del CNA es la continua mejora con el fin de lograr altos niveles de calidad y excelencia en la gestión y ejecución de los proyectos tecnológicos y de investigación así como en la provisión de servicios.

Con el propósito de diseminar e implementar una Cultura de la Calidad en el CNA, ha sido creada la Unidad de Calidad, de acuerdo a la política de calidad y directrices establecidas por la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el CSIC. Este compromiso con la Calidad nos ha permitido ser reconocido como un centro de referencia que responde a las necesidades actuales de la comunidad científica y la Sociedad en general.

El trabajo de esta unidad se centra en la implementación de los sistemas y herramientas de una gestión de calidad en los servicios generales y laboratorios del CNA. Otro de sus objetivos es el de garantizar la máxima fiabilidad de los procedimientos y los resultados de los análisis. Con el fin de asegurar la reproducibilidad de todos sus servicios, el CNA tiene establecidos y publicados los procedimientos en detalle y verificables para los diferentes aspectos del CNA.

El CNA ha obtenido y tiene implementadas las certificaciones estándar ISO 9001 e ISO 27001.

Las normas ISO han sido desarrolladas por la organización internacional ISO para gestionar la calidad de las empresas e instituciones como el CNA para mejorar sus prácticas, rendimiento, y finalmente para alcanza el éxito.

La ISO 9001:2008 es una norma de gestión de calidad global, utilizada para establecer y actualizar el sistema de gestión de calidad de la organización (QMS). Esto permite a las organizaciones tanto de productos y servicios lograr los estándares de calidad que son reconocidos y respetados en todo el mundo.

La norma se basa en una serie de principios de gestión de calidad, incluyendo un fuerte enfoque en el cliente, la motivación y la implicación de la dirección, la aproximación al proceso y la mejora continua. Esto ayuda a asegurar que los clientes reciben, productos consistentes, de buena calidad y servicios, que a su vez trae muchos beneficios para el negocio.

El alcance de la norma ISO 9001 es: El Centro Nacional de Aceleradores dispone de un sistema de gestión de calidad conforme a la norma UNE-EN ISO 9001:2005 para la prestación del servicio de análisis de materiales con aceleradores de partículas mediante técnicas AMS (Accelerator Mass Spectrometry) y técnicas IBA (Ion Beam Analysis).

La norma ISO / IEC 27001:2005 es una norma de gestión de información de seguridad global, que se utiliza para establecer y certificar el sistema de gestión de seguridad de la información (SGSI). Se especifican claramente los procesos para permitir a una organización establecer, implementar, revisar y supervisar, gestionar y mantener un SGSI eficaz. Su aplicación da confianza a los clientes y proveedores de que la seguridad de información se toma en serio dentro de las organizaciones que la cumple, porque tiene instaurados los procesos para hacer frente a las amenazas de seguridad de la información.

El alcance de la norma ISO 27001 es: Los sistemas de información que dan soporte a las actividades del Centro Nacional de Aceleradores relativas a las investigaciones y la tecnología aplicada para el diseño de instrumentación y las pruebas con aceleradores, tanto propias como externas según la declaración de aplicabilidad de edición 1.

Ambas normas ISO implican la comprobación de que el sistema funciona de tal modo que el CNA debe realizar auditorías internas para comprobar cómo funciona su sistema de gestión de la calidad. Dos organizaciones independientes diferentes (AENOR y BUREAU VERITAS) verifican y certifican anualmente que se cumple ambas normas.

*CNA has defined a clear and well known quality policy. One of the objectives of CNA is the continuous improvement in order to achieve high levels of quality and excellence in the management and implementation of research and technological projects and the provision of services.*

*With the purpose of disseminating and implementing a quality culture at the CNA a Quality management Unit has been set up, according to the quality policy and the guidelines established by the University of Seville, Junta de Andalucía and CSIC. This commitment to quality has helped us to be recognized as a reference center that meets the current needs of the scientific community and society in general.*

*The effort of this Unit focuses on the implementation of systems and tools of quality management on general services and laboratories of the CNA, so as to ensure maximum reliability of the procedures and results of the analysis. In order to ensure the reproducibility of all services CNA has established and published detailed and verifiable procedures for the different aspects of CNA.*

*CNA has also implemented and obtained standard ISO certifications as ISO 9001 and ISO 27001.*

*The ISO standards have been developed by ISO International organization to manage the quality of companies and institutions such as CNA to improve their practices, to enhance their performance, and finally to achieve success.*

*The ISO 9001:2008 is a global quality management standard, used to establish and to update the organization's quality management system (QMS). It helps both product*

*and service organizations to achieve standards of quality that are recognized and respected throughout the world.*

*The standard is based on a number of quality management principles including a strong customer focus, the motivation and implication of top management, the process approach and continual improvement. It helps ensure that customers get consistent, good quality products and services, which in turn brings many business benefits.*

*ISO 9001 scope: Centro Nacional de Aceleradores for the following field of activities: Materials analysis services with particle accelerators using IBA (Ion Beam Analysis) and AMS (Accelerator Mass Spectrometry) techniques, has implemented and maintains a quality management system which fulfills the requirements of the standard ISO 9001:2008.*

*The ISO/IEC 27001:2005 is a global information security management standard, used to establish and certify the information security management system (ISMS). It clearly specifies the processes for enabling an organization to establish, implement, review and monitor, manage and maintain an effective ISMS. Its implementation will reassure customers and suppliers that information security is taken seriously within the organizations they deal with because the latter have in place state-of-the-art processes to deal with information security threats and issues.*

*ISO 27001 scope: Information systems that give support to Centro Nacional de Aceleradores activities involving investigations and the applied technology for hardware development and internal as well as external test with accelerators according to the statement of applicability ED.1.*

*Both ISO standards imply checking that the system works so that CNA must perform internal audits to check how its quality management system is working. Two different independent organizations (AENOR and BUREAU VERITAS) verify and certify annually that it is in conformity to the standards.*

## 10.1 Componentes de la Unidad de Calidad / Quality Unit Members

---

- D. Jerónimo Castilla Guerra, Coordinador de la Unidad de Calidad
- Dr. Celestino Ignacio Sánchez Angulo, Miembro
- D. Miguel Calderón Reyes, Miembro
- D. Francisco Calle Blanco, Miembro
- D<sup>a</sup>. Isabel Gómez Martínez, Miembro
- Dra. Yolanda Morilla García, Miembro
- D. Juan Ignacio Peruchena Fernández, Miembro
- Dra. Elena Chamizo Calvo, Miembro
- Dra. Inés Ortega Feliu, Miembro
- D. Sergio David León Dueñas, Miembro

