

# Memoria de Investigación 2011-2012

# Research Report 2011-2012









Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Índice / Index

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Capítulo / Chapter	Página		
1. Introducción / Introduction	9		
2. Estructura y Personal / Structure and Staff	15		
2.1 Dirección del Centro / Centre Management			
2.2 Junta Rectora / Governing Board			
2.3 Comité Científico / Scientific Committee			
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	19		
Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of			
Materials Research Unit			
2.4.3 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear	19		
Physic Research Unit	20		
2.4.4 Unidad de Investigación Ciciotron / Cyclotron Research Unit	20		
2.4.5 Official de Investigación en Espectrometria de Masas con	20		
24.6 Unidad do Investigación on Análisis do Contaminantos dol Modio	20		
Z.4.0 Official de investigación en Analisis de Contaminantes del Medio	20		
of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-based			
techniques Research Unit (ACOMETA)			
2/4.7 Unidad de Divulgación Científica (UCC+i) / Outreach Unit (UCC+i)	21		
2.4.8 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular staff at CNA	21		
2.4.9 Personal del HLIVR en el CNA / HLIVR staff at CNA	21		
2.5 Datos del Centro / Centre information	21		
2. Infrastructuras / Eacilitias	22		
5. IIII desti utili de 7 Facilities 2.1. Acolorador Tándom de 2. $M//2$ M//Tandom Accolorator	25		
2.1.1 Linear de baz / Deam Lines	20		
5.1.1 Lilieds de lidz / Dedili Lilies	27		
5.1.2 Technicas disponibles en el Acelerador Tandem 5 IVIV / Avaliable	50		
212 Laboratorios dol Acolorador Tándom do 2 MV/ / 2 MV/ Tandom	22		
Accelerator Laboratorios	52		
2 2 Ciclotrón / Cyclotron	27		
3 2 1 Línea de Haz de Evnerimentación / Evnerimental Ream Line	30		
3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron laboratorios	12		
3.2.2 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radionharmacy and Molecular	42		
Imaging	-10		
3.2.4 Tomógrafo PET y TAC para pequeños animales / Small animal PET and	49		
CT			
3.2.5 Tomógrafo PET/TAC para humanos / PET/CT human scanner	50		
3.3 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas (AMS) / 1	53		

MV Tandetron Accelerator with Mass Spectrometer (AMS)			
3.3.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service			
3.3.2 Laboratorios asociados al Acelerador Tandetrón de 1 MV con	57		
Espectrómetro de Masas / AMS Laboratories			
3.4 Acelerador MiCaDaS (Mini Radiocarbon Dating System) / MiCaDaS			
Accelerator			
3.5 Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory			
4. Investigación / 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			
4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science	70		
4.1.2 Ciencias Medioambientales / Environmental Science	92		
4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage	98		
4.1.4 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facility	107		
4.2 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physic	116		
Research Unit			
4.2.1 Instrumentación Nuclear / Nuclear Instrumentation	116		
4.2.2 Instrumentación para aplicaciones médicas / Medical	123		
Instrumentation			
4.2.3 Estudio de reacciones nucleares con núcleos estables y exóticos /	128		
Nuclear Reactions with stable and exotic nuclei			
4.2.4 Física y Tecnología de Neutrones / Neutron Physics and Technology	131		
4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit	136		
4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy	136		
4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging	139		
4.3.3 Otros estudios / Other studies	152		
4.4 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores			
4.4.1 Medidas de $^{129}$ por AMS / AMS $^{129}$ measurements	154		
4.4.2 Medida de actínidos por AMS / AMS actinides measurements	160		
4.4.3 Medida de $^{14}$ C / $^{14}$ C measurements	162		
5. CNA y Sociedad / CNA and Society	165		
5.1 El CNA y la Salud / CNA and Health	167		
5.2 El CNA y el Medio Ambiente. / CNA and Environment	168		
5.3 El CNA y la Cultura / CNA and Cultural Heritage	169		
5.4 El CNA y la Empresa / CNA and Company	170		
6. Cultura Científica / Outreach	173		
6.1 Presentación / Presentation	175		
6.2 Acciones / Actions	176		
6.3 Otras acciones / Other actions	180		
6.3.1 Año 2011 / Year 2011	180		
6.3.2 Año 2012 / Year 2012	181		
6.4 Impacto de actividades / Activities impact			
6.4.1 Visitantes de las instalaciones por año / Annual visitants	184		

### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6.4.2 Procedencia de los centros visitantes / Origin of visitant centers	184	
6.4.3 Visitantes a exposiciones y ferias / Visitants of exhibitions	185	
6.4.4 Comunicación Científica / Scientific press notes	185	
7. Producción Científica / Scientific Production	187	
7.1 Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects,	189	
Agreements and Contracts		
7.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects	189	
7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic	190	
Projects		
7.1.3 Convenios y contratos / Agreements and Contracts	191	
7.2 Artículos publicados / Published Articles		
7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles	194	
7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles	203	
7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books	207	
7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations	210	
7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings	210	
7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings	219	
7.4 Tesis Doctorales y Trabajo Fin de Máster / Theses and Final Master	225	
Projects		
7.4.1 Tesis Doctorales/ Theses	225	
7.4.2 Proyecto de Fin de Máster / Final Master Project	225	
7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings	226	
7.5.1 Cursos / Courses	226	
7.5.2 Coloquios / Seminars	227	
7.5.3 Eventos / Meetings	228	
8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators	231	
Statistics and users		
8.1 Estadísticas de uso / Statistics	233	
8.2 Gráficos estadísticos de los Aceleradores Tándem de 3 MV y Tandetrón	235	
de 1 MV / 3 MV Tandem and 1 MV Tandetron Accelerators statistics		
graphics		
8.2.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	235	
8.2.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator	236	
(AMS)		
8.3 Usuarios de las Instalaciones del CNA / CNA Facilities users	237	
9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services	239	
offered by CNA		
9.1 Uso de tiempo de haz en el Acelerador Tándem de 3 MV. Análisis de	241	
Espectros y elaboración de Informes / 3 MV Tandem Accelerator beam		
time. Data Analysis and Reports		
9.2 Medidas de <sup>++</sup> C y Datación / <sup>++</sup> C Measurements and Radiocarbon Dating	243	
9.3 Uso del micro-TAC y micro-PET / Animal PET/CT Scanning		
9.4 Analisis de Isótopos de Plutonio, <sup>239</sup> Pu y <sup>240</sup> Pu, por AMIS / Pu isotopes	246	
analysis <sup>235</sup> Pu and <sup>246</sup> Pu, by AMS		

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9.5 Uso de la línea de haz externo del Ciclotrón / External beam line Cyclotron use	248
10. Calidad / Quality	249
10.1 Componentes de la Unidad de Calidad / Quality Unit Members	253

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

1. Introducción / Introduction

# 1. Introducción / Introduction

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

1. Introducción / Introduction

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 2011 y 2012. Mostramos las capacidades del CNA, con el ánimo de favorecer el establecimiento de colaboraciones con los sectores científicos y tecnológicos.

El bienio 2011-2012 ha visto un aumento de las capacidades del CNA, a pesar de la difícil situación económica. Junto a los aceleradores ya establecidos en el CNA (Tándem, Ciclotrón y Tandetrón AMS), hemos instalado un acelerador compacto para <sup>14</sup>C (MICADAS), un irradiador de <sup>60</sup>Co y un escáner PET-TAC. Hemos mantenido las certificaciones de calidad ISO 27001 e ISO 9001. Hemos incrementado nuestra visibilidad internacional, manteniendo la designación de Centro Colaborador de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA), apareciendo en la portada de la publicación europea "Nuclear Physics News", y participando en un nuevo proyecto europeo "Optimization of Particle Accelerator" (OPAC).

La crisis económica, que está afectando a todos los ámbitos de la sociedad, ha hecho a los años 2011 y 2012 muy difíciles para el CNA, más incluso que 2009 y 2010. La contribución de las instituciones del CNA (Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC) a los costes de funcionamiento se ha reducido significativamente año tras año. No se han creado plazas permanentes. Se ha reducido la financiación para contratos temporales. Conforme los proyectos de investigación nacionales y regionales (CONSOLIDER, PTA, Plan Nacional, Proyectos de Excelencia) han finalizado, no han aparecido nuevas convocatorias, o han sido muy reducidas. A pesar de estas graves dificultades, hemos mantenido el personal clave, extendiendo sus funciones para operar las tres nuevas instalaciones. Hemos incrementado los fondos europeos, la facturación por uso de las instalaciones, y la financiación por contratos con otras instituciones. Hemos mantenido y aumentado los acuerdos y convenios con empresas convo ilBA y ENRESA y con otros centros como el CIEMAT. Hemos firmado nuevos convenios con la empresa ALTER, para el uso del irradiador, y con el Hospital Universitario Virgen del Rocío (HUVR) para el uso del escáner PET-TAC.

La investigación realizada por las unidades de investigación del CNA durante el bienio 2011-2012 se recoge en la memoria. Corresponde a los cinco objetivos del plan estratégico 2008-2012:

1) Centro de referencia para el desarrollo de Técnicas de Análisis por Haces de Iones (IBA) para análisis de materiales.

2) Centro de referencia para el desarrollo de pruebas de irradiación.

3) Centro de referencia para el desarrollo de detectores de radiación e instrumentación nuclear.

4) Centro de referencia para espectrometría de masas por aceleradores (AMS) y datación por <sup>14</sup>C.

5) Centro de referencia para producción de radiofármacos e imagen molecular.

El acceso al CNA puede realizarse a través de los servicios prestados por el centro. El CNA ha incrementado cualitativa y cuantitativamente el uso de sus instalaciones. Los servicios más demandados solían ser la datación por radiocarbono y las medidas por técnicas IBA. Investigadores, empresas o particulares, pueden enviar sus muestras al CNA, y obtener información sobre su composición elemental por técnicas IBA, en general no destructivas, o sobre la edad de la muestra mediante la medición precisa de la cantidad de Carbono 14. Sin embargo, desde 2012, estamos operando el tomógrafo PET-TAC, en colaboración con el personal del HUVR, y más de 1000 pacientes oncológicos se han beneficiado ya de las instalaciones del CNA.

La divulgación científica tiene gran importancia en el CNA. Existe un programa de divulgación, que organiza visitas semanales al centro, principalmente de grupos de alumnos de secundaria y bachillerato, pero también de universitarios, profesionales y público general. Aproximadamente, tenemos 1900 visitas anuales a las instalaciones del centro, muy superiores a las 1500 que tuvimos hace dos años. También participamos en la Feria de la Ciencia de Sevilla, y en la Semana de la Ciencia del CSIC.

Los logros obtenidos requieren de un equipo humano, que con esfuerzo y dedicación, haga frente a los retos siempre cambiantes que implica el trabajo en el centro. El personal científico ha de compaginar la realización de su propia investigación, con el apoyo a los investigadores externos y la búsqueda de financiación para la investigación. El personal técnico debe afrontar el reto de mantener el complejo equipamiento en condiciones óptimas, sacándole el máximo partido en las condiciones exigentes que requiere la investigación. El personal administrativo debe afrontar los retos asociados a las fuentes diversas de financiación y a la complejidad de la gestión asociada al carácter de centro mixto dependiente de tres entidades. Todo esto ha de hacerse en un entorno de reducción de salarios, bloqueo de la promoción, falta de estabilidad, financiación escasa e incremento de la carga de trabajo. Deseo hacer constar mi agradecimiento a todo el personal del CNA, a pesar de las dificultades externas.

Finalmente, debo agradecer 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.

**1. Introducción / Introduction** 

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 2011-2012. We show the capacities of CNA, in order to promote collaborations with the scientific and technological communities.

The years 2011-2012 have seen a growth of the capacities of CNA, despite the very difficult financial situation. Besides the three traditional accelerators of CNA (Tandem, Cyclotron and AMS Tandetron), we have installed a new compact accelerator for <sup>14</sup>C (MICADAS), a PET-CT scanner, and a <sup>60</sup>Co irradiator. We maintained the quality certificates ISO 27001 and ISO 9001. We increased the international visibility, maintaining the designation as Collaborative Centre of the International Atomic Energy Authority (IAEA), appearing in the front page of the European journal "Nuclear Physics News", and becoming part of a new European project "Optimization of Particle Accelerators" (OPAC).

The economic crisis that is affecting society at large has made that the years 2011 and 2012 very difficult for CNA, even more so than the previous years 2009 and 2010. The contribution of the three institutions that constitute CNA (U. Sevilla, J. Andalucía and CSIC) to the running costs of CNA has been significantly reduced, year after year. Stable personnel positions have not been created. Public funding for temporary contracts has been sharply reduced. As research projects from national and regional sources (CONSOLIDER, PTA, Plan Nacional, Proyectos de Excelencia) came to an end, new call have not appeared, or have been sharply reduced. Despite this very difficult situation, we have maintained the key personnel and expanded their functions to operate the three new facilities. 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. We have maintained and expanded agreements with companies such as IBA and ENRESA, and other centres such as CIEMAT. We have signed new agreements with the company ALTER, for the use of the Irradiator, and with the Hospital Universitiario Virgen del Rocío (HUVR), for the use of the PET-CT scanner.

The research carried out by the units in CNA is presented in the report. This research corresponds to the five objectives expressed in the strategic plan 2008-2012:

1) Development of Ion Beam Analisys (IBA) Techniques for material analysis.

2) Development of irradiation trials.

*3)* Development of radiation detectors and nuclear instrumentation.

*4)* Accelerator Mass Spectrometry (AMS) and <sup>14</sup>C dating.

**1. Introducción / Introduction** 

5) Radiopharmaceutical production and molecular imaging.

CNA facilities can be accessed through the services provided. We have increased, quantitatively and qualitatively, the use of our facilities. The most demanded services used to be radiocarbon dating and measurements by IBA techniques. Researchers, companies or individuals can send their samples to CNA, and obtain information of the elementary composition through IBA techniques, or the age of the sample, through the accurate C-14 determination. However, since 2012 we have been operating the PET-CT scanner, in collaboration with the personnel of HUVR, and more than 1000 oncology patients have so far benefited from the access to CNA facilities.

Scientific Outreach is very important in CNA. There is an Outreach Program, which organizes weekly visits to CNA mainly directed to secondary school students, but also for university students, and groups of professionals and general public. We are getting approximately 1900 visitors per year, well above the 1500 visitors per year we got two years ago. We also participate in scientific fairs, and in the CSIC science week.

The results accomplished require a human team that, with effort and dedication, faces the challenges that appear in the daily work in the Centre. The scientific personnel have to carry out its own research, give support to the external users and find resources for research. The technical personnel have to maintain the complex equipment in optimal conditions, and obtain the best performance in the demanding conditions required by research activities. The administrative personnel have to face the challenges associated to the management of diverse funding sources and the complexity of a mixed Centre depending on three institutions. All this has to be done in an environment in which salaries are reduced, promotion is blocked, stability is reduced, funding is scarce, and the workload per person is increased. I wish to thank here all the personnel in the Centre, because each one, from his responsibility, makes possible the work at CNA, despite the external difficulties.

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.

Abril 2013 Joaquín Gómez Camacho Director del CNA April 2013 Joaquín Gómez Camacho CNA Director

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

# 2. Estructura y Personal / Structure and Staff

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

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 advices 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 José 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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

### 2.2 Junta Rectora / Governing Board

-Dr. Antonio Figueras Huerta, Vicepresidente de Investigaciones Científica y Técnica (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

-Dr. Eusebio Carlos Jiménez Arroyo, 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)

-Dª. Eva María Vázquez Sánchez, Directora General de Investigación, Tecnología y Empresa (Junta de Andalucía)

-Dr. Joaquín José 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

-Dr. José Antonio Odriozola Gordón, Catedrático del Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Sevilla

-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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

-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, 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 PTA

-D. Juan Carlos Mateos Frutos, Técnico Auxiliar de Aceleradores, Contrato PTA

-D. Francisco Calle Blanco, Titulado de Grado Medio Informático, Contrato CNA

-D. Sergio David León Dueñas, Titulado Superior para Divulgación, Contrato CPAN

# **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 CPAN

-Dr. Francisco Javier Ferrer Fernández, Titulado Superior para Investigación, Contrato PTA

-Dª. María del Carmen Jiménez Ramos, Titulada Superior para Investigación, Contrato CPAN

-Dª. Gema Muñiz Romero, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA

-Dª. Ana Isabel Moreno Suárez, Becaria de Investigación, Plan Propio Universidad de Sevilla

-D. Kilian Laclavetine, Becario de Investigación, Proyecto Nacional

-Dª. Simona Scrivano, Becaria de Investigación, Proyecto Nacional

-D. Mauricio Rodríguez Ramos, Becario de Investigación, Proyecto Nacional

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

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

-Dr. José Manuel Espino Navas, Profesor Titular, Universidad de Sevilla

-Dr. Marcos Aurelio González Álvarez, Investigador, Programa Ramón y Cajal

-Dr. Alessio Bocci, Investigador, Proyecto Europeo

-Dr. Javier Praena Rodríguez, Titulado Superior para Investigación, Contrato CPAN

-D. Alejandro Garzón Camacho, Titulado Superior para Investigación, Contrato CPAN

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

-Dª. Begoña Fernández Martínez, Titulada Superior para Investigación, Proyecto Nacional

-D. Ziad Abou-Haidar, Investigador, Proyecto Europeo

-D. Juan Pablo Fernández García, Becario de Investigación, Proyecto Nacional

#### 2.4.4 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit

-Dr. Joaquín Cobos Sabaté, Investigador, Proyecto Regional

-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, Proyecto Regional

-Dª. Isabel Fernández Gómez, Técnico de Laboratorio, Contrato JAE-TEC

# 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

-Dra. Helena Patricia Moreno González, Profesora 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 -Dª. Lidia Agulló García, Titulado Superior para Investigación, Contrato JAE-TEC

-D. Juan Ignacio Peruchena Fernández, Titulado Superior para Investigación, Contrato PTA

-D. Juan Alcalde García, Titulado Superior de Aceleradores, Contrato FIUS

-D. Santiago Padilla Domínguez, Becario de Investigación, Proyecto Nacional

#### 2.4.6 Unidad de Investigación en Análisis de Contaminantes del Medio Terrestre mediante técnicas basadas en Aceleradores (ACOMETA) / Analysis of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-based techniques Research Unit (ACOMETA)

-Dr. Emilio Galán Huertos, Catedrático, Universidad de Sevilla

-Dra. Isabel González Díez, Catedrática, Universidad de Sevilla

-Dr. Antonio Romero Baena, Profesor Ayudante, Universidad de Sevilla

-Dr. Jesús Damián de la Rosa Díaz, Profesor Titular, Universidad de Huelva

-Dr. Juan Carlos Fernández-Caliani, Profesor Titular, Universidad de Huelva

-Dra. Ana Mª Sánchez de la Campa Verdona, Investigadora, Programa Juan de la Cierva, CSIC

-Dr. Juan Pedro Bolívar Raya, Catedrático, Universidad de Huelva

-Dr. Federico Vaca Galán, Profesor Titular, Universidad de Huelva

-Dr. Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, Profesor Titular, Universidad de Huelva

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

### 2.4.7 Unidad de Divulgación Científica (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, Contrato CPAN
-Dª. Inmaculada Díaz Francés, Titulado Superior, Monitora de Divulgación Científica
-D. José Antonio Galván Moreno, Titulado Superior, Monitor de Divulgación Científica
-Dª. Celia Falcón Carrero, Titulado Superior, Monitora de Divulgación Científica
-Dª. Esther Sanjuán Ballano, Titulado Superior, Monitora de Divulgación Científica
-Dª. Elisa Eugenia Jiménez Ortega, Titulado Superior, Monitora de Divulgación Científica

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

- -D. Federico Moreno Jiménez, Director Técnico
- -Dª. Elena Santos Prieto, Responsable de Control de Calidad
- -Dª. Mercedes Serrano Sánchez-Toscano, Responsable de Investigación
- -D. Manuel Blasco Espinosa, Responsable de Producción
- -Dª. Sonia López Navas, Responsable de Almacén
- -D. Jorge Vadillo, Coordinador de Radiofarmacias en Andalucía
- -D. Lázaro García Pérez, Ingeniero de Servicio
- -Dª. Cristina Vázquez, Técnico de Medicina Nuclear
- -D. Ildefonso Mazo Cabrera, Técnico de Laboratorio
- -Dª. Pilar Ellston, Técnico de Laboratorio
- -D. Jorge Ocaña Layosa, Técnico de Laboratorio
- -D. José Antonio Durán Suárez, Técnico de Laboratorio
- -Dª. Purificación López Martín, Administrativa

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

- -D. Ricardo Vázquez Albertino, Facultativo
- -Dª. Isabel Borrego Dorado, Facultativa
- -Dª. Irene Acevedo Báñez, Facultativa
- -Dª. Rosa Fernández López, Facultativa
- -D. Víctor Pachón Garrudo, Facultativo
- -Dª. Ana María Gómez Rodríguez, Técnico en Medicina Nuclear
- -Dª. Mercedes Carmona Huertes, Técnico en Medicina Nuclear
- -Dª. Lucía Alarcón Pato, Técnico en Medicina Nuclear
- -Dª. María del Carmen Moreno González, Enfermera
- -Dª. Nieves de la Roda Valero, Enfermera
- -Dª. Natalia Blanco Román, Enfermera
- -Dª. Cristina Vázquez Benítez, Técnico en Radiofarmacia
- -Dª. Mercedes Buzón Luzón, Técnico en Radiofarmacia
- -D. Luis Falcón Márquez, Técnico en Radiofarmacia
- -D. Víctor Marón Oyaga, Residente
- -Dª. Ana Ortiz de Tena, Residente
- -Dª. María Eugenia Alcántara, Residente
- -D. Álvaro Bonilla Damia, Residente

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

### 2.5 Datos del Centro / Centre information

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

# 3. Infraestructuras / Facilities

3. Infraestructuras / Facilities

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 (Ilamado 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 <sup>60</sup>Co.

Con estos aceleradores se ponen a disposición de la comunidad investigadora 3 herramientas de investigación únicas acompañadas de las técnicas IBA (Ion Beam Analysis) para la caracterización de materiales, las técnicas de modificación e irradiación de materiales, la irradiación con fotones, la de producción de radionucleidos PET (<sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O, <sup>18</sup>F) y la Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) de la que deriva un Servicio de datación por <sup>14</sup>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 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 <sup>60</sup>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 (<sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O, <sup>18</sup>F) for Positron Emission Tomography (PET) and the Accelerator Mass Spectrometer (AMS) that includes a <sup>14</sup>C dating service using AMS. At CNA, there are also research laboratories for sample preparation that facilitate the application of the presented techniques.

3. Infraestructuras / Facilities

### 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.

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 cinco líneas de trabajo disponibles.

Para la detección de partículas se cuenta con detectores SiLi y LEGe de Canberra, un HPGe de Ortec, un detector de Nal(TI) 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 characterisation and modification by means of IBA techniques.

lons 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.

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities



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):

<u>Línea de -30°: Línea de Física Nuclear Básica</u>. El uso de esta línea es el de la preparación de instrumentos que posteriormente se utilizarán en instalaciones internacionales de Física Nuclear.

<u>Línea de -15°: Microsonda Nuclear</u>. 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 2.5x2.5 mm<sup>2</sup> para protones de 3 MeV.

<u>Línea de 0°: Cámara multipropósito</u>. Esta cámara ha sido diseñada para realizar simultáneamente experimentos mediante RBS, PIXE, NRA y PIGE. Un conjunto de detectores de radiación gamma y de partículas se usan para combinar todas estas técnicas IBA.

3. Infraestructuras / Facilities

<u>Línea de +15°: Cámara de irradiación</u>. 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.

Es una línea móvil que puede transportarse completamente al ciclotrón, de una manera relativamente sencilla, cuando se quieran realizar experimentos con protones de alta energía.

<u>Línea de +30°: Cámara de canalización</u>. 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 y giros en la muestra en el plano XY respecto del haz.

<u>Línea de +45°: Haz externo</u>. 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 movimientos 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):

<u>-30° Beam Line: Nuclear Physics Beam Line</u>. This is the line for the preparation of instruments which will be used in international Nuclear Physics facilities.

<u>-15° Beam Line: Microbeam Chamber</u>. 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.

<u>O° Beam Line: Multipurpose IBA Chamber</u>. 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.

3. Infraestructuras / Facilities



Figura 3.2: Líneas de haz / Beam lines

<u>+15° Beam Line: Irradiation Chamber</u>. This home-made scattering chamber has been designed to allow the irradiation of large areas ( $16x20 \text{ cm}^2$ ) by raster scanning of the beam through magnetic deflection. It is a movable beam line, in such a way that the complete system can be easily transported to the cyclotron when irradiation with high energy protons is required.

<u>+30° Beam Line: Channeling Chamber</u>. 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.

<u>+45° Beam Line: External Beam</u>. 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 (~60  $\mu$ 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. Infraestructuras / Facilities

# **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- y 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:

<u>Espectrometría de Retrodispersión Rutherford (RBS).</u> 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.

<u>Análisis por detección de retrocesos elásticos (ERDA).</u> 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- y 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. A través de la Canalización-NRA es posible obtener la localización de impurezas en la red de un monocristal así como la distribución de defectos en profundidad en el mismo. 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.

<u>Emisión de Rayos-X Inducidos por Partículas (PIXE).</u> 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

3. Infraestructuras / Facilities

caracterización de elementos con una Z intermedia hasta elementos pesados, y se combina con NRA y PIGE para estudiar elementos de Z<12. Mediante Canalización-PIXE es posible determinar la localización de impurezas en la red de monocristales.

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. Esta línea se comparte con el ciclotrón, donde las aplicaciones en tecnología aeroespacial adquieren una mayor relevancia. Por otro lado, el acoplamiento de un detector de radiación X en la cámara de vacío permite además complementar el análisis de materiales mediante la técnica PIXE a altas energías.

#### *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 γ-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:

<u>Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)</u>. 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.

<u>Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA).</u> This technique is based on the physical principles of elastic scattering. It requires heavier ions in the beam in order to recoil

3. Infraestructuras / Facilities

light nuclei from the sample. ERDA is an efficient technique for high resolution depth profiling.

<u>Nuclear Reaction Analysis (NRA)/ Particle Induced  $\chi$  -Ray Emission (PIGE).</u> 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. Through Channelling-NRA it is possible to obtain the lattice location of impurities and the defect distribution depth profile in single crystalline samples. 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. It is possible to determine lattice location of impurities in single crystalline samples using Channeling-PIXE.

Besides these analysis techniques, the centre has capability for modification of materials. It should be highlighted that ionic 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. This line is shared with the cyclotron, where the applications in aerospace technology acquire a greater relevance. On the other hand, the coupling of an X-Ray detector to the vacuum chamber permits the analysis of materials by high-energy PIXE.

# **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.

A continuación, se describen los distintos laboratorios:

Laboratorio de Fluorescencia y Transmisión / X-Ray Fluorescence and GRT 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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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



Figura 3.3: Laboratorio de Fluorescencia y GRT / X-Ray Fluorescente and GRT Laboratory

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.

Our 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.

This laboratory disposes two techniques, XRF and GRT.

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

X-Ray Fluorescence, XRF, is a non-destructive technique similar to PIXE but with portable equipment and low cost. It allows 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 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.

3. Infraestructuras / Facilities

Detectors laboratory (Figure 3.4) has a weighing and protection cabinets 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. That way, it can be minimized the risks of rupture or contamination of such parts by different types of accidents or the presence of impurities in the environment.

The laboratory also has different equipment 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 of it, 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.

Actually, 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, there are a lot of electrical instrumental like high speed and sampling oscilloscope, power supply, arbitrary function generator, millimetre, etc., 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 miden 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.

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities



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.....
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

#### **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  $\mu$ A ± 10% para protones y de 35  $\mu$ A ± 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 <sup>18</sup>O en su interior ([<sup>18</sup>O]- $H_2O$ , pureza > 95% en <sup>18</sup>O), para producir <sup>18</sup>F en forma de [<sup>18</sup>F]-Fluoruro mediante la reacción <sup>18</sup>O(p,n)<sup>18</sup>F.

2-3- Dos blancos de volumen grande (2 ml), con las cavidades fabricadas en niobio y rellenos de agua enriquecida en <sup>18</sup>O ([<sup>18</sup>O]-H<sub>2</sub>O, pureza > 95% en <sup>18</sup>O). Están destinados también a la producción de <sup>18</sup>F en forma de [<sup>18</sup>F]-Fluoruro mediante la reacción nuclear <sup>18</sup>O(p,n)<sup>18</sup>F.

4- Blanco de 1,7 ml relleno de una mezcla agua-etanol para la obtención dentro del blanco de <sup>13</sup>N en forma de [<sup>13</sup>N]-Amoniaco mediante la reacción <sup>16</sup>O( $p,\alpha$ )<sup>13</sup>N.

5- Blanco de 30 ml que contiene  ${}^{18}O_2$  y utilizado en la obtención de  ${}^{18}F$  en forma de  $[{}^{18}F]$ - $F_2$  mediante bombardeo con protones.

6- Blanco gaseoso de 60 ml, en el que se bombardea una mezcla nitrógeno-oxígeno con protones para obtener <sup>11</sup>C en forma de [<sup>11</sup>C]-CO<sub>2</sub> mediante la reacción <sup>14</sup>N(p, $\alpha$ )<sup>11</sup>C.

7- Blanco de 60 ml relleno de una mezcla nitrógeno-oxígeno para la obtención de  ${}^{15}$ O en forma de [ ${}^{15}$ O]-O<sub>2</sub> mediante la reacción  ${}^{14}$ N(d,n) ${}^{15}$ 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  $\mu$ A ± 10% for protons and 35  $\mu$ A ± 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 <sup>18</sup>O-enriched water ([<sup>18</sup>O]-H<sub>2</sub>O, purity > 95% in <sup>18</sup>O). It is used for the production of <sup>18</sup>F as [<sup>18</sup>F]-Fluoride through the <sup>18</sup>O(p,n)<sup>18</sup>F nuclear reaction.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

5- 60 ml target containing  ${}^{18}O_2$  gas used to produce  ${}^{18}F$  as  $[{}^{18}F]$ - $F_2$  by protons bombardment.

6- 60 ml target, where a nitrogen-oxygen mixture is bombarded with protons, obtaining <sup>11</sup>C as [<sup>11</sup>C]-CO<sub>2</sub> through the <sup>14</sup>N( $p,\alpha$ )<sup>11</sup>C nuclear reaction.

7- 60 ml target filled with a nitrogen-oxygen mixture and used to produce  ${}^{15}O$  as  $[{}^{15}O]$ -  $O_2$  by means of the  ${}^{14}N(d,n){}^{15}O$  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

3. Infraestructuras / Facilities

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. Actualmente se está diseñando una cámara de ionización para ser instalada en el último tramo de la línea, con el fin de cubrir la monitorización directa de un amplio rango de densidad de corriente.

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

3. Infraestructuras / Facilities

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. Currently, an ionization chamber is being designed to be placed in the last section of the line, in order to cover the direct monitoring of a wide range of current density.

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 that it has 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

3. Infraestructuras / Facilities

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".

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.



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 <sup>18</sup>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

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

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 [<sup>18</sup>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 Comecer (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 Comecer en las que se sintetizan otros radiofármacos de interés para el estudio de procesos metabólicos o funcionales ([<sup>18</sup>F]-FDOPA, [<sup>18</sup>F]-Fluorotimidina ([<sup>18</sup>F]-FLT), [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-FMISO), [<sup>18</sup>F]-Fluoruro sódico ([<sup>18</sup>F]-NaF), [<sup>11</sup>C]-Colina, [<sup>11</sup>C]-Metionina, [<sup>13</sup>N]-Amonio, [<sup>15</sup>O]-Agua, etc... La configuración de este laboratorio es la siguiente:



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

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 ioduro de metilo radiactivo ([<sup>11</sup>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 [ $^{18}$ F]-F<sub>2</sub> o [ $^{18}$ F]-Hipofluorito de acetilo ([ $^{18}$ F]-CH<sub>3</sub>COOF) para marcar alquenos y compuestos aromáticos ricos en electrones por sustitución electrofílica.

3- Celda de síntesis de [<sup>15</sup>O]-H<sub>2</sub>O y de recogida de [<sup>13</sup>N]-NH<sub>3</sub>. El [<sup>15</sup>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 ([<sup>15</sup>O]-O<sub>2</sub>), reacciona en la celda de síntesis con hidrógeno y paladio a 150°C para obtener [<sup>15</sup>O]-H<sub>2</sub>O. Por otro lado, el [<sup>13</sup>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 [<sup>13</sup>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 [<sup>18</sup>F]-Fluoruro ([<sup>18</sup>F<sup>-</sup>]), 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.

The laboratories were designed to comply with Good Manufacturing Practices (GMP) regulations. At the present time, the unit is composed of an "<sup>18</sup>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-[<sup>18</sup>F]-Fluoro-D-glucose ([<sup>18</sup>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). [<sup>18</sup>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

3. Infraestructuras / Facilities

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 ([<sup>18</sup>F]-FDOPA, [<sup>18</sup>F]-FLT, [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-FMISO), sodium-[<sup>18</sup>F]-fluoride, [<sup>11</sup>C]-Choline, [<sup>11</sup>C]-Methionine, [<sup>13</sup>N]-Ammonia, [<sup>15</sup>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 ([<sup>11</sup>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  $[{}^{18}F]$ - $F_2$  or  $[{}^{18}F]$ -Acetyl hypofluorite ( $[{}^{18}F]$ -CH<sub>3</sub>COOF) to label electronrich alkenes and aromatic compounds by electrophilic substitutions.

3- Cell for  $[{}^{15}O]$ -H<sub>2</sub>O synthesis and  $[{}^{13}N]$ -NH<sub>3</sub> collection.  $[{}^{15}O]$ -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  $[{}^{15}O]$ -O<sub>2</sub>, which is mixed in the hot cell with hydrogen and palladium at 150°C to obtain  $[{}^{15}O]$ -H<sub>2</sub>O. On the other hand,  $[{}^{13}N]$ -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, [<sup>13</sup>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 [<sup>18</sup>F]-Fluoride [<sup>18</sup>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).

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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, detector ampiromético y detector de conductividad para cromatografía iónica de alta sensibilidad y extrema estabilidad. El equipo es programable con control desde el teclado o mediante

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

software, con gran versatilidad desde software, 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 central argon gas 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 quaternary gradient pump which is fully programmable, automatic injection system, injection reproducibility, 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.

3. Infraestructuras / Facilities

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 [<sup>18</sup>F]-Fluorotimidina ([<sup>18</sup>F]-FLT), que es un marcador de proliferación celular, [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-MISO) trazador de hipoxia, útil en estudios de hipoxia tumoral e hipoxia inducida por traumatismos, [<sup>11</sup>C]-Metionina para diagnóstico y seguimiento de tumores cerebrales, [<sup>11</sup>C]-Colina para cáncer de próstata y [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborato sódico ([<sup>18</sup>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 [<sup>18</sup>F]-Fludesoxiglucosa ([<sup>18</sup>F]-FDG), marcador de metabolismo glicídico, la [<sup>18</sup>F]-Fluorometilcolina para estudio de cáncer de próstata y la [<sup>18</sup>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 [<sup>18</sup>F<sup>-</sup>] 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 ioduro de metilo radiactivo [<sup>11</sup>C]-MeI y metiltriflato radiactivo [<sup>11</sup>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 [<sup>18</sup>F]-Fluorothymidine ([<sup>18</sup>F]-FLT), cellular proliferation PET tracer, [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-FMISO) for hypoxia, tumoral and trauma-induced hypoxia, [<sup>11</sup>C]-Methionine for brain tumors, [<sup>11</sup>C]-Choline to study prostate cancer, and sodium [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate ([<sup>18</sup>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 glicidic 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 develope synthesis methods to label new molecules for pharmaceutical industries or investigation groups, which are interested in molecular imaging of their compounds.

3. Infraestructuras / Facilities

# The most common methods we use are nucleofilic substitution with $[^{18}F]$ and radioactive methylation with methyl iodide $([^{11}C]-MeI)$ and methyl-triflate $([^{11}C]-MeTF)$ .

#### 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 utilizará 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.

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<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce, gadolinium orthosilicate activated with cerium) with dimensions of 2x2x10 mm<sup>3</sup> 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  $\mu$ 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)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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.



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

#### **3.2.5** 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 detector PET de campo de vista axial de 16,6 cm y detector de TAC con 64 coronas.

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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities



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

El escáner de humanos se encuentra instalado a pocos metros de la Radiofarmacia, lo que permite estudios con radiofármacos en base de <sup>11</sup>C de corta semivida. 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 certificado (radiólogos y enfermeros) para estudios humanos diseñados 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 16.6 cm axial field of view PET detector in line with CT of 64 heads.

It allows very flexible study preparation from (i) standard full 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.

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

Human scanner shares control room with small animal scanner, and being installed a few meters from radiopharmacy allows studies with <sup>11</sup>C based radiopharmaceuticals of short half-life. There is an agreement with 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 in CNA three days a week, and for the remaining two days the Service provides the qualified personnel (radiologists and nurses) for the human studies designed by non-Hospital scientific personnel. Also, the scanner is used for examination of large objects of art in CT and animals which have the size or mass and then they do not allow the use of small animal scanners.

3. Infraestructuras / Facilities

#### 3.3 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas (AMS) / 1 MV Tandetron 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 <sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>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 <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>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 <sup>41</sup>Ca y el <sup>36</sup>CI.

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 produce in a nuclear detector after being selected by electric and magnetic fields.

3. Infraestructuras / Facilities

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  ${}^{10}Be$ ,  ${}^{14}C$ ,  ${}^{26}AI$ ,  ${}^{129}I$  and isotopes of Pu. In the last years, active lines have focused on the analysis of samples for  ${}^{14}C$ ,  ${}^{26}AI$ ,  ${}^{129}I$  and Pu isotopes, but tests to study the team's ability to detect new radioisotopes as the  ${}^{41}Ca$  and  ${}^{36}CI$  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

3. Infraestructuras / Facilities

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 Tandetron 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

3. Infraestructuras / Facilities

(isótopo radiactivo/isótopo estable) están entre 10<sup>-12</sup>-10<sup>-15</sup>, es decir, la técnica es capaz de identificar una partícula entre mil billones. Los isótopos que habitualmente se determinan mediante AMS son, entre otros, <sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>36</sup>Cl, <sup>41</sup>Ca, <sup>129</sup>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<sup>-12</sup>-10<sup>-15</sup> (radioactive isotope to stable isotope).

#### 3.3.1 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 <sup>14</sup>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 Tándem de 1 MV para AMS existe un Servicio de Datación por Radiocarbono (<sup>14</sup>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 <sup>14</sup>C, pero que usan el método tradicional radiométrico, es decir, con detectores de radiación. Por razones científicas la técnica tradicional de datación por <sup>14</sup>C es altamente destructiva (necesita gramos de carbón para datar), consume mucho tiempo de trabajo (una semana de detector 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

3. Infraestructuras / Facilities

tradicional se mide la radiación emitida por <sup>14</sup>C, con AMS se mide el número de átomos de <sup>14</sup>C presente en la muestra.

Samples (archaeological, artistic, historical, etc.) can be dated by measuring their <sup>14</sup>C content. This radioisotope is produced naturally and has the same chemical behaviour as other carbon isotopes.

At CNA, there is a Radiocarbon Dating Service (<sup>14</sup>C) associated to the 1 MV Tandem accelerator. This service includes a fully-equipped laboratory for sample preparation, the first of its kind in Spain. There are other <sup>14</sup>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 (one week per sample) and unproductive.

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 <sup>14</sup>C is measured, but with AMS, we measure the total number of <sup>14</sup>C atoms that are contained in the sample.

# **3.3.2** Laboratorios asociados al Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / AMS Laboratories

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

Dentro de la preparación de muestras de <sup>14</sup>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  $CO_2$  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  $CO_2$ . 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 CO<sub>2</sub>. Habitualmente, en los laboratorios de AMS, y entre ellos en el CNA, este CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>). 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

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

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 eluídos de forma separada. El analizador está conectado a la línea de grafitización, de modo que en el momento de la liberación del CO<sub>2</sub>, este es inyectado a la línea.

La utilización de este EA para la generación del  $CO_2$  tiene dos ventajas principales: la primera, una mayor rapidez y seguridad en la preparación de la muestras y la segunda, un menor coste de producción, pues los tubos de cuarzo necesarios en el método tradicional tienen un coste muy elevado.



Figura 3.17: Línea de grafitización / Graphitization line

Una vez el  $CO_2$  está en la línea, comienza el proceso de grafitización propiamente dicho. Para ello, en primer lugar, se purifica el  $CO_2$  atrapándolo en una cápsula de zeolita (silicato de aluminio con una alta capacidad de retención del  $CO_2$ ), mientras que el vapor de agua presente es atrapado por una trampa fría basada en un enfriador por efecto Peltier. Una vez purificado el  $CO_2$ , se libera de la zeolita por aumento de la temperatura y se conduce al reactor, donde se mezcla con hidrógeno, en presencia de hierro como catalizador. En este reactor, aplicando temperaturas del orden de 550°C tiene lugar la conversión de  $CO_2$  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  $CO_2$  de una zona a otra, e

3. Infraestructuras / Facilities

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 usuario. El ritmo de producción estimado de esta línea es de siete muestras diarias, lo que supone un importante incremento respecto de las posibilidades actuales del CNA.

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  $CO_2$ from sample combustion in an EA with hydrogen on an iron catalyst. The samples are combusted in the EA and the produced  $CO_2$  is adsorbed in a column filled with zeolite material. Later the  $CO_2$  is thermally released from the zeolite trap and transferred to the reactor by gas expansion. Hydrogen is finally added to reduce the  $CO_2$  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  $CO_2$  trapping, thermal  $CO_2$  release from the trap into the reactor, and finally the graphitization reaction itself.

*Key features are: -Sample combustion and graphitization are combined in AGE.* 

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

3. Infraestructuras / Facilities

-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.</li>
-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 3.18).

The final graphite powder is pressed into an aluminum cylindrical target, which is ready for AMS measurement (Figure 3.18).



Figura 3.18: Cátodo de aluminio donde se sitúa la muestra grafitizada / Aluminum target with graphitized sample

Laboratorio de preparación de muestras del AMS / AMS samples preparation Laboratory. En el laboratorio se trabaja con muestras para posteriormente poder medir los siguientes isótopos: <sup>129</sup>I, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>41</sup>Ca, <sup>36</sup>Cl, <sup>26</sup>Al, <sup>10</sup>Be y <sup>236</sup>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 <sup>14</sup>C.

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

We measure isotopes such as <sup>129</sup>I, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu, <sup>41</sup>Ca, <sup>36</sup>Cl, <sup>26</sup>Al, <sup>10</sup>Be and <sup>236</sup>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 interferings for the future measure by AMS.

These methods are, 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 3.19: Laboratorio de preparación de muestras para AMS / AMS samples preparation Laboratory

**3. Infraestructuras / Facilities** 

#### 3.4 Acelerador MiCaDaS / MiCaDaS Accelerator

El sistema MiCaDaS (Figura 3.20) es un instrumento para realizar Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, del inglés Accelerator Mass Spectrometry), específico para el análisis de muestras de <sup>14</sup>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 Cs<sup>+</sup> 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 3.20: MiCaDaS (Mini Radiocarbon Dating System)

El sistema de AMS determina de forma precisa el cociente  ${}^{14}C/{}^{12}C$  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  ${}^{12}C$ . En la zona de alta energía mide la intensidad de los haces de  ${}^{12}C$ ,  ${}^{13}C$  procedente de la rotura de las moléculas de  ${}^{13}CH$ . Además, mide el número de iones de  ${}^{14}C$ .

Las corrientes se miden en cámaras de Faraday, mientras que el <sup>14</sup>C se detecta en un detector de ionización. Los cocientes se corrigen tanto por los niveles de fondo como

3. Infraestructuras / Facilities

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 3.20) is an instrument to perform AMS analysis specifically designed for <sup>14</sup>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  $Cs^+$  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  ${}^{14}C/{}^{12}C$  ratio in the samples, measuring different isotopes in different parts of the system. At the low energy side the  ${}^{12}C$  beam intensity is measured. At the high energy side beam intensity for  ${}^{12}C$ ,  ${}^{13}C$  and  ${}^{13}C$  coming from the breakup of  ${}^{13}CH$  molecules is measured.  ${}^{14}C$  counts are also measured.

Currents are measured in Faraday cups, meanwhile <sup>14</sup>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 of other complementary equipment. It is a robust and friendly user system.

3. Infraestructuras / Facilities

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

En estos últimos años, gracias a su condición de ICTS, el Centro Nacional de Aceleradores ha conseguido fondos para ampliar sus infraestructuras. Entre las nuevas adquisiciones se encuentra un sistema de irradiación con fotones gamma. Esto fomentará estudios de irradiación fotónica, complementando así la línea de investigación en irradiación con partículas desarrollada en los Aceleradores Tándem de 3 MV y Ciclotrón.

Durante 2011, se ha llevado a cabo la obra civil del nuevo laboratorio situado en la planta 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 (6180°) 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, con una actividad inicial de 434 TBq (11725 Ci), se ha convertido en la más activa del País. 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: 0.36-360 Gy/h o 0.6-600 rad/min. Además, los límites del tamaño de campo de irradiación también son variables; así a una distancia de 100 cm, tenemos un mínimo de (5.0x5.0 cm<sup>2</sup>) y un máximo de (43.0x43.0 cm<sup>2</sup>) siendo la máxima tasa de kerma en aire de 120 Gy/h (200 rad/min).

La nueva instalación está disponible para la utilización por parte de toda la comunidad científica y empresas interesadas en diferentes campos de aplicación. En principio, la

3. Infraestructuras / Facilities

puesta a punto del laboratorio se está realizando junto a la empresa ALTER Technology (Member of TÜV NORD) dentro del proyecto RADLAB asociado al Subprograma INNPACTO, subvencionado por el MINECO, siendo el objetivo fundamental, llevar a cabo ensayos de irradiación de dosis total sobre componentes electrónicos de uso aeroespacial. Nuestras instalaciones excederán los requerimientos demandados por el sector industrial en base a la normativa actual aplicable (ESCC, MIL-STD o ASTM). Además del campo aeroespacial, se pretende hacer uso de la instalación para aplicaciones en Física de Altas Energías, Ciencia de Materiales, Biomedicina o Metrología de radiaciones ionizantes.



Figura 3.21: Vista general del irradiador GBX200 instalado en el Laboratorio de Radiación Gamma del CNA. Detalles del sistema de colimación y el contenedor de la fuente de cobalto-60 / Overview of the GBX200 iradiator installed in the CNA Gamma Radiation Laboratory. Details of the collimator system and the cobalt-60 container

In the last years, thanks to its status as ICTS, the National Centre for Accelerators has secured funding to expand their infrastructure. Among the new acquisitions is a gamma photon irradiation system. This will encourage photon irradiation studies, complementing the research in ion irradiation developed in the 3 MV Tandem and Cyclotron Accelerators.

During 2011, it has carried out the civil works of the new laboratory in the basement of the building. The irradiator and auxiliary systems are housed in a room (5.8x4.8x3 m<sup>3</sup>) built with walls and ceiling shielded made of reinforced concrete, especially designed

3. Infraestructuras / Facilities

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  $^{\circ}$  X200 (GBX200) (Figure 3.21) of Best Theratronics company. It comprises a steel rotary head (6180°) filled with lead and tungsten, where is placed a radioactive source of cobalt ( $^{60}$ 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 <sup>60</sup>Co isotope is produced in a reactor by neutron bombardment of the <sup>59</sup>Co stable isotope. With a half- life of 5.26 years, the <sup>60</sup>Co nucleus decays to become <sup>60</sup>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, with an initial activity of 434 TBq (11725 Ci), has become the most active in the Country. 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: 0.36 to 360 Gy/h or 0.6 to 600 rad/min. In addition, the limits of the irradiation field size are also variable; placing the sample at 100 cm from the source, where the maximum rate of air kerma is 120 Gy/h (200 rad/min), the minimum is (5.0x5.0 cm<sup>2</sup>) and the maximum (43.0x43.0 cm<sup>2</sup>)

The new facility is available for use by the whole scientific community and companies interested in different fields of application. At first, the laboratory set-up is being done together with the company ALTER Technology (Member of TÜV NORD) within the RADLAB project, which is associated to INNPACTO scientific program and funding by MINECO. The primary objective is to perform irradiation tests of total dose on electronic 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 intended to use for applications in High Energy Physics, Materials Science, Biomedical or ionizing radiation metrology.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

# 4. Investigación / Research

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

## 4. Investigación / Research

El Centro Nacional de Aceleradores dispone de 5 grandes líneas 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).

-La Unidad de Investigación de Análisis de Contaminantes del Medio Físico mediante técnicas basadas en Aceleradores (ACOMETA).

El número de usuarios que han pasado durante estos dos años por las instalaciones es elevado.

Además de los experimentos (investigaciones) 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 5 basic 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).

-Analysis of Physical Environment Pollutants using techniques based on Accelerators Research Unit (ACOMETA).

The number of users that have happened during these two years for the facilities is high.

In addition to the experiments (investigations) conducted through partnerships or outsourcing, there are areas of research supported by the various research units of the Centre.

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

4. Investigación / 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, Medio Ambiente, Patrimonio Cultural e Irradiación.

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, Environment, Cultural Heritage and Irradiation.

#### 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 Current). 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 ionoluminiscence (the study of the light emitted by some materials under ion bombardment) and the IBIC (Ion Beam Induced Current). Below, we briefly describe the main research lines in these years.

<u>Utilización de aceleradores de iones para el estudio y el modelado de los defectos</u> <u>inducidos por radiación en semiconductores y aislantes.</u> 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

4. Investigación / Research

defectos en diodos de Si utilizando diversos haces de iones y energías y el estudio de propiedades de transporte mediante IBIC.

<u>Use of ion accelerators to the study and modeling of radiation induced defects in</u> <u>semiconductors and insulators.</u> 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 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 un miembro 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.

<u>Study of scintillator materials for nuclear fusion applications.</u> 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 one of the 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.

<u>Formación de semiconductores magnéticos.</u> Dentro de nuestros estudios sobre materiales, se ha utilizado nuestra línea de implantación iónica para dopar selectivamente substratos monocristalinos de SiC con diversos iones para intentar

4. Investigación / Research

fabricar materiales semiconductores de interés en aplicaciones en espintrónica. Recientemente nuestros trabajos y los de otros grupos de investigación han demostrado que los monocristales de SiC dopados con elementos de transición (Ni, Co, Fe, Mn) muestran propiedades ferromagnéticas. Sin embargo, el origen del ferromagnetismo en este material sigue sin estar dilucidado.

Nuestros experimentos implantando iones no magnéticos, como el Si, muestran que es posible obtener ferromagnetismo en SiC, demostrando que la formación de defectos estructurales durante el proceso de implantación juega un papel fundamental en las propiedades magnéticas de este semiconductor.

Formation of magnetic semiconductors. Our ion implantation line has been used to dope selectively SiC single crystal substrates with several ions to make semiconductor materials with applications in spintronics. Recently, different groups, including ourselves, have demonstrated that SiC single crystals doped with transition metals (Ni, Co, Fe, Mn) show ferromagnetic properties. However, the origin of the ferromagnetism in this material remains unclear.

Our implantation experiments, using non-magnetic ions, like Si, show that it is possible to obtain ferromagnetic SiC, and therefore the structural defects formed during the implant step should play a fundament role in the magnetic properties of this semiconductor.

<u>Medidas de la cantidad de metal (Ag, Au, Fe, PbS, Pd, Pt) sobre nanocolumnas TiO<sub>2</sub>,</u> <u>SiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub></u>. 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 = Ag, Au, Fe, PbS, Pd, Pt; NC = TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>) han sido crecidas por el Grupo SINCAF-ICMS en sustratos de silicio y cuarzo mediante un proceso de dos pasos. Primero, se han crecido nanocolumnas (NC) de TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> o WO<sub>3</sub> 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 TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> o WO<sub>3</sub> 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  $(at/cm^2)$ en el sistema y sobre la migración de MNP a través de poros de las capas de TiO<sub>2</sub> o SiO<sub>2</sub> en NC.
4. Investigación / Research

<u>Measurements of the amount of metal (Aq, Au, Fe, Pb, Pd, Pt) on nanocolumns of  $TiO_{2}$ ,</u> <u>SiO\_2, WO\_3</u>. 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 = Ag, Au, Fe, Pb, Pd, Pt; NC = TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>) have been grown on silicon and quartz substrates by SINCAF-ICMS Group by a two-step process. First, we have grown transparent and amorphous nanocolumns (NC) of TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> or WO<sub>3</sub> 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 TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> or WO<sub>3</sub> 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 ( $at/cm^2$ ) in the system and MNP migration through the pores of TiO<sub>2</sub> or SiO<sub>2</sub> layers of NC.

<u>Medidas de RBS de DLC</u>. Con el objetivo de catalogar y hacer rondas de análisis entre diferentes laboratorios de diversas metodologías y materiales estándar para las medidas de nanoindentación (proyecto Nanoindent), se han medido mediante RBS diferentes muestras de DLC (Diamond Like Carbón) depositado sobre Si. Así, se ha pretendido determinar si hay algún tipo de heterogeneidad en los materiales seleccionados como patrones para el estudio de la metodología de nanoindentación. En un análisis básico de estas muestras se ha determinado tanto su composición (C, O) como su espesor.

<u>RBS measurements of DLC</u>. In order to classify and make rounds of inter-laboratory analysis of various methodologies and materials standards for nanoindentation measurements (Nanoindent project), different samples of DLC (Diamond Like Carbon) deposited on Si have been measured by RBS. So, we have tried to determine if there is any heterogeneity in the selected materials and patterns to study nanoindentation methodology. In a basic analysis of these samples, both its composition (C, O) and its thickness have been determined.

<u>Procesos de sputtering inducidos durante la síntesis de nanoestructuras Ag:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u> <u>mediante depósito por láser pulsado</u>. Los materiales nanoestructurados que contienen nanopartículas (NPs) de metales nobles (Au, Ag) presentan propiedades ópticas que los hacen muy interesantes para su aplicación en dispositivos ópticos y, más recientemente, fotovoltaicos.

El Grupo de Procesado Laser del Instituto de Óptica posee una gran experiencia en la preparación mediante técnicas láser de nanoestructuras que contienen de NPs

4. Investigación / Research

metálicas, y en particular de Ag, para aplicaciones ópticas. Recientemente, ha comenzado a aplicar dicha experiencia a la preparación de estructuras que sean aplicables en el ámbito de las tecnologías fotovoltaicas.

Mediante medidas RBS de una serie de muestras, en las que el contenido nominal de Ag debería ser el mismo y en las que se ha variado el espesor de la capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de recubrimiento desde O hasta 10 nm, se ha determinado la fracción de Ag que se elimina del sustrato debido a proceso de "sputtering" y su influencia en la morfología de las NPs y en las propiedades ópticas de las estructuras preparadas por PLD. Se ha medido mediante RBS la concentración de Ag (at/cm<sup>2</sup>) presente en las muestras, así como el espesor de la capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Además, se ha estudiado la presencia o no de S como testigo de los gases sulfurosos presentes en la atmósfera. Los resultados composicionales obtenidos se han correlacionado con los resultados ópticos y estructurales ya disponibles.

<u>Sputtering processes induced during the synthesis of nanostructures Aq:  $Al_2O_3$  by</u> <u>pulsed laser deposit</u>. Nanostructured materials containing nanoparticles (NPs) of noble metals (Au, Ag) have optical properties that make them very interesting for applications in optical and, more recently, photovoltaic devices.

The Laser Processing Group at the Institute of Optics has extensive experience in the preparation by laser techniques for nanostructures containing metal NPs, and Ag in particular, for optical applications. This group has recently begun to apply that experience to the development of structures applicable in the field of photovoltaic technology.

We have analyzed by RBS series of samples, in which the nominal content of Ag should be the same and in which the thickness of the  $Al_2O_3$  coating layer is varied from 0 to 10 nm, It has been determined the fraction of Ag removed from the substrate due to "sputtering" process and its influence on the morphology of the NPs and the optical properties of the structures prepared by PLD. Using RBS, the concentration of Ag (at/cm<sup>2</sup>) present in the samples as well as the thickness of the  $Al_2O_3$  layer have been measured. Moreover, we have studied the presence or not of S as witnessed sulphurous gases in the atmosphere. The compositional results obtained are correlated with the optical and structural results already available.

Determinación de espesores de películas de  $SiO_2$  sobre polímero orgánico. La impermeabilización del contenido interior envases plásticos fabricados en PET frente a los agentes atmosféricos, resulta una tema de interés científico-tecnológico y comercial. Una propuesta para conseguir dicha impermeabilización consiste en la deposición mediante magnetron sputtering reactivo de una capa barrera de SiO<sub>x</sub>.

Mediante RBS se ha obtenido la composición química y su espesor másico (at/cm<sup>2</sup>) de las películas preparadas en el Grupo SINCAF-ICMS en diversas condiciones de polarización del sustrato, y con espesores aproximados comprendidos entre 100 y 200

4. Investigación / Research

nm. Esto nos ha permitido obtener la densidad de las películas comparando el espesor másico con el grosor nominal obtenido por métodos microscópicos y ópticos. El análisis en sí mismo ha presentado diversos retos, ya que el material del depósito está compuesto por átomos ligeros, el sustrato es de naturaleza orgánica y, por lo tanto, fácilmente degradable durante la medida si se emplean corrientes de iones demasiado altas.

<u>Determination of  $SiO_2$  film thicknesses on organic polymer</u>. The waterproofing of the content inside plastic containers manufactured in PET against atmospheric agents is a topic of scientific-technological and commercial interest. One approach to achieve such sealing involves deposition by reactive magnetron sputtering of a SiO<sub>x</sub> barrier layer.

Chemical composition and mass thickness (at/cm<sup>2</sup>) of the films prepared by the SINCAF-ICMS Group under various bias conditions of the substrate (approximate thicknesses between 100 and 200 nm) has been obtained by RBS. This has allowed us to obtain the density of the films comparing mass thickness with nominal thickness obtained by microscopic and optical methods. The analysis itself has presented several challenges because the deposited material is comprised of light atoms, the substrate is organic in nature and, therefore, easily degradable during measurement if too high currents of ions are used.

Medida de la composición relativa Si/W en óxidos mixtos Si-W-O depositados por magnetron sputtering en incidencia rasante. El desarrollo de nuevas estrategias de nanoestructuración de láminas delgadas electrocrómicas de óxido de wolframio permite mejorar su coloración y disminuir su tiempo de respuesta cuando dicho material es utilizado en ventanas inteligentes y en otras aplicaciones relacionadas. Asimismo, resulta de interés depositarlas sobre sustratos plásticos flexibles. A este respecto, numerosos procedimientos han sido utilizados para la fabricación de películas delgadas de óxido de tungsteno electrocrómicos u otras arquitecturas nanoestructuradas que proporcionan un volumen relativamente alto de espacio vacío y accesible en las películas para favorecer el intercambio de carga y la incorporación de cationes ajenos.

El Grupo SINCAF-ICMS ha fabricado mediante glancing angle deposition (GLAD) capas delgadas electrocrómicas de W<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>O<sub>z</sub> con un buena funcionalidad en términos de su comportamiento de conmutación y eficiencia de coloración. Se ha caracterizado mediante RBS la estequeometría W/Si de óxidos porosos Si-W-O propuestos como recubrimientos electrocrómicos activos. Esta caracterización se ha complementado con otras caracterizaciones realizadas a las capas por el grupo SINCAF-ICMS (e.g., FT-IR, Raman, y XPS) y con las propiedades ópticas de una serie de capas de W<sub>x</sub>Si<sub>y</sub>O<sub>z</sub>.

<u>Measurement of the relative composition Si/W in mixed oxides Si-W-OR deposited by</u> <u>magnetron sputtering in glancing incidence</u>. The development of new strategies for nanostructuring of electrochromic tungsten oxide thin films improves coloration and decreases the response time when such material is used in smart windows and other

4. Investigación / Research

related applications. Likewise, it is interesting to place them on flexible plastic substrates. In this regard, numerous procedures have been used for the manufacture of electrochromic of tungsten oxide thin films nanostructured or other architectures which provide a relatively high volume of empty and accessible space into the films to promote the charge exchange and the incorporation of foreign cations.

The SINCAF-ICMS Group has manufactured electrochromic  $W_xSi_yO_z$  thin films using glancing angle deposition (GLAD) with a good functionality in terms of its switching behavior and efficiency of coloration. The W/Si stoichiometry of Si-WO porous oxides proposed as active electrochromic coatings has been characterized by RBS. This characterization has been complemented with other characterizations made by the SINCAF-ICMS group (eg, FT-IR, Raman, and XPS) and with the optical properties of a number of layers of  $W_xSi_yO_z$ .

<u>Caracterización de recubrimientos de plata depositados mediante pulverización</u> <u>catódica</u>. En el Grupo de Investigación SINCAF-ICMS se está desarrollando la metodología de deposición mediante pulverización catódica asistida con polarización DC pulsada de recubrimientos transparentes en el visible y reflectantes en el infrarrojo, también conocidos como recubrimientos de baja emisividad. La aplicación natural de estos recubrimientos se encuentra en vidrios estructurales para su aplicación en fachadas de edificios. Las estructuras que suelen tener esta finalidad son sistema tricapa SnO<sub>2</sub>/Ag/SnO<sub>2</sub> de espesores totales del orden de 10-30 nm.

En este sentido se ha realizado la caracterización de una serie de películas de Ag y de SnO<sub>2</sub> depositadas sobre distintos sustratos con el fin de calibrar el proceso de deposición.

<u>Characterization of silver coatings deposited by magnetron sputtering</u>. A methodology of deposition by magnetron sputtering assisted with pulsed DC bias of transparent coatings in the visible and reflecting in the infrared, also known as low emissivity coatings is being developed by SINCAF-ICMS research group. The natural application of these coatings is the development of structural glass for use in building facades. The structures having this purpose are typically trilayer systems SnO<sub>2</sub>/Ag/SnO<sub>2</sub> with total thickness of about 10-30 nm.

In this regard, the characterization of a series of films of  $SnO_2$  and Ag deposited on different substrates has been made to calibrate the deposition process.

<u>Mecanismos fundamentales de compactación durante el crecimiento hipertérmico de</u> <u>películas delgadas</u>. El objetivo de este trabajo del Grupo SINCAF-ICMS ha sido el estudio de los procesos fundamentales que gobiernan la nanoestructuración de películas delgadas durante su crecimiento. Éste ocurre en una situación fuera del equilibrio termodinámico, donde los mecanismos de excitación/relajación de la estructura sólida llevan al material a adoptar estructuras metaestables, algunas de ellas de gran interés tecnológico. Este estudio se centra en el estudio de estos

4. Investigación / Research

procesos atomísticos fundamentales con el objetivo de optimizar el control sobre la microestructura de los materiales sintetizados. También, aunque esta investigación tiene un carácter general, se ha centrado en el crecimiento de películas delgadas de titanio metálico sintetizadas mediante técnicas asistidas por plasma. Esto se ha hecho por simplicidad y por el gran número de aplicaciones de interés social y económico que posee este material.

La colaboración con el Centro Nacional de Aceleradores se ha centrado en la comprensión de los mecanismos de compactación en deposiciones hipertérmicas, esto es, cuando las especies que hacen crecer la película delgada desde una fase gaseosa/plasma llegan a la superficie del material con energías cinéticas del orden o por encima de la energía típica de desplazamiento de átomos en la red. Para ello, una cantidad clave es la densidad de la película, que se determinó por RBS, que permite conocer el espesor másico del material. La densidad de dichas películas se obtuvo mediante el cociente entre este espesor másico y el espesor físico medido por técnicas de elipsometría espectroscópica y de microscopía electrónica en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC-US).

<u>Fundamental mechanisms of compaction in the hyperthermic growth of thin films</u>. The main goal of this work of the SINCAF-ICMS Group has been the study of the fundamental processes governing the nanostructuring of thin films during growth. This growth occurs in a situation outside of thermodynamic equilibrium, where the mechanisms of excitation/relaxation of the solid structure bring the material to adopt metastable structures, some of them of great technological interest. This study focused on the study of these fundamental atomistic processes in order to optimize control over the microstructure of the materials synthesized. Also, although this is a general research, we have focused on the growth of thin films of metallic titanium synthesized by plasma assisted techniques. This was done for simplicity and the large number of applications of social and economic interest that has this material.

The collaboration with the National Accelerators Center has focused on the understanding of the compaction mechanisms of hyperthermic deposition, i.e. when species that grow the thin film from a gas/plasma phase reaches the surface of the material with kinetic energies in the order or above the typical energy of displacement of atoms in the network. For this, a key number is the density of the film, which was determined by RBS, which allows knowing the mass thickness of the material. The density of these films was obtained by dividing the mass thickness and the physical thickness measured by spectroscopic ellipsometry techniques and electron microscopy at the Institute of Materials Science of Seville (CSIC-US).

<u>Análisis capas finas luminiscentes mediante RBS e ionoluminiscencia</u>. Dentro de una colaboración entre el Grupo SINCAF-ICMS 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

4. Investigación / Research

contribuir al desarrollo de pantallas y dispositivos de ionoluminiscnencia 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 SINCAF-ICMS Group 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.).

<u>Caracterización de filtro de Fabry-Perot en estructura multicapa</u>. El Laboratoire de Photonique Quantique et Moléculaire de la Ecole Centrale Paris (CNRS-Ecole Normale Supérieure du Cachan) en colaboración con el Grupo de Procesado Laser del Instituto de Óptica han diseñado y fabricado un filtro de transmisión de Fabry-Perot consistente en una estructura multicapa en la que se alternan capas de óxido de aluminio amorfo con capas de vidrios de óxidos de metales pesados (HMO) y que contiene en el centro de la estructura una capa de nanopartículas de Au. La respuesta espectral de dicha estructura depende críticamente del espesor de las diferentes capas, así como de las propiedades ópticas de cada una de ellas. De hecho, la caracterización óptica mediante absorción óptica y elipsometría sugiere la existencia de algún tipo de asimetría en la configuración del filtro que afecta negativamente a su respuesta óptica.

Se ha realizado mediante RBS un estudio composicional de la estructura en lámina delgada con el fin de correlacionar su composición y configuración (espesor de las capas y contenido de Au) con la repuesta óptica observada. Para alcanzar dicho objetivo se han analizado también muestras de calibración de cada uno de los elementos de la estructura (nanopartículas de Au y láminas de vidrio HMO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

4. Investigación / Research

<u>Characterization of multilayer structure Fabry-Perot filter</u>. The Laboratoire de Photonique Quantique et moleculaire of Ecole Centrale Paris (CNRS-Ecole Normale Supérieure du Cachan) in collaboration with the Laser Processing Group at the Institute of Optics have designed and manufactured a transmission Fabry-Perot filter consisting of a multilayer structure in which alternate layers of amorphous aluminum oxide with glass of heavy metal oxides (HMO) layers and containing in the center of the structure a layer of Au nanoparticles. The spectral response of such a structure depends critically on the thickness of the different layers as well as the optical properties of each. In fact, the optical characterization by ellipsometry and the optical absorption suggest the existence of some sort of asymmetry in the filter configuration that negatively affects its optical response.

A compositional study of thin film structure was performed by RBS in order to correlate its composition and configuration (layer thickness and Au content) with the observed optical response. To achieve this goal, calibration samples of each of the elements of the structure (Au nanoparticles and HMO glass sheets and  $Al_2O_3$ ) were also analyzed.

<u>Análisis de capas de hidroxiapatita</u>. En el Grupo SINCAF-ICMS se están investigando membranas poliméricas readsorbibles funcionalizadas con hidroxiapatita. La idea es desarrollar membranas que faciliten una regeneración ósea guiada. La hidroxiapatita  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$  (HA), es el componente inorgánico natural del tejido óseo. La deposición de HA se ha realizado mediante la técnica de "magnetron sputtering" a partir de blancos cerámicos sinterizados de HA.

Mediante RBS se ha identificado la proporción atómica Ca/P y la cantidad total de material depositado con el fin de calibrar nuestro sistema de deposición puesto a punto en SINCAF-ICMS. Esta información es muy pertinente, pues puede condicionar de forma significativa la osteointegración de las membranas utilizadas. Así, estos biomateriales podrían tener un uso protésico o inducir un proceso reparativo en la búsqueda de la "restitutio ad integrum" del tejido lesionado, minimizando el periodo de cicatrización y la pérdida de función.

<u>Analysis of hydroxyapatite layers</u>. Readsorbibles functionalized polymer membranes with hydroxyapatite are under investigation in the SINCAF-ICMS Group. The idea is to develop membranes that facilitate guided bone regeneration. Hydroxyapatite  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$  (HA), is naturally the inorganic component of bone tissue. HA deposition was performed using the technique of "magnetron sputtering" from an HA sintered ceramic target.

The atomic ratio Ca/P ratio and the total amount of material deposited are identified by RBS to calibrate the SINCAF-ICMS deposition system. This information is highly relevant, as it can significantly determine the osseointegration of the membranes used. Thus, these biomaterials may have a prosthetic use or induce reparative process in the search for "restitutio ad integrum" of the injured tissue, minimizing the healing period and loss of function.

<u>Medida de la composición relativa Si/Co en óxidos mixtos Si-Co-O depositados por</u> <u>magnetron sputtering en incidencia rasante</u>. En el Grupo SINCAF-ICMS se han desarrollado dispositivos electrocrómicos utilizando tecnología de capa delgada. En este sentido se han desarrollado dispositivos cuyo material activo han sido capas finas porosas preparadas por magnetrón sputtering que presentan propiedades electrocrómicas.

En este contexto, se han analizado mediante RBS varios depósitos de capas porosas Si-Co-O, con el fin de calibrar (estequiometría Si/Co y distribución en profundidad de estos dos cationes) los procesos de deposición de este material que se están realizando en el grupo SINCAF-ICMS. Este material se podría utilizar como componente activo en dispositivos electrocrómicos que encuentran aplicación tecnológica en dispositivos moduladores de luz tales como "smart windows", vidrios arquitectónicos, espejos antirreflejos o displays no basados en la emisión de luz.

<u>Measurement of the Si/Co relative composition in Si-Co-O mixed oxides deposited by</u> <u>magnetron sputtering at glancing incidence</u>. Electrochromic devices have been developed using thin film technology by the SINCAF-ICMS Group. Thus, devices which active material have been porous thin films prepared by magnetron sputtering presenting electrochromic properties have been developed.

In this context, several porous Si-Co-O layers have been analyzed by RBS, in order to calibrate (stoichiometry Si/Co and depth distribution of two cations) the deposition processes of this material being made in the SINCAF-ICMS group. This material could be used as an active component in electrochromic devices which technological application are devices such as light modulators "smart windows", architectural glass, and mirrors or displays not based in light emission.

<u>Análisis mediante RBS de muestras de Fe implantadas con He</u>. Los efectos inducidos por la implantación de protones, deuterio o partículas alfa son uno de los temas más críticos relacionados con materiales diseñados para reactores de fusión. Es importante conocer cómo estas partículas interaccionan con defectos inducidos por radiación o inherentes a los materiales utilizados en los reactores y cómo estas interacciones afectan la evolución microestructural de estos materiales.

En este contexto, en el Grupo de Investigación SINCAF-ICMS se han realizado estudios de desorción térmica programada sobre muestras de hierro con el fin de identificar la capacidad de retener He tras su implantación a distintas energías (1-10 keV) y tras distintos tratamientos superficiales como recocidos y oxidación superficial. Este tipo de caracterización sirve para identificar los distintos tipos de defectos que se inducen en este material debido a fenómenos de irradiación y su capacidad para retener los iones con los que se irradian. Con el fin de tener mejor identificados los procesos de implantación es pertinente cuantificar de forma absoluta la cantidad de He que son capaces de retener muestras de Fe para distintas irradiaciones con partículas alfa.

4. Investigación / Research

Se han realizado medidas de RBS con protones con el fin de ver la capacidad de las técnicas IBA para cuantificar la implantación de He.

<u>Analysis by RBS of Fe samples implanted with He</u>. The effects induced by the implantation of protons, deuterium or alpha particles are one of the most critical issues related to engineered materials for fusion reactors. It is important to know how these particles interact with radiation-induced defects or inherent to the materials used in the reactors and how these interactions affect the microstructural evolution of these materials.

In this context, the SINCAF-ICMS Research Group studies have been conducted on temperature programmed desorption of Fe samples to identify the ability to retain He after implantation at various energies (1-10 keV) and after different surface treatments as annealing and surface oxidation. This type of characterization is used to identify the different types of defects induced in the material due to irradiation phenomena and its ability to retain ions which are irradiated. In order to better identify the implantation processes, it is relevant the absolute quantification of the amount of He which different samples of Fe are capable of retaining for alpha particle irradiation.

Measurements were carried out with proton RBS with to see the ability of IBA techniques to quantify the implantation of He.

<u>Medida de la distribución en profundidad de partículas de Pd en matrices porosas de</u> <u>SiO<sub>2</sub></u>. El desarrollo de metodologías que permitan crecer de forma controlada capas finas con porosidad abierta en las cuales se puedan introducir eventualmente agentes que puedan actuar como catalizadores de reacciones químicas resulta de alto interés científico y tecnológico. Este tipo de películas delgadas con agentes activos (normalmente moléculas o partículas de otro material distinto al de la estructura de capa fina) pueden incorporarse en dispositivos microfluídicos, de manera que la reacción catalítica tiene lugar entre la porosidad de la capa, y cuya actividad va a depender del tipo de porosidad, y del tamaño, cantidad y distribución de las nanopartículas o moléculas incorporadas en la matriz porosa.

En este contexto el Grupo de Investigación SINCAF-ICMS ha infiltrado nanopartículas de paladio en capas finas porosas, columnares de óxido de silicio de 3 µm de espesor. A partir de ella se ha construido un dispositivo microfluídico con el fin de usarlo como microreactor catalítico donde la catálisis está controlada tanto por el tamaño de nanopartícula del paladio como por su distribución en las columnas. Este tipo de reactores catalíticos soportados sobre capas finas es novedoso por el método de deposición de las nanopartículas de paladio.

Mediante la técnica RBS se ha determinado la distribución en profundidad de las nanopartículas de paladio crecidas entre las columnas de la estructura porosa de las capas de SiO<sub>2</sub>.

4. Investigación / Research

<u>Measurement of the depth distribution of Pd particles in porous matrices of SiO<sub>2</sub></u>. The development of methodologies to grow thin layers with a controlled porosity in which agents that can act as catalysts for chemical reactions can be introduced eventually is of high scientific and technological interest. Such thin films with active agents (usually molecules or particles of another material than that of the thin film structure) may be incorporated into microfluidic devices so that the catalytic reaction takes place between the porosity of the layer and whose activity is depend on the type of porosity, and the size, quantity and distribution of nanoparticles or molecules incorporated in the porous matrix.

In this context the SINCAF-ICMS Research Group has infiltrated Pd nanoparticles in porous columnar thin films of silicon oxide thickness with 3 microns thickness. From this film structure a microfluidic device has been built to use as a catalytic microreactor where catalysis is controlled by both the palladium nanoparticle size and its distribution in the columns. This type of catalytic reactors supported on thin layers is a novelty because of the method for the deposition of palladium nanoparticles.

Depth distribution of grown palladium nanoparticles between columns of the porous structure of the SiO<sub>2</sub> layers was determined by RBS.

<u>Medidas de He y O en capas de Si</u>. Dentro de la actividad del Grupo Materiales Nanoestructurados y Microestructurados (MNM-ICMS) se han crecido recubrimientos de silicio 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 (at/cm<sup>2</sup>) 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 disposición.

<u>Measurements of He and O in Si layers</u>. 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 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 (at/cm<sup>2</sup>) of He, Ar and O present therein was obtained. This information is being used for the optimization of the depositions set up.

<u>Caracterización de capas de SiOF</u>. En el Grupo SINCAF-ICMS se han desarrollado capas finas con base  $SiO_2$  con distintos grados de porosidad, dopadas con flúor, que se

4. Investigación / Research

proponen como recubrimientos antimanchas en lentes oftálmicas por su carácter hidrofóbico, como capas dieléctricas intermetálicas debido a su baja permitividad dieléctrica o como materiales de bajo índice de refracción constituyentes de dispositivos ópticos tipo multicapas, tales como sistemas antireflejantes. Las capas de SiOF se han fabricado mediante pulverización catódica.

Se ha realizado una caracterización exhaustiva (espesor y relación F/O/Si) de las películas fabricadas mediante la aplicación conjunta de las técnicas PIGE y RBS con protones. Así, se ha podido correlacionar la composición química con sus propiedades ópticas (transparencia, índice de refracción) y con su capacidad de mojado, en concreto con el ángulo de contacto de la superficie de estas capas con agua.

<u>SiOF layer Characterization</u>. In the SINCAF-ICMS Group thin films based SiO<sub>2</sub> with varying degrees of porosity, doped with fluorine, have been developed. These films are proposed as stain resistant coatings for ophthalmic lenses due to their hydrophobic character, as intermetallic dielectric layers because of their low dielectric permittivity or as materials of low refractive index constituent of multilayer type optical devices, such as antireflective systems. SiOF layers are manufactured by cathode sputtering.

An exhaustive characterization (thickness and atomic ratio F/O/Si) of the films has been made by the joint application of the PIGE and RBS with protons techniques. Thus, their chemical composition has been correlated with optical properties (transparency, refractive index) and their wetting capacity, specifically the contact angle of the surface of these layers with water.

Medidas de composición de láminas delgadas de silicio amorfo hidrogenado depositadas sobre sustrato de silicio cristalino. En el Grupo GLDM de la Universidad Complutense de Madrid se han depositado y caracterizado láminas de silicio amorfo hidrogenado con la idea fabricar una célula solar tipo HIT (Heterojunction whit intrinsic thin layer). Bajo el Proyecto Numancia II, distintos grupos, investigan la manera de aumentar la eficiencia de conversión fotovoltaica mediante la fabricación y el estudio de materiales de banda intermedia. Este novedoso concepto se basa en una banda de estados permitidos en el interior del gap de energía de un semiconductor. De esta forma, con estos materiales, se podrían absorber los fotones de energía inferior a la del gap del semiconductor posibilitando así un aumento de la eficiencia de conversión de una célula solar. Una estructura HIT consiste en una heterounión entre un sustrato de Silicio cristalino (tipo n por ejemplo) con una lámina de silicio amorfo (tipo p). Entre las dos capas se introduce una fina lámina de silicio amorfo intrínseco cuya función es pasivar la superficie de unión. Así, se han depositado capas de silicio amorfo hidrogenado mediante la técnica HPS (high pressure sputtering).

Mediante la combinación de RBS, NRA y ERDA, se ha conseguido determinar el espesor de las capas depositadas así como su concentración (at/cm<sup>2</sup>) en Si, Ar, N, H y así poder relacionar estos datos con la caracterización óptica de los dispositivos.

#### 4. Investigación / Research

Composition measurements of thin films of hydrogenated amorphous silicon deposited on crystalline silicon substrate. In the GLDM Group at the Complutense University of Madrid hydrogenated amorphous silicon films have been deposited and characterized with the idea of manufacturing a type HIT (Heterojunction whit intrinsic thin layer) solar cell. Under Project Numancia II, different groups are investigating ways to increase the efficiency of photovoltaic conversion by the development and study of materials and intermediate band. This novel concept is based on a band of allowed states within the energy gap of a semiconductor. Thus, with these materials, photons of lower energy than the bandgap of the semiconductor may be absorbed thereby enabling an increase in the conversion efficiency of a solar cell. HIT structure is a heterojunction between a crystalline silicon substrate (n-type for example) with an amorphous silicon film (p-type). Between the two layers is inserted a thin intrinsic amorphous silicon silicon layers has been deposited using the technique HPS (high pressure sputtering).

The thickness of the deposited layers and their concentrations (at/cm<sup>2</sup>) in Si, Ar, N, H, has been determined by the combination of RBS, NRA and ERDA in order to link these data with the optical characterization of the devices.

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 (TeO<sub>2</sub>-ZnO-ZnF<sub>2</sub>) 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.

<u>Determination of F content of in fluorotellurites</u>. 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 (TeO<sub>2</sub>-ZnO-ZnF<sub>2</sub>) 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

4. Investigación / Research

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.

<u>Perfil en profunidad de Li usando la reacción nuclear</u>  $^{7}Li(p,\alpha)^{4}He$ . El rendimiento de una batería ión-Li depende fuertemente, entre otros factores, de las características de los electrodos y, en particular, de la capacidad de difusión de iones de litio en él. Debido a esta razón, el estudio de la distribución de Li en el electrodo positivo es uno de los principales puntos de interés en el desarrollo ulterior de baterías.

Se han realizado medidas de la reacción nuclear  ${}^{7}Li(p,\alpha)^{4}He$  para caracterizar la distribución de Li en función de la profundidad, para electrodos de Li<sub>x</sub>FePO<sub>4</sub> (0,5 < x < 1,0). Además, con el fin de probar la homogeneidad de la distribución espacial Li, se va ha llevado a cabo la medida de perfiles de profundidad de Li en diferentes puntos de cada muestra.

Estos electrodos se estudian en el contexto del desarrollo de baterías de ion-Li que juegan un papel importante, sobre todo en el progreso de consumibles portátiles de electrónica y vehículos eléctricos.

Li depth profile using the nuclear reaction  ${}^{7}Li(p \alpha)^{4}He$ . The performance of a Li-ion battery strongly depends, among other factors, on the characteristics of the electrodes and, in particular, the capacity of lithium ion diffusion into it. Due to this reason, the study of the distribution of Li in the positive electrode is one of the main points of interest in the further development of batteries.

Measurements of the nuclear reaction  ${}^{7}Li(p,\alpha)^{4}He$  were made to characterize the distribution of Li as a function of depth for  $Li_xFePO_4$  (0,5 < x < 1,0) electrodes. Furthermore, in order to test the homogeneity of the spatial distribution, Li depth profiles have been measured at different points on each sample.

These electrodes are studied in the context of the development of efficient storage technologies for electrical energy which plays an important role mainly in the progress of portable consumer electronics and electric vehicles

Determinación de espesores de capas epitaxiales de  $CrO_2$  soportadas sobre  $TiO_2$ monocristalino. El  $CrO_2$  es un óxido ferroeléctrico que tiene comportamiento de semimetal, habiéndose propuesto su uso como fuente de corrientes spin polarizadas. En el Grupo SINCAF-ICMS se ha logrado la síntesis por CVD a baja presión, un procedimiento que tiene importantes ventajas tecnológicas sobre el de alta presión.

Se han realizado medidas de RBS de muestras de CrO<sub>2</sub> depositado sobre TiO<sub>2</sub> para evaluar correctamente el porcentaje de material magnético existente en la misma, a partir de las medidas de saturación de la magnetización que se han realizado.

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

<u>Determination of thickness of epitaxial layers supported on TiO<sub>2</sub> single crystal CrO<sub>2</sub></u>. CrO<sub>2</sub> is a ferroelectric oxide having semi-metal behavior, having been proposed as a source of spin polarized currents. In the SINCAF-ICMS Group, synthesis of this material has been achieved by low pressure CVD, a method that has important technological advantages over the high pressure.

RBS measurements were carried out on samples of  $CrO_2$  deposited on  $TiO_2$  to properly evaluate the percentage of magnetic material existing therein, from measurements of the saturation of magnetization that has been made.

Determinación de espesores y estequeometría 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 SINCAF-ICMS. 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.

<u>Determination of thickness and stoichiometry of indium tin oxide thin films</u>. ITO thin layers deposited by glancing angle deposition (GLAD) has been n 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 SINCAF-ICMS Group. 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, photovoltaic or electrochromic cells.

Puesta a punto de procedimiento para medidas de bajas concentraciones de Flúor en láminas delgadas. Combinando las técnicas de RBS con protones y PIGE, se ha llevado a cabo la cuantificación de flúor en muestras de lámina delgada que contenían diferentes cantidades de átomos de flúor. Las capacidades del método de cuantificación propuesto se han ilustrado con ejemplos de análisis de una serie de muestras de óxidos de estaño dopados con flúor, sílice fluorado, y láminas de DLC (diamond like carbón) fluoradas.

Este procedimiento ha permitido la cuantificación de contenidos de F tan bajos como 1% at. en películas delgadas con espesores en el intervalo de 100-400 nm. La cuantificación del contenido de flúor en películas delgadas es un problema importante en muchos campos tecnológicos.

Por ejemplo, el rendimiento del transporte en películas delgadas transparentes conductoras de óxido basadas en óxidos de estaño dopados con flúor (F-SnO<sub>2</sub>) está

4. Investigación / Research

fuertemente correlacionada con su contenido de flúor. Este tipo de películas es también ampliamente utilizado como sensor de gases o recubrimientos de baja emisividad (low-e) para la industria del vidrio. El conocimiento exacto del contenido de flúor también es un tema importante en películas de bajo índice de refracción y en materiales basados en las películas de sílice fluorados (SiOF), de baja constante dieléctrica y utilizados como intercapa en dispositivos dieléctricos. Otro ejemplo son los recubrimientos con funcionalidad antiséptica basado en películas de carbono fluorados (CF<sub>x</sub>), donde se ha descubierto una correlación entre la hidrofobicidad y el rendimiento anti-adherencia bacteriana con su contenido reportados F.

Optimization of the set-up for measurements of low concentrations of fluoride in thin films. The quantification of fluoride thin film samples containing different amounts of fluorine atoms has been carried out combining PIGE and RBS with protons technique. The capabilities of the proposed quantification method are illustrated by examples of analysis of a series of samples of tin oxide doped with fluorine, fluorinated silica, and layers of fluorinated DLC (diamond like carbon).

This procedure enabled the quantification of F content as low as 1% at. in thin films with thicknesses in the range of 100-400 nm. The quantification of the content of fluorine in thin films is an important problem in many technological fields.

For example, transport performance in transparent conductive oxide thin films based on fluorine-doped tin oxides (F-SnO<sub>2</sub>) is strongly correlated to their fluorine content. This type of films is also extensively used as gas sensors or low-emissivity (low-e) coatings for the glass industry. Precise knowledge of the fluorine content is also an important issue in low refractive index films and low dielectric constant ( $\kappa$ ) interlayer dielectrics based on fluorinated silica films (SiOF). Another example is the coatings with antiseptic functionality based on fluorinated carbon films (CF<sub>x</sub>), where a correlation between hydrophobicity and bacterial anti-adherence performance with their F content has been reported.

<u>Puesta a punto de medidas RBS de láminas delgadas sobre sustratos polímeros</u>. Los polímeros han atraído la atención de investigadores en los últimos tiempos debido a sus características ajustables con potencial en muchas áreas tecnológicas, entre ellas la electrónica.

Dispositivos ultra finos, ligeros y de bajo consumo de energía se pueden fabricar sobre este tipo de sustratos, pudiendo ser doblados o enrollados. Depositando una película delgada transparente sobre polímeros transparentes y flexibles se puede crear un material flexible y conductor, que también puede encontrar aplicaciones en optoelectrónica, superficies curvas de imagen, recubrimientos sensores o textiles electrónicos.

En los diversos métodos empleados para depositar láminas delgadas, las características de la película final pueden depender del sustrato utilizado, no siendo

4. Investigación / Research

siempre equivalente depositar sobre Si, cuarzo, cristal o diferentes polímeros. Es por ello que se hace pertinente poner a punto las condiciones necesarias para utilizar las técnicas IBA en la caracterización de láminas delgadas depositadas sobre polímeros. Se han optimizado, para nuestra cámara de análisis, los diferentes parámetros del haz (corriente, tamaño, tipo de ion incidente, etc.) para poder medir láminas delgadas depositadas sobre polímeros, evitando la descomposición de los mismos.

<u>Optmization of the RBS measurements of thin films on polymer substrates</u>. Polymers have attracted the attention of researchers in recent years because of its adjustable features with potential in many areas of technology, including electronics.

Ultra-thin, lightweight, low power consumption devices can be made on this type of substrates and can be folded or rolled. Depositing a transparent thin film on transparent and flexible polymers can create a flexible and conductor material that can also find applications in optoelectronics, image curved surfaces, sensor coatings, or electronic textiles.

The characteristics of the final film deposited on different substrates may depend on the substrate used. The same material is not always equivalent deposited on Si, quartz, glass or different polymers. That is why it is appropriate to develop the conditions for using IBA techniques in the characterization of thin films deposited on polymers. Different beam parameters (power, size, type of ion incident, etc.) have been optimized for our analysis chamber to measure thin films deposited on polymers, preventing the decomposition of the substrates.

Caracterización de láminas delgadas de materiales orgánicos (C, N, O, H) mediante p-RBS+ERDA y comparación con RBS estándar. La cuantificación de elementos ligeros (C, N, O) mediante la técnica de RBS estándar en láminas delgadas de materiales orgánicos depositados sobres sustratos estándar (Si, vidrio o sílice fundida) resulta extraordinariamente dificultosa. Para solventar este problema, se recurre a depositar los polímeros sobre sustratos especiales de C (grafito, carbono vítreo) depositando, además, una capa intermedia de un elemento más pesado (Si, Ag, Au) para separar las señales correspondientes al C de la lámina de polímero y el correspondiente al sustrato. No obstante, no siempre es posible depositar las láminas de polímeros sobre este tipo de sustratos ya que propiedades físicas como la adherencia al sustrato, pueden resultar diferentes según se deposite sobre un tipo u otro de sustrato. Además, encontrar sustratos de C con un bajo nivel de impurezas, como el caso del carbono vítreo, puede resultar difícil y con costes muy elevados. Es por todo ello por lo que resulta conveniente evaluar la posibilidad de realizar la cuantificación elemental de capas de polímeros depositadas sobre sustratos más comunes como Si, vidrio o sílice fundida.

En el CNA hemos realizado con éxito la detección simultánea por RBS con protones de elementos ligeros de láminas delgadas de nanocomposites orgánicos depositadas por el método de deposición en vacío asistida por plasma sobre sustratos de Si. Estos

4. Investigación / Research

resultados se compararán con aquéllos obtenidos por RBS estándar para láminas depositadas simultáneamente sobre láminas de C vítreo con interlayer de Ag.

Characterization of thin films of organic materials (C, N, O, H) by p-RBS + ERDA and RBS and comparison to standards. The quantification of light elements (C, N, O) of thin films of organic materials deposited on standard substrates (Si, glass or fused silica) using the standard RBS technique is extremely difficult. To solve this problem, polymers are deposited on special C substrates (graphite, vitreous carbon) adding an intermediate layer of a heavy element (Si, Ag, Au) in order to separate signals corresponding to C from the substrate and the polymer layer. However, it is not always possible to deposit polymer films on this type of substrates because physical properties, as adhesion to the substrate, may be different depending on a type of substrate used. Furthermore, finding C with a low level of impurities, as the case of vitreous carbon, can be difficult and very high costs. It is for this reason that it is convenient to assess the possibility of quantifying elements in polymer layers deposited on common substrates such as Si, glass or fused silica.

In CNA we have successfully achieved simultaneous detection and of light elements of organic nanocomposite thin films deposited by the vacuum deposition method by plasma on Si substrates using the RBS technique with protons. These results are compared with those obtained by standard RBS for films deposited simultaneously on vitreous carbon substrates with an interlayer of Ag.

Determinación de la concentración de Ge y B en sensores de fibra óptica. La fotosensibilidad de estos sensores está directamente relacionada con la concentración de estos dopantes, las fibras de sílice de germanio se tratan con un abanico de concentraciones de germanio y con Co-dopantes como el boro y el deuterio en distintas proporciones. Normalmente la fotosensibilidad se aumenta con la incorparacion de un dopado extra de germanio, que varía típicamente desde 15% mol a 25% mol dependiendo del fabricante. El Co-dopado con boro provoca una fotosensitividad excelente, mucho mayor que la de una fibra con una concentración equivalente únicamente de germanio.

En la mayoría de la bibliografía sobre estudios de irradiación de sensores de fibra óptica no se conoce con exactitud la concentración de dopantes en la fibra y los resultados no son siempre coherentes, el problema de cómo obtener un sensor con la fotosensitividad y resistencia a la radiación adecuada, permanece no resuelto. Por esto, correlacionar la respuesta de los distintos tipos de sensores con la concentración de Ge y B es de gran interés.

Se analizaron fibras irradiadas con anterioridad en el Ciclotrón en septiembre de 2011 (ver apartado 4.1.4), embebidas en un soporte cerámico.

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.1: Mapas de PIXE y RBS obtenidos con protones de 3 MeV. Tamaño: 250x250 μm<sup>2</sup>. Arriba, elementos que componen la cerámica. En medio, elementos que componen el recubrimiento. Abajo, elementos que componen la fibra (revestimiento + núcleo) / PIXE and RBS maps with 3 MV protons

<u>Ge and B measurements in Fiber Braqq Gratinqs (FBG).</u> The transmission properties and the radiation sensitivity of FBG depend on the concentration of these dopants, the germanium silica fibers are treated with different concentrations of germanium and Co-dopants as B and deuterium in several proportions. Normally the photosensitivity rises with an extra germanium doped; typically this varies from 15% to 25% mol depending on the fabricant. The Co-doped with boron provoke an excellent photosensitivity, much higher than the photosensitivity of a fiber with the same concentration only of germanium.

In the most of the cases reported about the irradiation of FBG the dopants concentration in fibers are unknown and the results are not always coherent. So far, how to obtain a sensor with the photosensitivity and a suitable resistance to radiation is a problem not resolved. For that, correlate the response of the different types of sensors with the B and Ge concentrations is very interesting.

*In this case, the analyzed samples were irradiated fibers in the cyclotron in September 2011 (see 4.1.4), embedded into a ceramic frame.* 

4. Investigación / Research

<u>Estudio de vidrios multicomponente de fosfato/óxido de lantano dopados con tierras</u> <u>raras</u>. Los vidrios de fosfato han resultado ser un material excelente para la producción de dispositivos fotónicos miniaturizados basados en guías de onda y fabricados mediante el procesado con pulsos ultracortos. En colaboración con el Grupo de Procesado por Láser del Instituto de Óptica del CSIC, en el CNA se han realizado análisis para determinar las concentraciones de Al, Si, P, K, La, Ce, Er e Yb y así poder evaluar la evolución de la composición en función de las condiciones de síntesis del vidrio, a fin de maximizar la vida media de las transiciones radiativas del Er<sup>3+</sup> en la banda de 1550 nm.

El objetivo es comprobar el papel de la relación P/La en la vida media, y la forma de minimizar la presencia de iones OH<sup>-</sup>, así como el papel de otros constituyentes como el Ce y el Al en lo tocante al gap del material y a su habilidad para soportar niveles de dopado elevados de Er e Yb. Para poder cuantificar los elementos presentes en este tipo de materiales se utilizó PIXE de alta energía con protones de 5,5 MeV y la combinación de dos detectores, un Si(Li) para cuantificar la matriz de la muestra y un LEGe para determinar por separado el La y el Ce, y los dopantes Er e Yb.



<u>Study of multicomponent glasses phosphate / lanthanum oxide doped with rare earths.</u> In the last years analysis for the characterization of multicomponent phosphate/lanthanum oxide glasses doped with rare earth elements have been performed in collaboration with the Laser Processing Group of the Optic Institute of the CSIC. The phosphate glasses are an excellent material for the production of photonic

4. Investigación / Research

miniaturized devices based on wave guides and fabricated by the processing of ultrashort pulses.

The aim of the analyses performed at CNA was to determine the concentrations of the Al, Si, P, K, La, Ce, Er and Yb and hence evaluate the composition of the glass according to the synthesis conditions in order to maximize the average life of the  $Er^{3+}$  radioactive transitions in the 1550 nm band. In particular, it is important to study the roll of the ratio P/La in the average life and the way to minimize the presence of  $OH^-$  ions, as well as to know the roll of other elements as Ce and Al in the gap of the material and its ability to support high levels of Er and Yb dopant. In order to quantify the composition of the element present in this type of material PIXE with high energy protons of 5.5 MeV and a combination of two detectors were used. With the Si(Li) detector the matrix of the sample was determined and the LEGe detector was used to quantify the La and Ce separately and the dopant elements Er and Yb.

<u>Análisis de nanopartículas de sílice funcionalizadas con moléculas y/o polímeros de</u> <u>coordinación</u>. En colaboración con el Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Granada, hemos estudiado un material con matriz de sílice y complejos de Ir (III) como agente dopante, del cual se pretendía obtener el cociente Ir/Si. Para ello se analizó mediante las técnicas PIXE y RBS una muestra del material y se determinó su composición (Si, Ir, O, H, F, C). Entre las aplicaciones de los complejos de Ir (III) podemos destacar el uso en light-emitting devices (LEDs), electrofosforescencia o marcadores biológicos. Es de destacar el mínimo consumo de muestra necesario para analizar estos costosos compuestos con respecto a otras técnicas de análisis.

<u>Si nanoparticles analysis</u>. CNA has participated in the analysis of materials studied within the research developed by the Inorganic Chemistry Department of the University of Granada, focused on the synthesis, characterization and study of the physical properties of new multimodal materials formed by silica nanoparticles (SiO<sub>2</sub>NPs) funcionalized with molecules and/or coordination polymers. In particular, a silica matrix material doped with Ir (III) complexes was studied in order to obtain the Ir/Si ratio. PIXE and RBS techniques were used to determine the composition of the sample (Si, Ir, O, H, F, C). Among the applications of the Ir (III) complexes can be highlighted the use of light-emitting devices (LEDs), electrophosphorescency or biological markers. It is remarkable the minimum sample consume needed for the analysis of this expensive materials with respect to other techniques.

#### 4.1.2 Ciencias Medioambientales / Environmental Science

En estos dos últimos años, se ha trabajado en diversos campos de investigación medioambiental, descritos brevemente a continuación.

Now, we are going to show the developed studies in the field of the Environmental Science.

4. Investigación / Research

<u>Estudio de arenas</u>. La finalidad de este trabajo era buscar partículas contaminantes de carácter radioactivo en arenas utilizadas en la filtración de potabilización de aguas en las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (E.T.A.P.) Durante la filtración, el agua es separada de la materia en suspensión debido a que las impurezas quedan adheridas a los granos de arena.

Se han analizado estas muestras mediante las técnicas PIXE-RBS en la microsonda nuclear, generando mapas elementales de las muestras, con el propósito de identificar la presencia, morfología y distribución de determinadas partículas contaminantes de carácter radioactivo, concretamente <sup>226</sup>Ra y <sup>234-238</sup>U, así como de otros elementos estables que pudieran estar presentes, especialmente bario.

<u>Study of sands</u>. The goal of this work was to find radioactive pollutant particles in sands used for the filtration of drinkable water in the Drinkable Water Treatment Stations. During the filtration, the water is separated from the suspension matter because the impurities stay stuck to the sand grains.

We have analyzed this kind of samples by PIXE-RBS using the nuclear microprobe, obtaining elemental maps to identify the appearance, morphology and distribution of different radioactive pollutant particles, i.e. <sup>226</sup>Ra and <sup>234-238</sup>U, and other stable elements, like barium.

<u>Análisis de líquidos iónicos (LI)</u>. Los LI son medios iónicos que resultan de la combinación de cationes orgánicos y aniones inorgánicos. Son líquidos a temperatura ambiente. Su naturaleza dual les permite disolver tanto compuestos polares como no polares. Su uso en química verde se ha incrementado pues se les considera disolventes que no dañan al ambiente.

En este estudio se intentó valorar mediante PIXE la viabilidad del uso de LI para la captura y retención de material particulado (MP) y Hg gaseoso; elemento que se encuentra en la atmósfera en forma de HgO y es difícil de capturar.

<u>Analysis of ionic liquids (IL)</u>. The IL are ionic systems resulting from the combination of organic cations and inorganic anions. They are liquid at room temperature, being able to dissolve both polar and non-polar compounds, due to their dual nature. Their use in "green" chemistry is increasing as they are considered as free pollution solvents.

In this study we try to value using PIXE the use of IL for the capture and retention of particulate matter and Hg gas. This element is difficult to capture as it is found in the atmosphere as Hg0.

<u>Estudio de semillas de álamo blanco</u>. El álamo pertenece a la familia de las Salicáceas que acumula Cd cuando está disponible en el suelo, en hojas y ramas de forma natural alcanzando niveles que para otras plantas son tóxicos. Dada la toxicidad del Cd, el interés de este trabajo era comprobar si este elemento pasa a la semilla de este árbol,

4. Investigación / Research

que es la parte más protegida de la planta. La ausencia de datos al respecto en la bibliografía hace que estos trabajos sean de gran interés.

<u>Study of the white poplar seeds</u>. In soils polluted with Cd, the poplar can naturally accumulate this toxic element in their leafs and branches to levels that would be toxic for other plants. Due to the high toxicity of Cd, the interest of this work was to determine if this element reaches the seeds of the tree, which are the most shielded part of the plant. The lack of data in the literature about this problem makes this work especially interesting.

Determinación de la composición elemental de cenizas volcánicas. Una serie de importantes eventos volcánicos ocurrieron en Islandia en 2010 a causa del volcán Eyjafjallajökull. La actividad sísmica se inició a finales de 2009, y dio lugar a diversas erupciones volcánicas desde el 20 de marzo de 2010. En particular, una erupción el 14 de abril de 2010 arrojó ceniza volcánica a una altura de varios kilómetros en la atmósfera lo que llevó al cierre del espacio aéreo sobre la mayor parte del norte de Europa a partir del 15 de abril, afectando los planes de viaje de millones de pasajeros. (Figura 4.2).



Figura 4.2: Imagen de infrarrojos mostrando la presencia de ceniza volcánica en la troposfera del Norte de Europa / Infrared image showing the presence of volcanic ashes in the troposphere of Northern Europe

Por la posible incidencia de la nube de cenizas en la península Ibérica, el grupo Física Nuclear Aplicada de la Universidad de Sevilla decidió proceder a la caracterización elemental y radiactiva de dichas cenizas. Se determinaron radionucleidos naturales

4. Investigación / Research

(isótopos de uranio, isótopos de torio y Po-210) por espectrometría alfa de alta resolución, mientras que la composición elemental se determinó mediante PIXE en el CNA. La muestra de ceniza volcánica analizada fue facilitada por el Instituto Meteorológico de Islandia a través del Profesor Elis Holm, cientifico de reconocido prestigio que realizó una estancia en el CNA en este periodo.

<u>Elemental composition of volcanic ashes</u>. At the end of 2009 an important seismic activity in Iceland originated several volcanic eruptions of the Eyjafjallajökull volcano, starting in 20<sup>th</sup> March 2010. In particular, the eruption of 14<sup>th</sup> April 2010 threw volcanic ashes at several kilometers high into the atmosphere, forcing the closure of the air space in most of Northern Europe. (Figure 4.2).

Due to the possible effect of the ash cloud in the Iberian Peninsula, the Applied Nuclear Physics group of the University of Seville proceeded to the elemental and radioactive characterization of the ashes. Natural radionuclides (uranium and thorium isotopes, and <sup>210</sup>Po) were determined using high resolution alpha spectrometry, while the elemental composition was analyzed by PIXE at the CNA. The samples were provided by the Meteorological Institute of Iceland through Professor Elis Holm, a high level scientist that carried out a stay in our laboratory during this period.

<u>Análisis de filtros atmosféricos</u>. El grupo de investigación Física Nuclear Aplicada de la Universidad de Sevilla en colaboración con el grupo de investigación Física de las Radiaciones y Medio Ambiente de la Universidad de Huelva analiza desde hace más de diez años el impacto radiactivo y de metales pesados en el medioambiente y en la población en general, ocasionado por las actividades realizadas por las diversas industrias químicas situadas en el polo industrial de Huelva (polo químico localizado en los márgenes del estuario conformado por las desembocaduras de los ríos Tinto y Odiel, a pocos km de Huelva capital).

En el marco de este amplio proyecto, se ha procedido a la toma de aerosoles por colectores de alto flujo en el entorno de una planta dedicada a la producción de pigmentos de dióxido de titanio, con el objetivo de analizar si la señal de las posibles emisiones de esta planta son discernibles del fondo natural.

A través de la aplicación de la técnica PIXE se ha pretendido la determinación no destructiva en los mencionados aerosoles de las concentraciones de diversos metales (fundamentalmente Ti y Zn) presentes por otra parte en elevadas concentraciones en la materia prima utilizada en esta actividad industrial. Ello ha conllevado el análisis tanto de las muestras de aerosoles colectadas como de filtros blanco (antes de la colección) para determinar el contenido intrínseco de los metales bajo estudio en el soporte físico utilizado para su colección.

<u>Analysis of atmospheric filters</u>. The Applied Nuclear Physics group of the University of Seville and the Radiations and Environment Physics Research group of the Huelva University collaborate since more than 10 years ago on the radioactive and heavy

4. Investigación / Research

metal impact to the environmental and the population, due to the activity of the chemical industry in Huelva (the industrial state is placed at the estuary formed by the mouths of the Tinto and Odiel rivers, a few kilometers from Huelva city).

Within the frame of this wide project, we have proceed to the sampling of aerosols using high flux collectors around a plant dedicated to the production of titanium dioxide pigments, with the aim of checking if the emission of the plant are distinguishable from the natural background.

Using PIXE, a non-destructive technique, we have determined the concentration of different metals in the aerosols (mainly Ti and Zn), which are present in big amounts in the raw matter used in this industry.

<u>Partículas calientes</u>. Además de los trabajos descritos arriba, se ha continuado con la caracterización de partículas de alta concentración de actividad (partículas calientes).

En este campo de investigación se ha colaborado con la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA). Se ha determinado el cociente elemental U/Pu de partículas procedentes de Palomares (España) y Thule (Groenlandia). La contaminación producida en estos dos escenarios es consecuencia de accidentes aéreos en los que se liberaron bombas nucleares que al impactar contra el suelo explotaron, esparciéndose así parte del combustible nuclear que contenían.

Como se ha indicado en pasadas memorias, los experimentos realizados con partículas calientes se han llevado a cabo en el Ciclotrón y varias de las líneas del Acelerador Tándem. Las condiciones de medidas son muy diversas debido a los distintos tamaños de las partículas caracterizadas.

<u>Hot particles</u>. A collaboration has been established with the International Atomic Energy Agency (IAEA) to study the elemental concentration of U and Pu in hot particles from Palomares (Spain) and Thule (Greenland). In both places, nuclear bombs were released as a result of aircraft accidents, and part of their nuclear fuel was spread upon impact on the ground.

*Experiments have been carried out at the Tandem and Cyclotron Accelerators in very different conditions, depending mainly on the particle size.* 

<u>Análisis de materiales de la Central Nuclear de Zorita</u>. La colaboración iniciada con la empresa ENRESA se ha centrado en el análisis composicional mediante la técnica PIXE de materiales utilizados en la Central de Zorita, para su evaluación y clasificación.

Se han analizado trozos de hormigón procedente del blindaje biológico de la vasija del reactor, de la parte externa y totalmente exento de actividad, con el objetivo de cuantificar la presencia de elementos químicos para determinar, con códigos de cálculo de activación neutrónica, qué elementos radiactivos se pueden encontrar en el

4. Investigación / Research

interior de la vasija del reactor, así como su nivel de actividad, para proceder a planificar lo mejor posible su desmantelamiento. Dentro de esta colaboración se han analizado también fragmentos de acero procedente de la Central.

<u>Analysis of the nuclear materials of Zorita Nuclear Power Plant.</u> The collaboration initiated with the company ENRESA has been centered, up to now, in the composition analysis of materials used in the Zorita Nuclear Power Plant by PIXE technique in order to evaluate and classify them.

Concrete samples from the vessel biological armour, from the outside part and free of activity have been analyzed in order to quantify the chemical elements to determine, with neutron activation calculation codes, the possible radioactive elements that can be found in the inside part of the vessel and its activity, so the dismantling of the power plant can be planned in a better way. Within this collaboration, steel fragments have also been analyzed.

<u>Análisis de cenizas de biomasa</u>. En el campo de las energías renovables se han realizado análisis de cenizas de biomasa, cuyo uso para la producción de energía térmica y eléctrica presenta grandes ventajas ambientales.

El proyecto de investigación del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Granada en el que se enmarca este análisis se interesa por la caracterización de estas cenizas con objeto de demostrar su aptitud para utilizarlas como sustituto parcial del cemento en morteros, de igual forma a como se usan actualmente las cenizas volantes procedentes de centrales térmicas.

<u>Biomass ashes analysis.</u> In the field of renewable energies samples of biomass ashes have been analyzed. The use of these ashes in the thermal and electrical energy production present many environmental advantages.

The research activity of the Inorganic Chemistry Department of the University of Granada, in which this analysis is involved, is focused in the characterization of these ashes in order to demonstrate their capability to be used as substitute of cement in mortar in the same way as are used the flying ashes from thermal power plants.

<u>Medida de la composición de agua (enriquecida en <sup>18</sup>O) irradiada</u>. La industria farmacéutica está interesada en conocer la composición del agua irradiada en contenedores (target) de Niobio, después de ser bombardeada en un ciclotrón. Cuando se bombardea a intensidades superiores a las habituales aunque dentro de las especificaciones del fabricante (40  $\mu$ A frente a 35  $\mu$ A), se reduce drásticamente el rendimiento de la producción de <sup>18</sup>FDG. A pesar de que se obtiene mayor cantidad de<sup>18</sup>F<sup>-</sup>, éste no reacciona con el precursor triflato de manosa, por lo que se plantea la pregunta de qué contaminantes se generan en el proceso de bombardeo del agua enriquecida (H<sub>2</sub><sup>18</sup>O). Los contaminantes pueden proceder de la ventana de Havar<sup>®</sup>, cuya composición es conocida, y también los isótopos que desprende, o bien puede

4. Investigación / Research

deberse a que el cuerpo del target de Nb desprenda partículas, posiblemente por las elevadas temperaturas que se alcanzan al aumentar el tiempo y la intensidad del bombardeo. El problema del descenso de rendimiento en la producción industrial de <sup>18</sup>FDG afecta a los usuarios de los targets de Nb.

La finalidad del experimento es determinar la causa del descenso en el rendimiento de marcaje con <sup>18</sup>F<sup>-</sup> por sustitución nucleofílica, cuando se bombardea con protones  $H_2^{18}O$  en target de Nb a alta intensidad durante tiempo prolongado. La muestra de agua irradiada en cada bombardeo llevo a sequedad, concentrando los posibles elementos en una plancha de aluminio puro (99.999%) y se analizó por la técnica PIXE.

<u>Compositional analysis of <sup>18</sup>O enriched water irradiated at the Cyclotron</u>. The pharmaceutical industry is interested in knowing the composition of the <sup>18</sup>O enriched water contained in Nb targets after proton irradiation using a cyclotron. When the beam intensity is slightly above the regular current (40 µA instead of 35 µA), the <sup>18</sup>FDG production yield is drastically reduced. In spite of obtaining a higher <sup>18</sup>F production, it does not react properly with the precursor, and therefore the question arises what pollutants can be generated during the bombardment of the enriched water. These pollutants could come from the Havar window, which has a well-known composition, from the formed isotopes that could become detached from the window, or from particles coming off the Nb target, because of the higher temperatures reached by this beam stopper when the time and the intensity of the bombardment are increased.

The irradiated water was deposited in pure AI plates (99,999%) and the remaining composition after complete drying was analyzed by PIXE in our microprobe.

#### 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 nondestructive 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.

<u>Análisis de monedas de oro.</u> Se ha estudiado una colección de monedas de electrum (Figura 4.3) (oro muy enriquecido de plata) procedentes de Lucena (Córdoba). Se pretendía comprobar la existencia de una aparente capa de dorado, su espesor y composición, así como la composición del interior de la moneda. Se han aplicado para

4. Investigación / Research

ello las técnicas RBS y PIXE con alfas de 2 y 6 MeV de energía, XRF y transmisión gamma (GRT).

Los resultados preliminares confirman la existencia de una capa de dorado de alrededor de 1  $\mu$ m, siendo tanto la capa como el interior de la moneda muy ricos en plata, por lo que no se trata de plata sobredorada, sino de electrum dorado. Los resultados han evidenciado además la diferencia estructural y composicional de una de las monedas del lote, lo cual apoya la hipótesis de falsedad de esta moneda establecida por algunos expertos en la materia.

<u>Gold coins analysis.</u> A set of electrum (Figure 4.3) (gold with high levels of silver) coins from Lucena (Cordoba) have been analyzed. The aim of the study was to determine the existence or not of an apparent gold layer, its thickness and composition, as well as the composition of the core of the coin. RBS and PIXE techniques were used with alpha particles of 2 and 6 MeV, XRF and GRT.

The preliminary results confirm the existence of a gold layer of about 1  $\mu$ m thickness, with both the layer and the core of the coin very rich in silver, so the coin is not a silver coin with a gold layer but gilded electrum. The results have also demonstrated the structural and compositional differences of one of the coins of the set, supporting the hypothesis of fake established by some experts.



Figura 4.3: Moneda de oro electrum de Lucena / Electrum gold coin from Lucena

<u>Análisis de monedas de plata.</u> El análisis de monedas de plata en sección realizado por algunos autores ha dado lugar a conocer el fenómeno de enriquecimiento superficial de la plata con respecto al cobre de la aleación original utilizada para la fabricación de

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

la moneda (Figura 4.4). Este fenómeno dificulta considerablemente la estimación de la composición en el núcleo de una moneda de plata de manera no destructiva. Se investiga ahora la fiabilidad de los análisis superficiales realizados hasta el momento por la comunidad científica en este tipo de objetos.

En el CNA se ha realizado un estudio con monedas cortadas en sección para evaluar el espesor y composición de este tipo de enriquecimientos en función de la composición del núcleo de la moneda. Para ello se han utilizado las técnicas XRF y microPIXE.

Paralelamente se está tratando de encontrar un método, no destructivo, que permita estimar la existencia o no de este enriquecimiento y la composición del núcleo de la moneda mediante las técnicas GRT y RBS con protones de 18 MeV. El uso de protones de alta energía para la realización de la técnica RBS viene motivado por el espesor obtenido por microPIXE de estas capas de enriquecimiento, del orden de las centenas de micrómetros en las monedas estudiadas, y por lo tanto imposibles de explorar por los iones típicamente utilizados en RBS. Sin embargo, la interpretación de los espectros es mucho más complicada y la pequeña diferencia de composición de la capa de enriquecimiento respecto del núcleo de las monedas estudiadas no ha permitido hasta el momento resolver satisfactoriamente esta cuestión por esta vía.



Figura 4.4: Monedas de plata / Silver coins

<u>Silver coins analysis.</u> The cross-sectioned analyses performed by some authors on silver coins have revealed that there is a silver enrichment on the surface with respect to the

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

content in the core of the samples (Figure 4.4). This phenomenon makes difficult the estimation of the composition of the core of a silver coin by means of non-destructive techniques. It is now being checked the reliability of the surface analyses performed by the scientific community on this type of objects.

A set of cross sectioned coins have been studied at CNA in order to estimate de thickness and composition of these enrichments depending on the composition of the core of the coin. XRF and microPIXE techniques have been used in this study.

Besides, non-destructive methods are being checked in order to determine if they are appropriate for the estimation of the existence or not of the enrichment layer and the composition of the core. GRT and 18 MeV protons RBS are being used. The use of high energy protons for the RBS techniques is motivated by the enrichment layer thickness estimated by micro-PIXE, of the order of several hundreds of microns, and hence impossible to be explored with the typical ions used for RBS. However, the interpretation of the spectra is much more complicated and the small difference in composition of the layer with respect to the core has not allowed solving this problem successfully by this method.

<u>Análisis de vidrios.</u> 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.

La caracterización realizada de una pieza egipcia es muy interesante por tratarse de un perfumero realizado con la técnica del núcleo de arena. También se han analizado dos redomas, una pulsera y un anillo perteneciente a un Bustum romano Altoimperial Cordobés encontrado en la localidad de Castro del Río.



Se trata de conocer el análisis de los vidrios que forman la pieza, tanto del vidrio base como de los colores que decoran la misma. Con este mismo objetivo así como el de tratar de entender el proceso de desgaste sufrido en agua salina, se ha trasladado al CNA desde el Museo Nacional de Arqueología Subacuática de Cartagena un fragmento

4. Investigación / Research

de vidrio mosaico pertenece al pecio romano de San Ferreol en San Pedro del Pinatar datado en el siglo I antes de Cristo y descubierta en el año 1976.

<u>Glasses analysis.</u> 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 nondestructive character.

It has been interesting the analysis performed at CNA on an Egyptian object as it is a perfume bottle made with the sand core-forming technique. The aim is to analyze the composition of the glass that forms the vessel and the different colours that creates the rich decoration. Two small bottles, a small bracelet and a ring from a Roman High Imperial bustum from Cordoba (Castro del Río) have also been characterized.

A fragment of a mosaic glass found in 1976 on a wrecked ship at San Ferreol (San Pedro del Pinatar) dating I century b.C. and kept at Museo Nacional de Arqueología Subacuática at Cartagena, has been analyzed in order to characterize it and try to understand the degrading process suffered in the salted water environment.

<u>Análisis de objetos de metal.</u> El estudio de los objetos de metal y su producción está directamente relacionado con el desarrollo de las civilizaciones que los produjeron, por lo que existe un interés en caracterizar, mediante análisis por microXRF y de manera sistemática, los diferentes tipos de soldadura existentes en la orfebrería antigua. La primera etapa de esta investigación consistió en fabricar distintas réplicas de decoración en oro mediante técnicas arqueometalúrgicas que reproducen las soldaduras siguiendo las recetas antiguas. Sucesivamente, con estas aleaciones se han reproducido los tres tipos diferentes de soldadura más comunes: la soldadura autógena (unión de dos partes mediante aporte de calor), con sales de cobre (empleando mineral de cobre en polvo) y la soldadura fuerte. Los análisis por microXRF han permitido caracterizar los distintos tipos de soldaduras producida según los porcentajes en peso de los tres elementos mayoritarios (Au, Ag y Cu) que constituyen las muestras.

Los resultados obtenidos han sido aplicados a un caso particular en estudio: la joyería Tartésica (Figura 4.5), objetos de especial valor artístico que presentan un elevado porcentaje de oro. Basándonos en las reproducciones arqueometalúrgicas ha sido posible caracterizar los procesos de fabricación antiguos e identificar las etapas productivas de las joyas.

<u>Metal objects analysis.</u> The study of the material's structure and the production process of metal objects reveal the technological skills of goldsmiths who created precious decorated artifacts. The first step of this work is to reconstruct, by means of experimental archaeology, the ancient soldering and welding processes, in order to identify them in archaeological samples using a portable micro X-ray fluorescence (microXRF) system. This portable and non-destructive technique provides a useful

4. Investigación / Research

method for characterizing the manufacturing of ancient gold jewelry. Then various gold alloys were produced with different Ag and Cu content to simulate real cases. Besides, based on archaeometallurgy techniques, replicas of ancient soldering were fabricated following the ancient recipes: solid-state diffusion bonding with copper salts, brazing (hard and soft soldering), and welding without the addition of external material, also known as autogenous or fusion welding. The microXRF technique has permitted the characterization of the three different soldering and welding processes produced according to the concentrations of the main elements (Au, Ag and Cu) in the welding/soldering area.

The methodology described in this work was applied to the particular case of alloys with high gold concentrations, such as Tartessic jewelry (Figure 4.5) (700-500 BC), to identify the different welding and soldering techniques. Thanks to the conclusions obtained with the experimental archaeology it has been possible to characterize the ancient manufacturing processes and identify the productive stages of the jewels.



Figura 4.5: Joyería Tartésica / Tartessic jewelry

<u>Estudio de obras de arte pictóricas.</u> 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 y la Facultad de Bellas Artes de la Universidad 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, hemos estudiado varias obras que se encontraron en el taller de restauración de la Facultad de Bellas Artes, entre los que figuran Totta Pulca (siglo XVI) de un pintor anónimo, la escultura policromada de Divina pastora del siglo XIX y el brazo de un Cristo policromado del siglo pasado. Para el estudio empleamos la técnica de Fluorescencia de Rayos-X (XRF) que ofrece resultados elementales, es decir, nos

4. Investigación / Research

informa de los elementos químicos presentes en el punto irradiado. En base a esta información se puede averiguar cuáles son los materiales inorgánicos empleados (pigmentos, soportes).



Figura 4.6: Obras de arte / Artworks

En el Museo se seleccionaron varias obras, de interés para los conservadores y restauradores. Entre los más importantes figuran los cuadros de Martín de Vos, de Luis de Vargas y sus seguidores anónimos, de Pedro Villegas Marmolejo y de Cristóbal Morales, todos del siglo XVI.

También se estudió un grupo de obras de un pintor sevillano de principios del siglo XX, Gonzalo Bilbao, con el propósito de obtener más información sobre su técnica pictórica, antes de inaugurar una exposición que se le dedicó en el año 2012.

En el caso de Vargas y sus discípulos se pudo comprobar que las obras anónimas son técnicamente muy parecidas a Vargas, pero se confirmó que fueron hechas por otros pintores, ya que se encontraron diferencias en la selección de algunos pigmentos.

Los resultados más complejos se obtuvieron con la obra de Bilbao, ya que el análisis de casi veinte obras permitió una introspección más profunda en su vida artística. Así se pudo averiguar, que Bilbao iba cambiando la paleta de pigmentos, conforme iban saliendo al mercado. Introducía, por ejemplo, los pigmentos nuevos a base de cromo o de cadmio, mientras que azurita o bermellón iban desapareciendo, igual que blanco de zinc sustituyó gradualmente a blanco de plomo. Un desarrollo parecido se descubrió en las preparaciones de cuadros, que en sus primeras obras fueron ejecutadas con blanco de plomo, luego empezó a añadir blanco de zinc y en sus últimas obras la preparación se hizo con litopón.

Algunas de las obras, sobre todo las tablas del siglo XVI, se pudieron analizar también con reflectografía infrarroja (IRR), que en algunos casos reveló existencia de dibujos subyacentes, como es el ejemplo del cuadro de San Telmo, hecho por un pintor sevillano anónimo.

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.7: Obras de arte / Artworks

En Septiembre de 2011, nuestro grupo se desplazó a México, donde trabajamos en el análisis completo de una de las obras de Alonso Vázquez, pintor sevillano del siglo XVI, que se mudó al Nuevo Mundo. En el Castillo de Chapultepec realizamos estudio de San Hipólito con XRF, IRR, luz UV, cromatografía y radiografía. Los resultados se compararán con las obras de Vázquez en el Museo de Bellas Artes de Sevilla, de las que ya se analizaron varias, sobre todo con las técnicas de IRR, UV y XRF. A todas se les documentó también fotográficamente. Los últimos estudios se llevaron a cabo en septiembre de 2012, cuando los investigadores mexicanos vinieron a Sevilla, aprovechando así un estudio completo de varias obras que se encuentran en el museo, como Sagrada Cena o los cuadros de la serie sobre Pedro Nolasco. Además se logró analizar la tabla de la Virgen del Pozo en la Catedral de Sevilla.

En paralelo con los estudios de obras artísticas, se van desarrollando nuevos equipos. Así se consiguió en 2011 la puesta en marcha del equipo XRF llamado X-Panda, además se está trabajando intensamente en el dispositivo de microfluorescencia confocal que permitirá, en el futuro, distinguir incluso las capas pictóricas sin tener que acudir a las muestras 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.

# <u>Analysis of artworks.</u> 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 equipments are 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 and the Faculty of Fine Arts in Seville, as well as with the interdisciplinary group of the National Autonomous

4. Investigación / Research

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 two years, many artworks have been studied from the restoration workshop at the Faculty of Fine Arts, among which are the painting Totta Pulca (16<sup>th</sup> century) by anonymous artist, the polychromed scultpure Divina pastora from the 19<sup>th</sup> century and the arm of a polychromed Christ made in the last century. For the study, in the first place the technique of X-Ray Fluorescence (XRF) is used, which offers elemental results (it reveals chemical elements present in the irradiated point). On the bases of this information, inorganic materials in an artwork can be identified (pigments, supports).

In the Museum, several artworks were selected that were of interest for conservators and restorers. Among the most important ones are those carried out by painters as Martin de Vos, Luis de Vargas and his anonymous followers, Pedro Villegas Marmolejo and Cristobal Morales, all from the 16<sup>th</sup> century.

Also a group of paintings carried out by a modern Seville author Gonzalo Bilbao from the beginning of the 20th century was studied. The purpose was to obtain more information about his painting technique before the opening of an exhibition dedicated to Bilbao in the 2012.

In the case of Vargas and his followers it was possible to confirm that anonymous works are technically very similar to Vargas, but that they were carried out by other painters due to the selection of several different pigments.

The most complex results were obtained for the works by Bilbao. The analysis of more than twenty works allowed a more profound introspection into his artistic life. It was possible to find out that Bilbao was changing the selection of pigments as new ones were appearing on the market. He was introducing, for example, new pigments on the chrome or cadmium basis, while traditional azurite or vermilions were disappearing; such was the case of zinc white that gradually replaced lead white. A similar development was discovered in his painting preparations. In his early years they were made with lead white, then he started to introduce zinc white and in his latest works the preparation was made with lithopone.

Some artworks, especially panel paintings from the 16<sup>th</sup> century could have been analyzed also by infrared reflectography (IRR) that in some cases revealed the existence of an under-drawing. Such example was the panel painting San Telmo by an anonymous Seville painter.

In September 2011 our group traveled to Mexico where we worked on a complete analysis of one of the paintings by Alonso Vazquez, a Seville painter from the 16<sup>th</sup> century who later on moved to the New World. In the National Museum of History (MNH) in the Castle of Chapultepec the study of San Hipolito was carried out with XRF, IRR, UV light, chromatography and radiography. The results were compared to the

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

works by Vazquez in the Fine Arts Museum in Seville, of which several were analyzed previously with IRR, UV and XRF. All of them were also photographicaly documented. The last studies took place in September 2012 when the group from Mexico came to Seville. Together we carried out complete studies of several paintings in the Museum, as Sagrada Cena or the serie of Pedro Nolasco, as well as the panel painting Virgen del Pozo in the Cathedral of Seville.



Figura 4.8: Obras de arte / Artworks

In parallel with the study of artworks, new equipments are being developed. In 2011, 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 that will allow, in the future, distinguishing among different colour layers without the necessity to extract 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.

#### 4.1.4 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.

Hasta el momento, este tipo de ensayo en modo estático y/o dinámico se realiza 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 estará disponible un irradiador de cobalto 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.

Up to now, this type of test in static and/or dynamic mode is performed in Tandem or Cyclotron accelerators; using the vacuum microprobe line, the irradiation and

Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

#### implantation line and the external beamline of the Cyclotron. In mid-2013, will also be available a cobalt irradiator system for gamma photons irradiation.

Ensayos de irradiación en dispositivos electrónicos y materiales para uso espacial. La fiabilidad de un dispositivo sometido a radiación en el Espacio 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 desarrollado investigación propia dentro del marco del Proyecto CEIDES, subproyecto de RENASER+. Se ha continuado estudiando la producción de fallos en circuitos "in vivo" debido a la radiación de diferentes partículas, variando la energía y la fluencia.

Destacan los experimentos de microdosimetría, planeados con objeto de chequear una nueva metodología de detección y diagnóstico de errores lógicos, aprovechando la posibilidad que ofrece la microsonda de vacío para apuntar a un área de interés dentro del chip. Por primera vez en esta línea, se han llevado a cabo experimentos SEU (Single Event Upset) sobre dispositivos VLSI HCMOS9\_GP de 130 nm. Estos circuitos digitales han sido completamente desarrollados y monitorizados por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla. Hasta el momento se han utilizado haces de Carbono a 13 MeV de energía, en ángulo de incidencia normal con flujos medios de 100 cps y una dosis máxima de 6 Mrad. Las condiciones experimentales se han elegido en base a los modelos simulados y valorando la tolerancia TID del dispositivo con el fin de evitar el daño físico sobre el circuito. Sin observar daño por dosis acumulada en la funcionalidad del chip, aunque sí un aumento en el consumo, se han detectado y clasificado diversos errores tipo SEU. Por tanto ha quedado validada la metodología propuesta y se han corroborado los modelos de simulación propuestos. Se completará el estudio irradiando con otros iones y energías para establecer la curva de sección eficaz de fallos.

Empleando la línea de Haz Externo del Ciclotrón, se ha llevado a cabo la irradiación, en modos estático y dinámico, de diversos dispositivos comerciales programables (CPLDs de Xilinx<sup>®</sup> y FPGAs de Actel<sup>®</sup>). Estos están siendo objeto de estudio del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III, donde se le aplican técnicas de endurecimiento con el fin de hacer posible su utilización en próximas misiones del satélite CubeSat del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Los dispositivos han sido irradiados con protones en el rango de energías comprendido entre 10 y 18 MeV. Se ha trabajado con flujos de partículas de 4.2 a 14x10<sup>8</sup> p/cm<sup>2</sup>s obteniendo una fluencia máxima de 8.5x10<sup>10</sup> p/cm<sup>2</sup>. Para la realización de estos experimentos se ha puesto a punto un set-up específico en esta línea de haz.

Hasta el momento, ambos dispositivos han mostrado baja sensibilidad a SEEs pero especialmente aquellos basados en memorias flash. Sin embargo, se continuará con un estudio más detallado en próximas campañas. (Figura 4.9).
## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.9: Set-up experimental para ensayos de SEE en la línea de haz externo del ciclotrón / Experimental set-up for SEE studies in cyclotron external beam line

Por otro lado, se han realizado ensayos de irradiación, solicitados por la empresa francesa TRAD- Tests & Radiation, sobre nuevos materiales destinados a la industria aeroespacial. En la primera campaña, se ha irradiado una serie de cintas adhesivas sobre soportes metálicos de titanio. Los experimentos se han llevado a cabo en vacío  $(5x10^{-7} \text{ mbar})$  usando la Línea de Irradiación e Implantación instalada en el Acelerador Tándem de 3 MV. Se realizó un barrido completo sobre un área de 145x170 mm<sup>2</sup> con protones de 2.5 MeV, empleando un flujo de 10 nA ( $\approx 6.24 \text{ p/cm}^2$ s) hasta alcanzar una fluencia de 7.10x10<sup>11</sup> 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.

<u>Irradiation testing on electronic devices and materials for space applications</u>. 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 developed its own research in the framework of CEIDES Project, subproject of RENASER +. It has continued to study the production of circuit failures "in vivo" due to different particles radiation, varying the energy and fluence.

It should be noted the microdosimetry experiments, which were planned in order to check a new methodology for logic errors detection and diagnosis, taking advantages

4. Investigación / Research

of the vacuum microprobe to point to an area of interest within the chip. For the first time in this line, we have carried out SEU (Single Event Upset) experiments on devices VLSI HCMOS9\_GP of 130 nm. These digital circuits have been fully designed and monitored by the Department of Electronic Engineering, University of Seville. So far, 13 MeV carbon beams have been used in normal incidence geometry, working with flux around 100 cps and a maximum absorbed dose of 6 Mrad. The experimental conditions were chosen based on simulated models, assessing the TID tolerance of the device in order to avoid physical damage on the circuit. Any damage due to cumulative dose is not observed on chip functionality, although an increase in the consumption of the chip. Different types of SEU failures have been identified and classified, so that the proposed methodology has been validated and the simulation models have been verified. This work will continue with more experiments using other particles and energies in order to obtain the failure cross section curve.

The External Beamline of the Cyclotron has been used for irradiation testing, in static and dynamic modes, on programmable commercial devices (CPLDs and FPGAs Xilinx <sup>®</sup> Actel <sup>®</sup>). These are being studied by the Electronic Technology Department of the University Carlos III; applying hardening techniques to enable their use in future missions of the satellite CubeSat, designed by INTA (National Institute for Aerospace Technology). The devices have been irradiated with protons in the energy range of 10 to 18 MeV. Flux values from 4.2 to 14x10<sup>8</sup> p/cm<sup>2</sup>s were used reaching a maximum fluence of 8.5x10<sup>10</sup> p/cm<sup>2</sup>. To carry out these experiments, a specific set-up has been put in operation in this beamline (Figure 4.9). According the first results, both types of device showed low sensitivity to SEEs but especially those based on flash memory. However, we will continue with further study in future campaigns.





Figura 4.10: (Izquierda) Instantánea del barrido del haz de protones en la Línea de Irradiación e Implantación a su paso por un centelleador. (Derecha) Tres de las muestras colocadas en el portamuestras / (Left) Proton beam scanning. (Right) Samples

On the other hand, irradiation tests have been performed on new materials for the aerospace industry, demanded by the French company TRAD-Tests & Radiation. In the first campaign, a series of tapes on titanium metal supports have been irradiated. The experiments have been carried out in vacuum ( $5 \times 10^{-7}$  mbar) in the irradiation and implantation beamline, which is installed in the 3 MV Tandem Accelerator. A full

4. Investigación / Research

scanning of 145x170 mm<sup>2</sup> was done using 2.5 MeV protons with ion flux of 10 nA ( $\approx 6.24 \text{ p/cm}^2$ s) and reaching a total fluence of 7.10x10<sup>11</sup> 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.

<u>Experimentos de Irradiación</u>. Dentro de los experimentos de irradiación realizados durante este bienio en el Ciclotrón, está esta colaboración con el Instituto de Física de Cantabria (IFCA). Ha consistido en irradiar distintos tipos de sensores de fibra óptica con y sin recubrimiento, así como los materiales compuestos en los que están embebidos.

El objetivo de este ensayo era estudiar la respuesta de estos sensores a la radiación y valorar su idoneidad para formar parte de tecnologías de monitorización estructural y ambiental, que se usarán en experimentos de física de partículas, en concreto para su uso en los detectores del "Large Hadron Collider" del Laboratorio Europeo para la Física de Partículas Elementales (CERN). Tras la primera campaña realizada en 2010 se concluyó que existe una relación entre el tipo de recubrimiento y el cambio en la respuesta del sensor bajo irradiación.

En una nueva campaña en 2011 se estudió el efecto de la radiación protónica en la respuesta de sensores de fibra óptica desnudos (sin recubrimiento). Se pretendía aislar el efecto de la radiación en la red de difracción de Bragg, evitando el cambio en la respuesta del sensor debido a las alteraciones en las propiedades del recubrimiento. Por otra parte se incorporaron sensores interferométricos de fibra resistentes a la radiación en la zona de ensayo para la medida absoluta de temperaturas durante todo el proceso de irradiación (Figura 4.11).

Cabe subrayar además la realización de ensayos de irradiación sobre imanes permanentes de tierras raras. El Departamento de Electricidad y Electrónica de la Universidad del País Vasco y el Laboratorio P4M del Centro de aceleradores del ESS-Bilbao están estudiando su comportamiento cuando se someten a altas dosis de radiación. Imanes de diferente composición están siendo valorados como candidatos a emplearse en la fabricación de los sistemas de focalización del nuevo LINAC. En los primeros experimentos, la irradiación se llevado a cabo con protones de 16.7 MeV hasta alcanzar fluencias del orden de 10<sup>15</sup> p/cm<sup>2</sup>, utilizando flujos en el rango de 10<sup>11</sup>-10<sup>12</sup> p/cm<sup>2</sup>s. Durante los ensayos se monitorizó la temperatura alcanzada en las muestras y la pérdida de flujo magnético sufrida por los imanes.

Está previsto continuar el diseño de nuevos experimentos aunque de momento, se han observado claras diferencias en la degradación del campo magnético para distintos materiales. Por otro lado, la temperatura ha resultado ser sumamente sensible a las variaciones de flujo.

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.11: Set-up de la irradiación / Irradiation set-up

<u>Irradiation tests</u>. During this period, we have established collaboration with the Physics Institute of Cantabria (IFCA) to irradiate different optical fiber sensors with and without cover, as well as the composite materials where these sensors are inserted.

The goal is to study the response of the sensors to the proton beams to assess their feasibility as structural monitors for their use in particle physics experiments, specifically to monitor the Large Hadron Collider detectors in CERN. The first irradiation tests were carried out in 2010 and we observed a correlation between the kind of cover and the sensor response under irradiation.

In the following campaign, proton irradiation of bare fibers was performed to directly elucidate its effect on the Bragg diffraction grating. During these tests the temperature of the irradiated area was monitored using radiation hard interferometric fiber detectors (Figure 4.11).

We would also highlight the irradiation testing of rare earth permanent magnets. The Department of Electricity and Electronics, University of the Basque Country, and the P4M Laboratory from the accelerators Center ESS-Bilbao are studying their behavior when subjected to high doses of radiation. Magnets of different composition are being evaluated as candidates for use in the manufacture of the focusing systems for the new LINAC. In the first experiments, 16.7 MeV protons have been used to reach fluences in the order of  $10^{15}$  p/cm<sup>2</sup> with flux of  $10^{11}$ - $10^{12}$  p/cm<sup>2</sup>s. During the tests, both the

4. Investigación / Research

temperature achieved in the samples and the loss of magnetic flux incurred by the magnets were monitored.

It is expected to continue new experiments but for the moment, clear differences were observed in the degradation of the magnetic field for various materials. On the other hand, the temperature has proved to be extremely sensitive to flux changes.

<u>Prueba de dispositivos de diagnóstico de haz. Prueba de dos prototipos de monitores</u> <u>de perfil de haz no interceptivos</u>. El conjunto de experimentos a realizar se engloban dentro de las tareas de diseño de instrumentación y diagnóstico para el acelerador IFMIF-EVEDA LIPAC (Linear Prototype Accelerator).

IFMIF-EVEDA es la fase de validación de ingeniería y de construcción de un acelerador lineal prototipo de 9 MeV de Deuterones operado en CW (continuous wave mode). El objetivo de este prototipo es validar la construcción de una planta internacional de irradiación de materiales de interés para futuros reactores de fusión IFMIF (Internacional Fusion Materials Irradiation Facility).

En 2010 se realizaron pruebas que permitieron comparar los monitores no interceptivos, basados en fenómenos de fluorescencia, con los monitores de perfil tradicionales. Los experimentos llevados a cabo en el Ciclotrón del CNA sirven para validar los monitores de perfil, sistemas de calibración, seguridad de operación frente a cavidades superconductoras y análisis de comportamiento bajo un significativo fondo de radiación. Por ello, estas medidas contribuyen significativamente a la optimización del diseño de los prototipos de monitores de perfil para IFMIF.

Una segunda campaña de pruebas ha realizado durante 2011. En este caso, en lugar de Nitrógeno como gas residual se ha utilizado Hidrógeno. La motivación reside en el uso de monitores de perfil frente a cavidades superconductoras. El uso de cavidades superconductoras implica que el porcentaje de moléculas de Nitrógeno presentes en vacío será menor que en zonas más alejadas (licuefacción debido a las temperaturas criogénicas). Por ello, para los monitores que serán instalados en esa área (y con objeto de replicar las condiciones de forma más realista) es deseable usar Hidrógeno como gas residual. Para poder realizar estos experimentos, la implementación de un sistema de introducción de gas dentro de la cámara de vacío ha sido de gran importancia y el control de las variaciones de presión a lo largo de la línea de trabajo también (Figura 4.12).

<u>Test for beam diagnostic monitors. Test of non-invasive beam profile monitors</u>. These experiments take part in the instrumentation and diagnostic design tasks for the IFMIF-EVEDA LIPAC (Linear Prototype Accelerator).

The IFMIF-EVEDA Project aims to construct a 9 MeV deuteron prototype linear accelerator operated in continuous wave mode (CW). The goal of this prototype is to

4. Investigación / Research

validate the construction of the International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF).

In 2010, we performed at CNA experiments comparing the performance of noninterceptive beam profile monitors (BPM) based on the fluorescence effect with a traditional BPM. These experiments, carried out using 9 MeV deuterium beam in our Cyclotron and  $N_2$  residual gas, were useful to validate the non-invasive BPMs, the calibration system, the operation safety against superconductor cavities and the behavior of the BPMs on a significant radiation background.

In 2011 similar tests were performed at CNA using  $H_2$  as residual gas. Indeed, in IFMIF the  $N_2$  pressure should decrease around the superconducting cavities compared to other areas of the accelerator due to the  $N_2$  liquefaction at the cryogenic temperatures of the cavities. Therefore, the BPMs placed on the cavities should work with a different gas, probably  $H_2$  (Figure 4.12).



Figura 4.12: Comparación de la evolución del perfil del haz para distintos valores de intensidad del haz, de presión del gas residual y del tiempo de adquisición / Beam profile evolution due to different parameters

Prueba de dispositivos de diagnóstico de haz. Prueba de una cámara de ionización. Durante 2012 se han probado dos cámaras de ionización en la línea de haz externo del Ciclotrón. Los experimentos de irradiación requieren de la posibilidad de medir flujos de partículas que pueden variar en muchos órdenes de magnitud. En el rango comprendido entre lo que se puede medir con un integrador de corriente y lo que se puede medir con un detector de partículas, una cámara de ionización trabaja convenientemente, por eso, las cámaras de ionización son una herramienta interesante para trabajar en esta línea. Además, en este haz externo, conocer la distribución espacial del haz, es decir, su perfil, proporciona una información muy interesante y a veces imprescindible. Por esto, se probó una cámara de ionización diseñada en el Instituto Paul Scherrer (Suiza), que trabaja en aire y con un diseño multipixelado, que permite medir flujos entre 10<sup>2</sup>-10<sup>8</sup> protones/scm<sup>2</sup> y obtener perfiles del haz simultáneamente. Esta cámara ya había sido probada con éxito en otras instalaciones, como en UCL (Bélgica) y en Jyväskylä (Finlandia), y será usada en sus líneas de protones durante los ensayos de dispositivos electrónicos para la ESA (Figura 4.13).

<u>Test for beam diagnostic monitors. Tests of an ionization chamber</u>. For each particular experiment, the irradiation tests conditions can change drastically. For instance, the required particle flux ranges from high intensity beams (µA-nA), readily measurable

4. Investigación / Research

using a current integrator, to few particles per second (1-1000), which can be monitored directly with a particle detector. In between these values, an ionization chamber (IC) can work properly and, therefore, it would be a very useful tool for our laboratory. In 2012, an IC designed by the Paul Scherrer Institute of Switzerland has been checked in the external beam line of the cyclotron. This multipixel IC works with air at atmospheric pressure, allowing the measure of the particle flux in the range from  $10^2-10^8$  protons/scm<sup>2</sup> and, simultaneously, providing the beam profile distribution. This IC has been already checked successfully in others laboratories, like the UCL (Belgium) and Jyväskylä (Finland), and it will be used in their proton lines during the electronic devices radiation tests for the ESA (Figure 4.13).



Figura 4.13: Distribución espacial del haz de protones de 18 MeV focalizado / Spatial distribution of the focused 18 MeV proton beam

4. Investigación / Research

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

### 4.2.1 Instrumentación Nuclear / Nuclear Instrumentation

Desarrollo de sistemas de detectores para trazado de haces de partículas de los futuros aceleradores. La Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica (FNB), del Centro Nacional de Aceleradores (CNA), tiene como uno de sus objetivos fundamentales el desarrollo de instrumentación nuclear destinada a la optimización de los futuros aceleradores de partículas. En los últimos años, la Unidad FNB ha trabajado con el objetivo de aunar la experiencia de diferentes grupos de investigación en el desarrollo de instrumentación nuclear, con el fin de establecer las sinergias necesarias que permitan la colaboración para la obtención de avances tecnológicos, la formación del personal de la Unidad de FNB y finalmente para optimizar las instalaciones del CNA.

De esta manera, la Unidad trabaja en colaboración con instituciones españolas y europeas que son líderes en el desarrollo de instrumentación nuclear, en el marco de diferentes proyectos y programas de cooperación, desarrollados en los últimos años. Entre otros, caben destacar los siguientes centros de investigación: el Departamento SEDI ("Le Service d' Electronique des Détecteurs et d'Informatique") del "Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers" (IRFU) del "Commissariat a l'Energie Atomique" (CEA) de Saclay; el laboratorio GANIL "Grand Accelerateur National de Ions Lourdes", de Francia; el laboratorio GSI "Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH", de Alemania; los "Laboratori Nazionali di Legnaro del Istituto Nazionale di Fisica Nucleare" (LNL-INFN) de Italia y finalmente las redes europeas (initial training networks (ITN) de la Associación Marie Curie) "Diagnostic Techniques for future particles Accelerators NETwork" (DITANET) y "optimization of Particle Accelerators" (oPAC).

Particularmente, en los últimos años, los laboratorios de haces radiactivos GANIL y GSI han comenzado a ampliar y optimizar sus instalaciones en el contexto de los proyectos europeos "Sistème de Production d'Ions RAdiactifs en Ligne de deuxième genération" (SPIRAL II) y "Facility for Anti-proton and Ion Research" (FAIR), respectivamente. Los proyectos SPIRAL II y FAIR, prevén la construcción de nuevos aceleradores que serán usados para estudiar la estructura nuclear de nuevos isótopos como los núcleos súperpesados, los núcleos exóticos (núcleos ricos o con déficit de neutrones), o núcleos altamente deformados. Este hecho conlleva la necesidad de desarrollar una nueva generación de instrumentación para trabajar según los nuevos parámetros de dichos haces radiactivos. Un ejemplo práctico de esta necesidad está en el proyecto "Super Separator Spectrometer" (S<sup>3</sup>) de SPIRAL II, del laboratorio GANIL, en Francia. Precisamente dentro de este contexto, en el periodo 2011-2012, la Unidad FNB en conjunto con el laboratorio GANIL, han desarrollado la acción relativa a infraestructuras internacionales, bajo la referencia AIC-D-2011-0649, titulada "Desarrollo de detectores de trazado de haces para SPIRAL II" que está conectada al

4. Investigación / Research

proyecto S<sup>3</sup> de SPIRAL II, y que tiene por objetivo desarrollar detectores de trazado de haces, basados en la detección de electrones secundarios, por cámaras de gas a baja presión, para su posterior instalación en el plano focal de S<sup>3</sup>. La Unidad FNB ha orientado hacia este objetivo el trabajo de investigación (TI) para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA) y tesis doctoral de Begoña Fernández, Técnica Titulada Superior de la Unidad FNB del CNA. La propuesta de tesis doctoral de Begoña Fernández se titula "Desarrollo de un sistema de trazado de partículas para futuros aceleradores". La tesis doctoral se ha desarrollado en el periodo 2010-2012 y se prevé su defensa para 2013. La idea es que este documento de tesis doctoral sirva de base para un futuro informe técnico-científico de diseño ("Technical Design Report"-TDR) sobre detectores de trazado de haz ("Beam Tracking Detectors"-BTD) que será presentado a la colaboración europea de SPIRAL II. Esta línea de investigación y el contrato destinado a una tesis doctoral, fueron previstos y financiados por el proyecto titulado "Dispersión, Estructura y Trazado de Núcleos Exóticos e Instrumentación Nuclear" (DETNEXIN), FPA2009-08848, vigente en el periodo 2010-2013.

Dentro de esta línea de investigación se estudian los detectores gaseosos a baja presión acoplados a hojas emisoras de electrones, que actualmente componen una de las tecnologías más finas de detección. Sin embargo, este tipo de detectores no está optimizado para las altas frecuencias de conteo que están previstas para los futuros aceleradores. Ello define una de las líneas de investigación en las que está basado el estudio de diferentes prototipos de detectores de electrones secundarios (SED de "Secondary Electron Detector") de baja presión, los cuales son construidos y acoplados a las hojas emisoras de electrones. Algunos de esos prototipos de detectores se constituyen por un cátodo, dividido por pixeles, formados en una placa de circuitos impresos (PCB), acoplado a un plano de hilos conductores que constituye el ánodo. El volumen activo del detector es rellenado con gas a baja presión (4 torr). Estos detectores son conocidos como detectores de electrones secundarios bidimensionales (SED2D). Una vez finalizada la etapa de construcción de los prototipos, se realizan pruebas con fuentes radiactivas en laboratorio. Seguidamente se realizan medidas con haces de partículas pesadas de baja energía (< 1 MeV/n), con alta tasa de producción (corriente), comparables a las previstas para la generación de aceleradores que se encuentran en fase de construcción en Europa.

En la primera etapa de esta colaboración científica, fueron diseñados y construidos cuatro prototipos de pequeña área activa (7x7 cm<sup>2</sup>) basados en los conceptos descritos. Dichos detectores fueron probados con fuentes radiactivas y haces de partículas durante el periodo 2009-2012. De esta manera fueron caracterizados los mini-prototipos, alcanzando una resolución temporal del orden de 100ps, resolución espacial del orden del milímetro y la capacidad de contar hasta 10<sup>6</sup> partículas por segundo (pps).

En 2012, fue construido el primer prototipo SED2D de área activa grande (15x20 cm<sup>2</sup>) (tamaño real a ser instalado en el plano focal del S<sup>3</sup> en GANIL-SPIRAL II).

4. Investigación / Research

En el periodo 10/09/2012-14/09/2012 realizamos pruebas con un prototipo de detector SED2D, con área activa de 15x20 cm<sup>2</sup>, en el laboratorio GANIL, utilizando una fuente radiactiva de <sup>252</sup>Cf. Los análisis de datos fueron realizados por la estudiante de doctorado Begoña Fernández, en la Unidad FNB del CNA, y en colaboración con el laboratorio GANIL. Actualmente, este mismo detector, con diferentes modificaciones en su configuración, sigue siendo probado con fuente radioactiva antes de ser probado en línea de haz. Paralelamente a este trabajo, otros mini-prototipos, utilizando la tecnología micromegas, han sido construidos y probados con fuente radioactiva y también en haz. Los resultados obtenidos con los mini-prototipos con la tecnología micromegas y las pruebas de los prototipos de tamaño real (SED2D), formarán la base para la construcción del detector micromegas a baja presión en tamaño real (15x20 cm<sup>2</sup>).

Entre 16/09/2012 y 21/09/2012, fueron realizadas las primeras pruebas de trazado de partículas alfa y fragmentos de fisión con fuente radiactiva, utilizando detectores de electrones secundarios, en la línea experimental de Física Nuclear Básica (FNB) del CNA. A continuación, durante el mes de noviembre de 2012, fueron realizados los primeros experimentos de trazado de haces de iones <sup>58</sup>Ni en la línea FNB, utilizando uno de los prototipos mini-SeD y la electrónica rápida desarrollada en la Unidad FNB-CNA.

En el periodo 2011-2012 supervisamos el Trabajo Académicamente Dirigido (TAD) titulado "Montaje de experiencias de un sistema de detección de trazado de haces", de la estudiante Marina Muñoz.



Figura 4.14: (Izquierda) Distintas partes de un mini-prototipo de detector de electrones secundarios (SED). (Derecha) Montaje experimental para pruebas en la cámara de reacciones de la Unidad de Física Nuclear Básica (FNB) del CNA / (Left) Different parts of a secondary electron detector (SED) mini-prototype. (Right) Experimental setup, inside the vacuum chamber, dedicated to beam tracking development at the FNB-CNA

<u>Development of detection systems for particle beam tracking of future accelerators.</u> The Basic Nuclear Physics (FNB) Research Unit, of the National Accelerators Centre (CNA), has the objective of developing nuclear instrumentation dedicated to improve

4. Investigación / Research

future particle accelerators. Last years, the FNB Unit has worked with the aim of joining different research groups to develop nuclear instrumentation and to obtain new technologies, personnel training in the FNB Unit and finally to improve CNA facilities.

Within this framework, the FNB Unit collaborates with Spanish and European institutions, which are leaders in nuclear instrumentation development, in the context of different projects and international cooperation programs, carried out in the last years. Among others, we can point out the following research centres and laboratories: the SEDI Department ("Le Service d' Electronique des Détecteurs et d'Informatique") of the "Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers" (IRFU) of the "Commissariat a l'Energie Atomique" (CEA) at Saclay, in France; the "Grand Accelerateur National de Ions Lourdes" (GANIL) laboratory, in France; the "Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH" (GSI) laboratory, in Germany; the "Laboratori Nazionali di Legnaro del Istituto Nazionale di Fisica Nucleare" (LNL-INFN), in Italy and finally the European initial training networks (ITN) of the Marie Curie Association: "Diagnostics and Techniques for future particles Accelerators NETwork" (DITANET) and "optimization of Particle Accelerators" (oPAC).

Particularly, the radioactive ion beam (RIB) facilities GANIL and GSI have started to upgrade their installations in the context of the European projects: "Sistème de Production d'Ions RAdiactifs en Ligne de deuxième genération" (SPIRAL II) and "Facility for Anti-proton and Ion Research" (FAIR), respectively. The SPIRAL II and FAIR projects include the construction of new accelerators that will be used to study the nuclear structure of new isotopes as it is the case of super-heavy nuclei, the exotic nuclei (neutron or proton rich nuclei), or highly deformed nuclei. It implies on the need of developing a new generation of nuclear instruments to work with the new parameters of the radioactive beams. A practical example is the project "Super Separator Spectrometer" (S<sup>3</sup>) of SPIRAL II, at GANIL laboratory, in France. For this project, during the period 2011-2012, the FNB Unit, in collaboration with the GANIL laboratory, developed the international infrastructure action, with reference code AIC-D-2011-0649 titled "Development of beam tracking detectors for SPIRAL II", which had the main objective of developing beam tracking detectors (BTD), based on secondary electrons detection by low pressure gas chambers, in order to install a new BTD system in the focal plane of the S<sup>3</sup>. The FNB Unit has oriented the research work of Begoña Fernández, to obtain the Advanced Studies Diploma (DEA) and the respective doctoral thesis, within the FNB Unit, in CNA. The doctoral thesis proposal of Begoña Fernández is entitled "Development of a particle beam tracking system for future particle accelerators". Such doctoral thesis has been developed in the period 2010-2013 and it is foreseen to be defended during 2013. The idea is to use the doctoral thesis as the basis for a Technical Design Report (TDR) about advanced new Beam Tracking Detectors (BTD), which would be presented for the international collaboration around  $S^{3}$ - SPIRAL II. B. Fernandez contract is supported by the research Project entitled "Dispersion, Structure and Tracking of Exotic Nuclei and Nuclear Instrumentation", FPA2009-08848, valid in the period 2010-2013.

### 4. Investigación / Research

Within this research line, the FNB Unit studies low pressure gaseous detectors coupled to electron emissive foils, which is the thinnest known detection technology. However, this kind of detectors is not optimized to the high counting rate, which is foreseen for the future particle accelerators (10<sup>6</sup> particles per second - pps). It defines the research line based on the study of different prototypes of low pressure "Secondary Electron Detectors" (SED), which are constructed and coupled to the electron emissive foils. Some of such detectors prototypes are composed by a cathode, divided into "pixels", printed on a "printed circuit board" (PCB), coupled to a conductor wire plane that constitutes the anode. The active volume of the detector is filled with a low pressure gas (4 torr). These detectors are known as bi-dimensional (2D) "Secondary Electron Detectors" (SED2D). Once the construction of the prototypes is finished, different tests are performed, in laboratory, using radioactive sources. Afterwards, measurements, with real low energy heavy-ion beams (< 1 MeV/n) and high counting rates, are performed. Such conditions are comparable to the ones expected by the new generation accelerators, under construction in Europe.

In a first stage of such scientific collaboration, four low cost prototypes have been designed and constructed, with small active area  $(7x7 \text{ cm}^2)$ , based on the same concept. These detectors were tested with radioactive sources and particle beams, during the period 2009-2012. With beam tests, the four mini-prototypes were characterized, achieving a temporal resolution of the order of 100ps, spatial resolution of the order of 1 mm and the capability of counting  $10^6$  pps.

In 2012, the first bi-dimensional secondary electron detector (SED2D) with a real big active area (15x20 cm<sup>2</sup>) (real size expected to be installed at the focal plane of S<sup>3</sup> in the GANIL-SPIRAL II laboratory) has been constructed and tested.

In the period 10/09/2012-14/09/2012, the first experimental tests have been performed with a SED2D detector prototype with an active area of 15x20 cm<sup>2</sup>, in the laboratory GANIL, using a <sup>252</sup>Cf radioactive source. The experimental data analysis has been performed by the FNB Unit, at CNA, and with the collaboration of GANIL laboratory. Nowadays, the same detector, with different changes in its configuration, is being tested with radioactive source, before being tested in a real beam experimental line. In parallel to this job, other mini-prototypes, using the micromegas technology, have been constructed and tested with radioactive sources and real beam. The results obtained with the micromegas technology and the SED2D (real size: 15x20 cm<sup>2</sup>), with big active area, will be the basis to the construction of a real size, low pressure, micromegas.

In the period between 16/09/2012 and 21/09/2012, the first particle tracking tests have been performed in the experimental basic nuclear physics line of CNA, using alpha particles and fission fragments from radioactive sources. Such tracking has been performed using a mini-prototype (7x7 cm<sup>2</sup>) of a secondary electron detector (SED). During November 2012, the first <sup>58</sup>Ni ions beam has been tracked in the experimental

4. Investigación / Research

FNB line, using the same mini-SeD prototype coupled to a fast preamplifier developed by FNB-CNA Research Unit.

During 2011-2012 the Academically Supervised Work entitled "Experimental setup of a beam tracking detection system" has been carried out, under the FNB Unit supervision, by the Physics undergraduate student Marina Muñoz.

Desarrollo de electrónica rápida para detectores de trazado de partículas. La implementación correcta de los detectores de trazado y su utilización en trazado de haces reales de partículas, con 10<sup>6</sup> pps, conlleva el desarrollo de sistemas electrónicos suficientemente rápidos que sean capaces de procesar las elevadas corrientes detectadas. Este hecho define otra línea de investigación específica en la que ha actuado la Unidad de FNB del CNA, en el periodo 2011-2012. La Unidad FNB trabaja en colaboraciones a nivel regional con el "Consejo Superior de Investigaciones Científicas" (CSIC), concretamente con el grupo de diseño de circuitos integrados y de señal mixta (TIC-179) del "Instituto de Microelectrónica de Sevilla" (IMSE), perteneciente al "Centro Nacional de Microelectrónica" (CNM), y con el "Departamento de Electrónica y Electromagnetismo" (DEE) de la Facultad de Física de la USE. Juntos y en colaboración con el CEA-Saclay de Francia, fue desarrollado y testeado, entre 2009-2012, el primer prototipo de un preamplificador dedicado a la amplificación de señal de carga, generada en el volumen activo de un detector SED y recogida por los cátodos, en los prototipos de los detectores construidos. Todo el conjunto de conceptos, simulación, diseño, construcción y testeo de dicho preamplificador, conocido como SEDA ("Secondary Electron Detector Amplifier"), fue desarrollado como Proyecto Fin de Carrera (PFC) de la titulación de Ingeniería Electrónica, en la Escuela Superior de Ingenieros de la USE, titulado "Investigación, diseño y desarrollo de un preamplificador de señal mixta para el detector mini secondary electron detector (SED)", presentado por el ingeniero de telecomunicaciones Alejandro Garzón Camacho, del Grupo de FNB del CNA, el día 3 de diciembre de 2010. A continuación, en el periodo 2011-2012, Alejandro Garzón ha realizado un Máster en Microelectrónica concluido con el trabajo de fin de Máster titulado: "CNA-IMSE line receiver: Diseño de un receptor de línea de señal mixta para detectores de trazado de haces de partículas" defendido el día 13 de diciembre de 2012.

El contrato de Alejandro Garzón Camacho ha sido financiado por el proyecto CONSOLIDER del "Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear" (CPAN), bajo la referencia CPAN08-TS11, y definido para el periodo 2009-2013.

En 2012 se cumplió el objetivo de la línea de investigación de desarrollo de electrónica en Sevilla. Dicha electrónica es hoy una alternativa para ser acoplada a los detectores de electrones secundarios a baja presión, utilizados para medidas de trazado de haces de partículas, con elevada tasa de producción, previstos por el proyecto SPIRAL II del laboratorio GANIL.

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.15: (Izquierda) Primer prototipo de un pre-amplificador de 4 canales desarrollado para medidas de amplificación de cargas generadas en los electrodos de los prototipos de detectores de electrones secundarios. (Centro) señales de la salida del preamplificador SEDA, referentes a dos tiras del cátodo del mini-SED (rojo y amarillo). La señal verde corresponde a la señal del ánodo del detector. (Derecha) montaje experimental para pruebas en la cámara de reacción de la línea FNB-CNA / (Left) First prototype of a 4 channel preamplifier developed for charge amplification, generated in the electrodes of a secondary electron detector (SED). (Centre) output signals of a SEDA preamplifier: two different cathode strips of the mini-SED (red and yellow) and an anode signal (in green). (Right) the experimental setup inside the reaction chamber dedicated to test nuclear instrumentation in the FNB-CNA experimental line

Development of fast electronics for beam tracking detectors. For a correct performance of beam tracking detectors and their use to track 10<sup>6</sup> pps, it is necessary to develop fast electronics systems, which must be able to process such high counting rates. It defines another specific research line developed in the period 2011-2012 by the FNB Unit. During this period, the FNB Unit worked in collaboration with the "Consejo Superior de Investigaciones Científicas" (CSIC), more precisely with the research group dedicated to integrated circuits design (TIC-179) from the "Instituto de Microelectrónica de Sevilla" (IMSE), which is part of the "Centro Nacional de Microelectrónica" (CNM), and with the "Departamento de Electrónica y Electromagnetismo" (DEE) of the Physics Faculty of the Seville University (USE). Within this local/national collaboration and the international collaboration with the CEA-Saclay, in France, the first preamplifier prototype was developed and tested, between 2009-2012, which is responsible for integrate the signal generated in the active volume of a SED detector, collected by the cathodes, in the constructed detectors. All concepts, simulations, design, construction and tests of such preamplifier, known as SEDA ("Secondary Electron Detector Amplifier"), were developed as career conclusion project (PFC), of the Electronics Engineer career, in the Superior Engineering School of USE. The project was titled "Research, design and development of a preamplifier for secondary electron detectors (SED)", and presented by the Telecommunication Engineer Alejandro Garzón Camacho, of the FNB Unit, on December 3<sup>th</sup>, 2010. Following his career in the FNB group, during the period 2011-2012, A. Garzón has carried out a Master course in Microelectronics, which was concluded with the research work titled: "CNA-IMSE line receiver: Design of a line receptor for particle beam tracking detectors", defended on December 13<sup>th</sup>, 2012.

The contract of A. Garzón has been supported by a CONSOLIDER Project of the National Centre of Particles, Astroparticles and Nuclear (CPAN), under reference CPAN08-TS11, carried out during the period 2009-2013.

4. Investigación / Research

In 2012, the objective of developing, for the first time, fast electronics at the CNA, has been achieved with success. This electronics represents now an alternative to be coupled to low pressure secondary electron detectors, used to measure particle beam tracking, with high counting rate, foreseen by the SPIRAL II project of GANIL laboratory.

### 4.2.2 Instrumentación para aplicaciones médicas / Medical Instrumentation

Aplicaciones de instrumentación y reacciones nucleares en Física Médica. Entre las líneas de investigación del proyecto Europeo "Diagnostic Techniques for future particle Accelerators Network" (DITANET), referencia PITN-GA-2008-215080, desarrollado entre 2009 y 2012, estaba el desarrollo y la aplicación de instrumentación nuclear a la Física Médica. También con este objetivo, el Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear (FAMN), la Unidad de FNB del CNA, la empresa Instalaciones Inabensa S.A y el Hospital Virgen Macarena de Sevilla llevaron a cabo el proyecto titulado "Diseño y desarrollo de un nuevo sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)"-RADIA2, resultado de un acuerdo de colaboración específica entre la citada empresa Instalaciones Inabensa S.A. y la Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla (FIUS), bajo referencia contractual 68/63-0214/0129. Este proyecto fue concluido el 31/12/2011.

El sistema desarrollado mediante esta colaboración utiliza un detector de tiras de silicio, modelo W1SS-500 de la empresa Micronsemiconductors Ltd., similar a los normalmente utilizados en medidas experimentales de reacciones nucleares en las que participa la Unidad FNB. Asimismo se han diseñado y construido dos maniquíes de polietileno, uno plano de 30x30 cm<sup>2</sup> de área y uno cilíndrico de 15 cm de diámetro de base y 17 cm de altura. Para estudiar el comportamiento del sistema, entre 2009 y 2012 se llevó a cabo una campaña de medidas experimentales en el Hospital Virgen Macarena de Sevilla, irradiando el detector en el interior de cada uno de los maniquíes con haces producidos por un acelerador lineal clínico.

Con el detector en el maniquí plano y cubierto por agua sólida (un material con densidad electrónica equivalente a la del agua) se realizó una primera calibración y una caracterización del detector, estudiando propiedades como la linealidad, reproducibilidad, uniformidad de las medidas de dosis de cada una de las tiras; asimismo, medida de penumbras de los campos de radiación, dosis en función de la profundidad (con diferentes espesores de agua sólida por encima del detector), output factors...

Con el detector en el maniquí cilíndrico, primero se estudió y calibró la respuesta en función de la orientación relativa entre los ejes de los campos de radiación y las tiras del detector. Por último se hicieron medidas combinando varios campos y orientaciones, con el objetivo de obtener mapas de dosis. La innovación respecto a los sistemas existentes es que, gracias a la forma en que el detector se sitúa en el maniquí, estos mapas de dosis se obtienen en planos axiales, paralelos a los ejes de los campos de radiación en la mayor parte de los casos. Estos planos son los más relevantes en el

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

proceso de planificación del tratamiento ya que corresponden, en general, a los cortes de TAC de los pacientes.

Los resultados obtenidos con ambos maniquíes se compararon con medidas de dosis realizadas con diodos y cámaras de ionización (de uso habitual en este contexto), con cálculos del sistema de planificación de tratamientos utilizado en el Hospital Virgen Macarena, y también con simulaciones Monte-Carlo realizadas por integrantes de la colaboración RADIA2.



Figura 4.16: Imagen de un acelerador de electrones instalado en el Hospital Virgen Macarena de Sevilla / Image of a linear accelerator installed in the Virgen Macarena Hospital of Seville

La Unidad FNB del CNA ha participado en las campañas de medidas experimentales y asumido la responsabilidad de los análisis de datos tomados en el Hospital Virgen Macarena.

Este trabajo ha generado, durante 2011-2012, los siguientes resultados:

-Una solicitud de patente, expediente nº P201101009 de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).

-La tesis doctoral titulada: "2D Silicon Strip Detector to verify intensity modulated radiation therapy treatments", desarrollada y defendida por el Dr. Ziad Abou Haïdar el día 18/01/2013, obteniendo la máxima calificación (apto cum laude).

4. Investigación / Research

-Presentación en dos de las mayores conferencias internacionales del área: "European Society for RadioTherapy and Oncology" (ESTRO-2011) e "International Conference on Translational Research in Radio-Oncology and Physics for Health in Europe" (ICTR-PHE-2012). Además se ha presentado en el "II Encuentro Conjunto de las Sociedades Españolas de Física Médica y de Protección Radiológica" (Sevilla 2011).

-Finalmente, distintos aspectos del trabajo han resultado en las publicaciones internacionales: 1) Progress in Nuclear Science and Technology, Vol. 2, pp. 191-196 (2011); 2) Radiotherapy and Oncology, vol. 99, suppl. 1, p. S172 (2011); 3) Nuclear Instruments and Methods A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment-NIM A 673 (2012) 98-106. 4) Physical Review Special Topics: Accelerators and Beams 15, 042802 (2012).

Los resultados del estudio nos han animado a continuar y desarrollar el prototipo; así, desde 2012, la Unidad FNB del CNA está participando en la optimización instrumental de dicho equipo. Este proyecto está previsto como uno de los 22 sub-proyectos del proyecto europeo "optimization of Particle Accelerators" (oPAC), bajo la referencia PITN-GA-2011-289485, donde la Unidad FNB tiene la responsabilidad científica de un nuevo contrato "Early Stage Research" (ESR), financiado por la asociación Marie Curie, y previsto para el periodo 2012-2015.

Aún dentro de la investigación en Física Médica y del contexto y objetivos de los proyectos DITANET (pasado) y oPAC (futuro), el 06 de mayo de 2010, la Unidad de Investigación de FNB del CNA inició su participación en la colaboración internacional "Fragmentation of Ions Relevant for Space and Therapy – FIRST". Así, entre 2010 y 2012 dicha colaboración ha reunido los laboratorios INFN de Italia, CEA-Saclay de Francia, GSI de Alemania y la USE/CNA de Sevilla (España).

Como parte de la colaboración científica FIRST, la Unidad FNB ha asumido la responsabilidad de puesta a punto de detectores de partículas y electrónica, además de participar en experimentos. El primer experimento ha sido realizado en agosto de 2011 en el laboratorio GSI de Alemania. Parte del trabajo de análisis de los datos de los detectores monitores del trazado de haz consistió en el proyecto del segundo y tercer año de contrato post-doctoral del Dr. Alessio Bocci, en la Unidad FNB, del CNA. Este proyecto también ha abarcado parte de la formación prevista para Ziad Abou-Haïdar por el proyecto DITANET, durante el periodo 2011-2012, y para que el estudiante Juan Pablo Fernández García pudiera acceder al título de doctorado Europeo en 2012.

Como profesores del Máster de Física Médica y coordinadores de la asignatura "Detección y Medidas de la Radiación Ionizante" (DMRI), miembros de la Unidad FNB han supervisado el Trabajo/Proyecto de Fin de Máster "Detectores semiconductores de silicio aplicados a la Física Médica" desarrollado y defendido por el estudiante Manuel Ruíz Prieto, en la Facultad de Física de la Universidad de Sevilla, año 2011-2012, obteniendo una calificación de sobresaliente.

4. Investigación / Research

En los días 07 y 08 de noviembre de 2011, la Unidad FNB ha organizado el "6<sup>th</sup> DITANET Topical Worskhop on Particle Detection Techniques" y a continuación, entre los días 09/11/2011 y 11/11/2011 la conferencia internacional "DITANET International Conference: Accelerator instrumentation and Beam Diagnostics".

Nuclear reactions and instrumentation applied to Medical Physics. One of the research lines of the European project "Diagnostic Techniques for future particle Accelerators NETwork" (DITANET), under reference PITN-GA-2008-215080, developed between 2009 and 2012, was the development and application of nuclear instrumentation in the Medical Physics field. Within the same objective, the Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics (FAMN), the CNA–FNB Unit, the company Instalaciones Inabensa S.A. and the Virgen Macarena Hospital of Seville, carried out the Project titled "Design and development of a new detection system for intensity modulated radiotherapy (IMRT) treatment verification"-RADIA2, which is a specific collaboration agreement between Instalaciones Inabensa S.A. and the Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla (FIUS), under the contractual reference 68/63-0214/0129. This project has been concluded on December 31<sup>th</sup>, 2011.

The system developed within this collaboration uses a silicon strip detector (SSD), model W1SS-500 by Micron Semiconductors Ltd., similar to those normally used by the FNB group in nuclear reaction experimental measurements. Besides, two polyethylene phantoms have been designed and built: a slab phantom with 30x30 cm<sup>2</sup> area, and a cylindrical one with 15 cm base diameter and 17 cm high. In order to study the system performance, experimental measurements were carried out during 2009-2012 in the Virgen Macarena Hospital of Seville, irradiating the detector inside each of the phantoms with beams produced by a clinical linear accelerator.

With the detector placed in the slab phantom and covered by solid water (a material with electronic density similar to that of water) a first calibration and characterization were done, studying properties such as linearity, reproducibility, uniformity of the dose measurements of each detector strip; and measuring radiation field penumbra, percent depth doses (with different depths of solid water covering the detector), output factors...

With the detector inside the cylindrical phantom, the response of the detector was studied and calibrated as a function of orientation between the radiation field axes and detector strips. Finally, measurements combining several fields and orientations were carried out, aiming to obtain absorbed dose maps. As an innovation relative to previously existing systems, the detector plane was positioned parallel to the beam axis, thus obtaining dose maps in axial planes, parallel to radiation field axes in most cases. These planes are the most relevant for treatment planning, since they generally correspond to CT image slices of the patient.

4. Investigación / Research

The results obtained with both phantoms were compared to dose measurements with diodes and ionization chambers, to Treatment Planning System (TPS) calculations, and also to Monte Carlo simulations performed by members of the RADIA2 collaboration.

The FNB-CNA Unit has participated in the complete set of experimental measurements and assumed the responsibility of analyzing data, obtained in the Virgen Macarena Hospital.

*This work has generated, during 2011-2012, the following results:* 

-A patent application, expedient number P201101009 of the "Oficina Española de Patentes y Marcas" (OEPM).

-Presentation in two of the main international conferences of the field: "European Society for RadioTherapy and Oncology" (ESTRO-2011) and "International Conference on Translational Research in Radio-Oncology and Physics for Health in Europe" (ICTR-PHE-2012). Besides, it has been presented in the "II Encuentro Conjunto de las Sociedades Españolas de Física Médica y de Protección Radiológica" (Seville 2011).

-Finally, different aspects of this work have been published in different indexed reviews: 1) Progress in Nuclear Science and Technology, Vol. 2, pp. 191-196 (2011); 2) Radiotherapy and Oncology, vol. 99, suppl. 1, p. S172 (2011); 3) Nuclear Instruments and Methods A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment-NIM A 673 (2012) 98-106; 4) Physical Review Special Topics: Accelerators and Beams 15, 042802 (2012).

Since 2012, the FNB Unit participates in the optimization and improvement of this instrumentation and method for complex radiotherapy treatment verification. Such project is one of the 22 sub-projects of the European project "optimization of Particle Accelerators" (oPAC), under reference PITN-GA-2011-289485, where the FNB Unit has the scientific responsibility of a new contract "Early Stage Research" (ESR) supported by the Marie Curie Association and foreseen to be developed during the period 2012-2015.

Still in the Medical Physics research and in the context and objectives of the DITANET Project (past) and oPAC (future), on May 6<sup>th</sup>, 2010, the CNA-FNB Unit started its participation in the international collaboration "Fragmentation of Ions Relevant for Space and Therapy-FIRST". Thus, from 2010, and during 2011 and 2012, the FIRST collaboration joins the laboratories: INFN of Italy, CEA-Saclay of France, GSI of Germany and the USE/CNA of Seville-Spain.

As part of the scientific collaboration FIRST, the FNB Unit has assumed the responsibility of setting up particle detectors and electronics, besides participating in experiments. The first experiment has been performed on August 2011, at the GSI laboratory, in Germany, and has counted on the FNB Unit participation. Part of the data analysis of beam tracking monitors was carried out by Dr. Alessio Bocci, during his contract/project (as Experienced Researcher-ER) associated to the DITANET project, during the period 2011-2012. This project has also provided part of Ziad Abou-Haïdar's

4. Investigación / Research

training (also within DITANET), and has allowed Juan Pablo Fernández García access to a European Doctorate in 2012.

Members of the FNB Group contribute to the Medical Physics Master program (2011-2012) and have supervised the Master project entitled: "Silicon semiconductors detectors applied to the Medical Physics", by Manuel Ruíz Prieto.

During November 7<sup>th</sup> and 8<sup>th</sup>, 2011, the CNA–FNB Unit has organized the "6<sup>th</sup> DITANET Topical Worskhop on Particle Detection Techniques" and afterwards, between November 9<sup>th</sup> and 11<sup>th</sup>, 2011, the international conference titled "DITANET International Conference: Accelerator instrumentation and Beam Diagnostics".

## **4.2.3** Estudio de reacciones nucleares con núcleos estables y exóticos / Nuclear Reactions with stable and exotic nuclei

Los estudios y avances obtenidos por la Unidad de Investigación FNB, para el núcleo exótico <sup>6</sup>He, durante la pasada década, han sido la base para nuevos estudios sobre núcleos exóticos como <sup>8</sup>He, <sup>9,11</sup>Li, <sup>10,11</sup>Be, que conforman una de las líneas de investigación de esta Unidad. Esta investigación ha proporcionado las siguientes publicaciones sobre el núcleo <sup>8</sup>He: "Scattering of <sup>8</sup>He on <sup>208</sup>Pb at Energies around the Coulomb Barrier" y "Fusion of <sup>8</sup>He with <sup>206</sup>Pb around Coulomb barrier energies" publicados, respectivamente, en las revistas Acta Physica Polonica B 43 (2012) 239-245 y en European Physics Journal Web Conf.v.17-16009 (2011); Proc. 5<sup>th</sup> International Conference of Fusion11.

Los estudios de dispersión de <sup>11</sup>Li por blancos pesados permiten investigar el fenómeno de polarizabilidad dipolar en núcleos exóticos. Los núcleos débilmente ligados, bajo la acción del intenso campo eléctrico de un núcleo blanco pesado durante un proceso de dispersión, pueden distorsionarse y llegar a romperse. El análisis detallado de las secciones eficaces de dispersión elástica y de ruptura puede proporcionar valiosa información experimental sobre el acoplamiento dipolar eléctrico entre el estado fundamental poco ligado y los estados de baja energía del continuo.

En el periodo 2009-2012, la Unidad FNB, ha sido responsable de los análisis de datos experimentales de las medidas de dispersión elástica y de ruptura en las reacciones <sup>9,11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb. Dichos datos se obtuvieron en experimento E1104, realizado en el laboratorio TRIUMF, en Canadá, entre julio y octubre de 2008. Este experimento fue realizado por una colaboración internacional, liderada por la Unidad FNB del CNA, IEM-CSIC Madrid y U. Huelva, con participación de U. Sevilla, TRIUMF (Canadá), INFN Catania (Italia), U. York (Reino Unido), U. St Mary (Canadá), U. Aarhus (Dinamarca), CFNUL (Portugal), U. Edinburgh (Reino Unido), U. Chalmers (Suecia), y CICANUM (Costa Rica). La Unidad FNB ha participado en el experimento y supervisado los análisis de datos experimentales como parte de la tesis doctoral de Juan Pablo Fernández García, titulada: "Análisis de los canales de ruptura de la reacción <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb a energías en torno de la barrera coulombiana". Dicha tesis doctoral fue defendida y aprobada (cum laude) el día 29/11/2012. El análisis de los datos del experimento E1104 ha dado lugar

4. Investigación / Research

a 2 artículos en Physical Review Letters. Los resultados indican un acoplamiento dipolar muy fuerte con el continuo de baja energía, sugiriendo la presencia de una resonancia de energía muy baja en el <sup>11</sup>Li.



Figura 4.17: Dispositivo experimental para el experimento S1202 en TRIUMF. Arriba a la izquierda se muestran el blanco y los detectores de Si para partículas. Arriba a la derecha, la línea de haz y la cámara de dispersión. Abajo se muestra el conjunto de detectores de Ge usados para detectar gammas / Experimental setup for the S1202 experiment at TRIUMF. The upper left figure shows the target and the Si particle detectors. The upper right figure shows the beam line and the scattering chamber. The lower figure shows the Ge detector array used to detect gammas

4. Investigación / Research

The studies and advances obtained by the FNB unit, about the <sup>6</sup>He exotic nucleus, during the last decade, are now the basis to study other exotic nuclei like: <sup>8</sup>He, <sup>9,11</sup>Li, <sup>10,11</sup>Be, which compose another research line of this Unit. Such research line has allowed the following recent publications about the <sup>8</sup>He: "Scattering of <sup>8</sup>He on <sup>208</sup>Pb at Energies around the Coulomb Barrier" y "Fusion of <sup>8</sup>He with <sup>206</sup>Pb around Coulomb barrier energies" published, respectively, in Acta Physica Polonica B 43 (2012) 239-245 and in European Physics Journal Web Conf.v.17-16009 (2011); Proc. 5<sup>th</sup> International Conference of Fusion11.

The study of <sup>11</sup>Li scattering on heavy targets is directed to investigate the phenomenon of dipole polarizability in exotic nuclei. Weakly bound nuclei, when they are subjected to the strong electric field of a heavy target nucleus during a scattering process, can distort, and eventually break up. The detailed analysis of the elastic scattering and the break-up cross sections can provide unique experimental information about the electric dipole coupling of the weakly bound ground state to the low energy continuum states.

During the period 2009-2012, the FNB Unit has been responsible by the experimental data analysis of the break up processes in the nuclear reactions <sup>9,11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb. Such data resulted from the E1104 experiment performed at TRIUMF laboratory in Canada, on July and October, 2008. The E1104 experiment was carried out by an international collaboration, led by the FNB Unit of CNA, IEM-CSIC Madrid and U. Huelva, with participation of U. Sevilla, TRIUMF (Canada), INFN Catania (Italy), U. York (UK), U. St Mary (Canada), U. Aarhus (Denmark), CFNUL (Portugal), U. Edinburgh (UK), U. Chalmers (Sweden), and CICANUM (Costa Rica). The FNB unit has taken part in the experiment and supervised the data analysis as part of the doctoral thesis of Juan Pablo Fernández García, entitled: "Analysis of break up cannel in the nuclear reaction <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb at energies around the Coulomb barrier". This doctoral thesis was defended on November 29<sup>th</sup> 2012. The analysis of the experimental data of the E1104 experiment has given rise to two papers published in Physical Review Letters. The results indicate a very strong dipole coupling to the low energy continuum, suggesting the presence of a very low energy resonance in <sup>11</sup>Li.

The success of the <sup>11</sup>Li experiment led to a new proposal, to measure the scattering of <sup>11</sup>Be+<sup>208</sup>Pb. This experiment had the motivation of investigating the strong dipole coupling not only to the <sup>11</sup>Be continuum, but also to an extremely low energy bound state in <sup>11</sup>Be. The experimental setup required the combination of charge particle and gamma ray detectors, acting in coincidence. The same international collaboration, led by the FNB Unit of CNA, IEM-CSIC Madrid and U. Huelva, got the experiment <sup>11</sup>Be+<sup>208</sup>Pb, under reference S1202, approved and performed it at the TRIUMF laboratory, in Canada, on June and July, 2012. The data analysis of the S1202 experiment is in progress, and from the comparison of the cross sections of <sup>11</sup>Be+<sup>208</sup>Pb with the ones of <sup>6,8</sup>He+<sup>208</sup>Pb, and <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb we should see whether a global scaling property observed in the break-up cross sections allows to establish a new procedure to obtain experimentally dipole coupling to the continuum in weakly bound exotic nuclei.

4. Investigación / Research

### 4.2.4 Física y Tecnología de Neutrones / Neutron Physics and Technology

<u>Medida de secciones eficaces inducidas por neutrones en el CNA: Astrofísica y</u> <u>validación de datos nucleares.</u> La generación de espectros maxwellianos (o estelares) de neutrones es de utilidad fundamental para astrofísica, para la validación de datos nucleares evaluados con aplicaciones en diferentes campos, y para comprobar hasta qué punto puede simularse el transporte de neutrones mediante datos y herramientas computacionales.

Centrándonos primero en astrofísica: en escenarios estelares donde tiene lugar nucleosíntesis mediante capturas neutrónicas, la materia estelar puede describirse como un gas en equilibrio termodinámico a una temperatura T; las partículas se termalizan rápidamente mediante dispersión elástica y su distribución de velocidades es de Maxwell-Boltzmann. La probabilidad máxima corresponde a la energía térmica kT, que depende de la masa y del estado de evolución de la estrella y esto, por tanto, determina la tasa de reacción de producción de neutrones. La sección eficaz denominada MACS (Maxwellian-averaged cross-section) se puede medir mediante activación de una muestra, en cuya posición se genera un espectro maxwelliano de neutrones; esto puede obtenerse con un haz de protones que siga una distribución gaussiana cercana al umbral de la reacción <sup>7</sup>Li(p,n)<sup>7</sup>Be. Recientemente se ha demostrado que, reduciendo el ángulo de integración o equivalentemente aumentando la distancia del blanco a la muestra, es posible generar espectros maxwellianos de neutrones con valores de kT entre 30 y 60 keV. Actualmente está en marcha una validación completa de este método, gracias al experimento aprobado en el seno del proyecto europeo EUFRAT y del que J. Praena es el Spokesperson. Además, en el tándem de 3 MV del CNA se han realizado varias medidas de MACS de distintos isótopos mediante la técnica de activación. La primera de ellas ha sido la MACS a Kt = 30 y 55 keV de la reacción  $^{181}$ Ta(n,y), usando  $^{197}$ Au(n,y) como referencia. Las razones de elegir como primer blanco el <sup>181</sup>Ta son: activación y decaimiento  $\beta$  relativamente simples, MACS elevada, muestra disponible comercialmente, y abundancia de datos experimentales con los que comparar, obtenidos mediante diversas técnicas.

<u>Measurement of neutron stellar cross-sections at CNA: Nuclear Astrophysics and</u> <u>validation of evaluated nuclear data.</u> Neutron integral experiments, where Maxwell-Boltzmann (or stellar) neutron spectra are generated, play a central role in nuclear astrophysics, validation of evaluated nuclear data of interest in different fields and in checking how well neutron transport can be simulated with computational tools and data.

Regarding astrophysics, at stellar sites where the nucleosynthesis of the elements by neutron captures takes place, stellar matter can be described as a gas is thermodynamic equilibrium, the particles are quickly thermalized through elastic scattering and the associated velocity probability distribution is a Maxwell-Boltzmann distribution. The maximum probability corresponds to the temperature (T) of the stellar medium (or thermal energy kT) depending on the mass and evolutionary stage of the star, and consequently determining the neutron production reaction rates. The

### 4. Investigación / Research

Maxwellian-averaged cross-section (MACS) can be measured by activation providing a maxwellian neutron spectrum at the sample position, which can be obtained with a proton beam shaped to a Gaussian-like distribution close to the threshold of the <sup>7</sup>Li(p,n)<sup>7</sup>Be reaction. Recently, it has been shown how maxwellian neutron spectra at kT ranging from 30 to 60 keV can be generated reducing the integration angle or equivalently incrementing the target to-sample distance. A complete experimental validation of the method is in progress, thanks to the experiment approved by the EUFRAT project in which J. Praena is the Spokesperson. Moreover, several measurements of the MACS of different isotopes have been performed at the 3 MV Tandem of the CNA by the activation technique. The first experiment was the measurement of the MACS at kT = 30 and 55 keV of the <sup>181</sup>Ta(n, $\gamma$ ) reaction using the <sup>197</sup>Au(n, $\gamma$ ) as reference. The reasons for the selection of <sup>181</sup>Ta as first target with our method are: relative simple activation and  $\beta$ -decay, high MACS, commercially available sample, and abundance of experimental data obtained with different techniques for comparison purposes.

Producción de nuevos radioisótopos para radioterapia. Ho(p,n) y Tb(p,n). En julio de 2012, el Grupo de FNB y Nataliia Dzysiuk realizaron dos experimentos para la medida de las secciones eficaces integrales de Ho(p,n) y Tb(p,n). Ho y Tb son elementos de potencial interés para radioterapia. Los datos obtenidos incrementarán aquellos presentes en las librerías EXFOR, que son escasos, solo dos, y no coincidentes. Los experimentos consistieron en la irradiación con protones de dichas muestras. La energía elegida fue la máxima disponible en ese momento con el tándem de 3 MV del CNA, 5.6 MeV. La sección eficaz puede obtenerse directamente con la desintegración mediante captura electrónica. Dichas desintegraciones se midieron con los detectores HPGe y Le2 (germanio para rayos-X) del CNA. Actualmente se están analizando los resultados.

<u>Production of new radioisotopes for radiotherapy. The Ho(p,n) and Tb(p,n) reactions.</u> In July 2012, the FNB Group with Nataliia Dzysiuk performed two experiments for measuring the integral cross-sections of Ho(p,n) and Tb(p,n) reactions. Ho and Tb are isotopes of potential interest for radiotherapy. The data obtained will increase those present in the EXFOR libraries, which are scarce and mismatched. The experiments consisted in the proton irradiation of the samples. The energy chosen was the maximum available at the moment at 3 the MV Tandem at CNA, 5.6 MeV. The cross section can be obtained directly by electron capture decay. These decays were measured with HPGe and Le2 (germanium X-ray) detectors. The analysis of the results is in progress.

<u>Caracterización mediante RBS y PIXE en el CNA de muestras de <sup>33</sup>S. Experimento-test</u> para la medida de la sección eficaz <sup>33</sup>S(n, $\alpha$ ) en n TOF del CERN. Recientemente el <sup>33</sup>S ha sido propuesto como diana cooperativa con el <sup>10</sup>B en la terapia por captura de neutrones (NCT) para el tratamiento de algunos tipos de cáncer. Hasta el momento la BNCT ha tenido solo un éxito moderado y se espera que las mejores propiedades biológicas y químicas del <sup>33</sup>S pudiesen aumentar la calidad de dicha terapia, aún en

4. Investigación / Research

fase de estudio y desarrollo. Con esta motivación, J. Praena presentó una Letter of Intent al Comité ISOLDE-n\_TOF del CERN (Suiza) para la medida de la sección eficaz <sup>33</sup>S(n, $\alpha$ ) haciendo uso de un detector micromegas ya presente en n\_TOF, pero para el cual era necesario realizar algunas modificaciones. Las muestras de <sup>33</sup>S y <sup>10</sup>B utilizadas en el experimento-test realizado en noviembre de 2011 fueron caracterizadas en 2011 en el CNA en la línea a 0° haciendo uso de las técnicas de RBS y PIXE. Los resultados obtenidos confirman la utilidad de dichas técnicas para la caracterización definitiva de las muestras de <sup>33</sup>S y <sup>10</sup>B utilizadas en el experimento realizado durante 6 semanas en n\_TOF-CERN (octubre-diciembre de 2012). Para la realización de los RBS-PIXE se contó con la colaboración del Grupo de IBA del CNA.

<u>RBS-PIXE characterization of</u> <sup>33</sup><u>S samples at CNA: measurement of the 33S(n, $\alpha$ ) cross-</u> <u>section at CERN.</u> <sup>33</sup><u>S</u> recently has been proposed as cooperative target with <sup>10</sup><u>B</u> in neutron capture therapy (NCT) for the treatment of some type of cancers. So far BNCT has had only moderate success and it is hoped that the best biological and chemical properties of the <sup>33</sup><u>S</u> could increase the quality of such therapy, still under study and development. With this motivation a Letter of Intent and later a proposal of experiment to the ISOLDE-n\_TOF Committee of CERN (Switzerland) was submitted to measure the cross section <sup>33</sup><u>S</u>(n, $\alpha$ ) using a Micromegas detector. The samples used in the experiment conducted in November 2011 were characterized in 2011 at CNA with the RBS and PIXE techniques. The results confirm the usefulness of these techniques for definitive characterization of samples <sup>33</sup><u>S</u> and <sup>10</sup><u>B</u> used in the experiment performed at n\_TOF-CERN in the period from October to December 2012. The realization of the RBS-PIXE was performed in collaboration with the IBA Group at CNA.

Diseño y desarrollo de un sistema de refrigeración para blancos portátil y adaptable a diferentes líneas de los aceleradores del CNA. Para los diferentes experimentos de activación que se han realizado en el CNA se ha diseñado y realizado diferentes sistemas de soporte y refrigeración. El diseño ha corrido a cargo de J. Praena y la realización se ha realizado en el taller la Facultad de Físicas. La idea principal de los diseños ha sido, además de la alta disipación de calor generado por la incidencia del haz, la versatilidad (posibilidad de acoplarse a diferentes líneas, sean del Tándem como del Ciclotrón), así como que el dispositivo tenga la menos masa posible.

Un dispositivo de este tipo se utilizará para el proyecto RADLAB. Uno de los objetivos de este proyecto es realizar irradiaciones con fotones, protones y neutrones a dispositivos electrónicos de uso en aviónica y satélites. En cuanto a los neutrones se puede realizar estudiar los daños conocidos como SEU (single event upset) y SEFI (single event functional interrupt) mediante neutrones de 14 MeV. Dichos neutrones se pueden generar mediante la reacción  ${}^{3}H(d,n)^{4}He$ . El uso de tritio ( ${}^{3}H$ ) es crítico en cuanto a norma de radioprotección. Por ello en una primera fase se realizarán estudios con neutrones de 9 MeV que pueden producirse con  ${}^{2}H(d,n)^{3}He$ , teniendo especial atención a la producción de tritio mediante la reacción  ${}^{2}H(d,p)^{3}H$ .

4. Investigación / Research

Durante 2011 y 2012 se ha realizado el diseño del montaje experimental que consistirá en: blanco de deuterio sólido (TiD2) y un sistema de pulsación que debe acoplarse al ciclotrón para poder medir el espectro neutrónico mediante la técnica TOF. Ya se han realizado pruebas con éxito de dicho sistema en el acelerador CN de los LNL-INFN (Italia). En estas pruebas ha colaborado J. Praena, del Grupo FNB.



Figura 4.18: Diseño y desarrollo de una línea de neutrones rápidos para el estudio del daño en dispositivos (RADLAB) / Designing and performing preliminary tests of a fast neutron line at the cyclotron of CNA (RADLAB)

<u>Designing and constructing a backing-cooling system to be used in different</u> <u>experimental lines at CNA.</u> For the different activation experiments performed at CNA a backing-cooling device has been designed by J. Praena. The final prototype was constructed at the mechanical workshop of the Physics Faculty of the University of Seville. The principal properties are: high power dissipation, versatility, low-mass device.

This kind of device will be the base for future backing-cooling system as such of the RADLAB project. The aim of the RADLAB project is to perform photon, proton and neutron irradiation of electronics devices. Regarding the neutron part, the SEU (single event upset) and SEFI (single event functional interrupt) can be studied by means 14 MeV neutrons. Such neutrons are produced with the  ${}^{3}H(d,n){}^{4}He$ . Tritium ( ${}^{3}H$ ) is critical

4. Investigación / Research

in term of radioprotection rules. In consequence, a first stage will consist in the study of SEU ans SEFI with 9 MeV neutrons produced with the  ${}^{2}H(d,n)$   ${}^{3}He$  reaction.

During 2011 and 2012, the experimental setup has been designed: deuterated solid target (TiD2) and a pulsing system to be accomplished to the cyclotron will be the main parts of the setup. The pulsing system will allow measuring the quasi monoenergetic neutron spectrum by the TOF technique. A similar system has been successfully tested at the CN accelerator of the LNL-INFN (Italy), with the participation of J. Praena, of the FNB Group.

4. Investigación / Research

## 4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit

### 4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy

<u>Estudio de estabilidad in vitro del radiofámaco [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborato sódico ([<sup>18</sup>F]-TFB) a 10 horas.</u> El [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborato sódico ([<sup>18</sup>F]-TFB) ha demostrado ser un buen radiotrazador PET, que se capta bien por el cotransportador de sodio/iodo en roedores. La imagen de este simporte puede ser útil en la caracterización del cáncer de tiroides. El objetivo de este estudio fue la evaluación de la estabilidad de una solución de [<sup>18</sup>F]-TFB a 10 horas después de la síntesis, determinando la pureza radioquímica, las variaciones de pH, del aspecto visual, y comparando las imágenes PET/TAC a fin de síntesis y 10 horas después de la producción.

Se sintetizaron 3 lotes de [<sup>18</sup>F]-TFB mediante marcaje por intercambio isotópico en un módulo Tracerlab<sup>®</sup> FXFN y purificación por cartuchos de extracción en fase sólida. El [<sup>18</sup>F<sup>-</sup>] se obtuvo del bombardeo en el Ciclotrón Cyclone 18/9 del CNA (25 minutos, intensidad de corriente: 35  $\mu$ A, corriente integrada: 13  $\mu$ Ah).

La concentración radiactiva a fin de síntesis se ajustó a 500 MBq/mL en cada lote. Se llevó a cabo el control de calidad de cada lote a fin de síntesis y 10 h después, comprobando el aspecto de la solución, la ausencia de partículas, pH y pureza radioquímica mediante HPLC.

Se inyectaron 50 MBq de solución de [<sup>18</sup>F]-TFB a dos ratas Wistar hembras, mediante la vena dorsal de la cola al cabo de 1 y 10 h. Las imágenes PET/TAC se adquirieron tras 40 minutos de incorporación. Los parámetros de adquisición fueron: 3 camas de 10 minutos, empezando por la cabeza. Se adquirieron imágenes TAC de cuerpo entero para la orientación anatómica.

No se encontraron diferencias significativas en el pH, aspecto visual ni en la pureza radioquímica (superior al 99%) a las 10 horas de la síntesis. Las imágenes PET/TAC de los animales inyectados con [<sup>18</sup>F]-TFB a 1 y 10 horas muestran el mismo comportamiento. No hay captación de flúor libre en hueso, debido a la descomposición de la molécula. Esta estabilidad in vitro permite el uso del mismo lote de radiofármaco para varios pacientes, y permitiría el desarrollo industrial, en caso de interés.

<u>In vitro stability of Na[<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate ([<sup>18</sup>F]-TFB) at 10 hours.</u> [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate has been found as a PET imaging agent, actively taken up by the sodium/iodide symporter (NIS) in rodents. Imaging of human target (hNIS) would be useful in the characterization of thyroid cancer. The aim of the study was to evaluate the stability of a solution of [<sup>18</sup>F]-TFB at 10 hours after synthesis, determining radiochemical purity and variations in pH or visual aspect, and comparing PET/CT images immediately after synthesis and images at 10 hours after production.

4. Investigación / Research

3 batches of  $[{}^{18}F]$ -TFB were synthesized by isotopic exchange labeling in a Tracerlab <sup>\*</sup> FXFN module and purified by solid phase extraction cartridges.  $[{}^{18}F]$  was obtained from the CNA Cyclon 18/9 Cyclotron, with 25 minutes of bombardment, beam current: 35  $\mu$ A and integrated current 13  $\mu$ Ah.

The radioactive concentration at end of synthesis (EOS) was adjusted to 500 MBq/mL in every batch. Quality control was performed at EOS and 10 h after, testing the solution aspect, absence of particles, pH and radiochemical purity by HPLC.

50 MBq of [<sup>18</sup>F]-TFB solution were injected in two female Wistar rats by the tail vein at 1 and 10 hours after synthesis. PET images were acquired after 40 minutes of incorporation. The parameters were: 3 bed positions, 10 minutes each, starting from the head. CT full body images were acquired afterwards for anatomical orientation.

No significant variations were found in pH, visual aspect or radiochemical purity (higher than 99%) at ten hours after synthesis. PET/CT images of the animals injected with [<sup>18</sup>F]-TFB one hour after synthesis and ten hours later show the same pattern, especially no [<sup>18</sup>F] uptake in bones, due to decomposition of the substance. This in vitro stability permits the use of the same batch of radiopharmaceutical for several patient doses, and would let industrial development, in case of interest.

<u>Marcaje radiactivo de nuevas moléculas.</u> Además de las síntesis de radiofármacos de investigación ya conocidos como la [<sup>18</sup>F]-Fluorotimidina ([<sup>18</sup>F]-FLT, marcador de proliferación celular), el [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-FMISO, marcador de hipoxia), la [<sup>11</sup>C]-Metionina (imagen de tumores cerebrales), la ([<sup>11</sup>C]-Colina (cáncer de próstata) y [<sup>18</sup>F]-TFB, se están llevando a cabo marcajes de nuevas moléculas en colaboración con distintos grupos de investigación.

Con el Centro de Investigaciones Clínicas 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 (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 la molécula, sintetizados a partir de ioduro de metilo radiactivo ([<sup>11</sup>C]-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.

Paralelamente se está desarrollando el método de marcaje de otros derivados, también en fase de patente, mediante sustitución nucleofílica con [<sup>18</sup>F<sup>-</sup>] con el mismo

fin, pero que permitirían estudios PET/TAC más prolongados, por la mayor semivida del <sup>18</sup>F (109 minutos) frente a la del <sup>11</sup>C (20.4 minutos).

El CNA colabora con la Facultad de Químicas de la Universidad de Sevilla y el Instituto de Investigaciones Químicas del CSIC en la obtención de un radiofármaco PET que permita realizar estudios de biodistribución de una nueva molécula (patente PCT/ES2009/070449) de tratamiento de las variedades neuronopáticas de la Enfermedad de Gaucher.

<u>Radioactive labeling of new compounds.</u> In addition to the synthesis of well-known research radiopharmaceuticals, such as [<sup>18</sup>F]-Fluorothymidine ([<sup>18</sup>F]-FLT), [<sup>18</sup>F]-Fluoromisonidazol ([<sup>18</sup>F]-FMISO), [<sup>11</sup>C]-Methionine, ([<sup>11</sup>C]-Choline and [<sup>18</sup>F]-TFB, we are working in the labeling of new molecules, cooperating with different research groups.

With the Clinical Research 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 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 [<sup>11</sup>C]-MeI. Currently we are performing biodistribution studies in little experimental animals in order to do further studies with mouse animal models of AD.

At the same time, we are developing the labeling method for other derivatives, also in patent, by nucleophilic substitution with  $[^{18}F]$  to let longer studies, because of the longer half-life of  $^{18}F$  (109 minutes) vs  $^{11}C$  half-life (20.4 minutes)

CNA in collaboration with the Faculty of Chemistry (University of Seville) and Institute for Chemical Research (IIQ) of the Spanish National Research Council (CSIC) works to get a new PET radiotracer for PET imaging biodistribution studies of a new molecule (number of patent PCT/ES2009/070449) for treatment of some neuropathic forms of Gaucher Disease.

<u>Determinación de contaminantes en el agua irradiada del Ciclotrón.</u> Junto con la Unidad de investigación IBA del CNA y la empresa IBA se están llevando a cabo determinaciones de los contaminantes del agua irradiada en los bombardeos del Ciclotrón del Centro.

La industria farmacéutica, concretamente los usuarios de targets de niobio encuentran el inconveniente de la reducción importante del rendimiento en las síntesis de [<sup>18</sup>F]-FDG cuando se bombardea a intensidades superiores a las habituales, pero dentro de las especificaciones del fabricante, durante tiempo prolongado (Para más información,

4. Investigación / Research

ver el apartado 4.1.2: Medida de la composición de agua (enriquecida en <sup>18</sup>O) irradiada).

<u>Identification of contaminants in Cyclotron-irradiated water.</u> Collaborating with the IBA Research Unit of the CNA and IBA Company we are determining contaminants in cyclotron-irradiated water.

Pharmaceutical industry, using Nb targets find the problem of lower yields in FGD synthesis when they use high intensity bombardments to get more [<sup>18</sup>F] (More information in section 4.1.2: Compositional analysis of <sup>18</sup>O enriched water irradiated at the Cyclotron).

<u>Validación de la Unidad de Radiofarmacia.</u> En colaboración con la Unidad de Radiofarmacia del Hospital Universitario Virgen del Rocío, se está llevando a cabo la validación de la Unidad de Radiofarmacia, que permitirá el uso en humanos de los radiofármacos de investigación que se sintetizan en los laboratorios de Radiofamacia del CNA, pasando así de la investigación preclínica a la clínica.

El proceso de validación comprende la cualificación de las instalaciones (IQ), cualificación de operaciones (OQ) y cualificación de procesos (PQ), además de la elaboración de un Plan de Calidad y procedimientos normalizados de trabajo.

Además de la autorización de la Unidad por parte de la Consejería de Salud, el objetivo de la validación es la consecución de la certificación de cumplimiento de las Normas de Correcta Fabricación de Medicamentos que otorga la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS), aplicable a la fabricación de medicamentos inyectables.

<u>Validation of Radiopharmacy Unit.</u> With the Radiopharmacy Unit of University Hospital Virgen del Rocío, we are working in the validation process of our Radiopharmacy Unit, which will allow the human use of the radiopharmaceuticals we produce, authorizing the shift from the preclinical to clinical investigation.

Validation process includes installations qualification (IQ), operation qualification (OQ) and processes qualification (PQ), as well as the Quality Plan and standard operation procedures.

In addition to the authorization of the Unit by the regional health authorities, the validation's objective is to get the Good Manufacturing Practices (GMPs) Certificate for injectable drugs, given by State Agency AEMPS.

### **4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging**

Imagen multimodal en vivo de glioma GL261 en ratones con PET/RMI/TAC. Nuestro objetivo fue la determinación del tamaño del tumor "in vivo" para monitorizar la terapia de gliomas intracraneales en modelos murinos. El método previo de examinar

4. Investigación / Research

en fluoroscopio cortes de cerebro transfectados con fluoresceína (GFP) no permitía la monitorización de la terapia de un mismo animal in vivo, aunque daba alta precisión en las medidas.

Los gliomas son tumores muy agresivos y difíciles de tratar de forma eficaz. También es difícil su representación en modelos animales. Para monitorizar la terapia en estos animales se hicieron implantes estereotáxicos de células de glioma (EGFP-GL261) y se llevaron a cabo estudios PET/TAC/RMI de animales no tratados y tratados con ciclosporina "A". Para la prueba PET se empleó [<sup>18</sup>F]-FLT (marcador de proliferación celular), [<sup>18</sup>F]-FDG (marcador de metabolismo) y [<sup>18</sup>F]-FMISO (marcador de hipoxia). Se analizaron las imágenes para obtener el volumen del tumor.

La monitorización del crecimiento del glioma y su volumen fue posible, dando valores coherentes en FLT-PET y 3D RMI de resolución moderada. Las diferencias de volumen entre animales tratados y no tratados se pueden ver in vivo a los 20 días de la inoculación. El tratamiento con ciclosporina A extendió el tiempo de supervivencia un 20% (5 días). Estimando la longevidad del ratón en 2 años, supone un 0,68%, que corresponde a cerca de 6 meses de aumento de la supervivencia (longevidad humana estimada en 75 años). El estudio se ha realizado en colaboración con Nencki Institute Polish Academy of Sciences, Varsovia, Polonia.



Figura 4.19: (Izquierda) FLT-PET a los 23 días de la inoculación del tumor. Volumen del tumor 32  $\mu$ L. (Derecha) Curva de supervivencia de los animales tratados con CsA vs animales de control / (Left) FLT-PET on day 23<sup>rd</sup> after inoculation. Tumor volume is 32  $\mu$ L. (Right) Survival curve of the animals treated with CsA vs. controls

<u>Multimodal imaging of GL261 glioma in mice in vivo using PET/MRI/CT.</u> Our objective was to determine the size of the tumor "in vivo" for subsequent therapy monitoring of intracranial murine glioma. The previous method of slicing of the removed and fixed brain and following fluorescent microscope examination of GFP transfected glioma cells was not allowing the therapy monitoring in the same animal in vivo, although was giving very high precision of the measurement.

Gliomas are very aggressive brain tumors, which are difficult to treat effectively. They are also quite difficult to image in small animal models. To develop imaging of therapy monitoring in these animals we implanted stereotactically EGFP-GL261 glioma cells

### Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

and imaged them in PET/CT/MRI in untreated and cyclosporine "A" treated animals. For PET imaging we used [<sup>18</sup>F]-FLT (cell proliferation marker), [<sup>18</sup>F]-FDG (cell metabolism marker) and [<sup>18</sup>F]-FMISO (hypoxia marker). Images were analyzed for tumor volume.

"In vivo" monitoring of glioma growth and volume is possible and gives consistent results in FLT-PET and MRI 3D images of moderate resolution. Differences between tumor volume in treated and untreated animals may be detected in vivo about 20 days post inoculation. Cyclosporine treatment extended post inoculation survival time by about 20% (5 days). Counted in mouse lifespan of 2 years it is 0.68%, which corresponds to about 6 months of human average lifespan of 75 years. Project was done in collaboration with Nencki Institute, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland.

<u>Escáner virtual PET.</u> Las simulaciones de cámara de tomografía por emisión de positrones se han convertido en una herramienta útil en diseño de escáner. Uno de los más versátiles métodos con varios programas disponibles es el método Monte-Carlo, reseñado en (Rogers 2006). Fue aplicado el código GEANT4 (Agostinelli, Allison et al. 2003) usado en aplicaciones de física nuclear. Otros códigos usados en física médica y medicina son EGS (Rogers 2006)), FLUKA (Andersen, Ballarini et al. 2005), MCNP ((Forster, Cox et al. 2004) y PENELOPE (Sempau, Sánchez-Reyes et al. 2001).

Las simulaciones de escáneres PET se hacen en programa GATE ((Jan, Santin et al. 2004), que usa considerable GEANT4. Este programa versátil ofrece la posibilidad de simulación del decaimiento de las fuentes radiactivas. Permite trazar eventos individuales de partículas y, que resultan de la aniquilación del par electrón-positrón. El fotón puede ser absorbido por evento fotoeléctrico en un cristal del detector o dispersado en el maniquí. Permite también la simulación de la parte electrónica del detector incluyendo el modo paralizado de amplificadores. Permite monitorizar coincidencias si son verdaderas o aleatorias. El programa GATE está ahora en versión 6.2. Parte de la simulación está hecha en versión 3.0, parte en vGate 1.0 (que contiene versión 6.0 para programación virtual de Linux).

GATE fue usado en simulaciones de sistemas SPECT y TAC (Jan, Santin et al. 2004). Dentro de los sistemas PET/CT, por ejemplo, escáner Siemens PET/CT Biograph 6 (Gonias, Bertsekas et al. 2007), GE Advance/Discovery LS (Schmidtlein, Kirov et al. 2006), Philips Gemini/Allegro (Lamare, Turzo et al. 2006), Philips Mosaic PET de animales pequeños (Merheb, Petegnief et al. 2007) o solo en-silicio (van der Laan, Maas et al. 2007) fueron usados para simulaciones GATE o diseño de los nuevos detectores o sistemas.

Después del diseño inicial de la cámara, su geometría y número de detectores, se puede simular el proceso de adquisición de los datos, incluyendo varios tipos de fuentes radiactivas. Los datos se puede clasificar por tipos de interacciones individuales en el detector (absorción fotoeléctrica, dispersados), en nivel de

4. Investigación / Research

coincidencias (verdaderos, dispersados o aleatorias). Individuales y coincidencias se procesan en módulo digitalizador que simula colección de eventos desde absorción de gamma inicial seguido por generación de fotones y reflexión dentro del cristal (no implementado en simulación actual), formación de impulso electrónico, amplificación con tiempos muertos de los amplificadores, formación de los individuales y coincidencias.

Hemos comenzado desde simular un escáner microPET (Albira) con un anillo de ocho detectores y comparado con medidas de fuentes puntuales en este escáner, maniquís NEMA de animales y rejas de las fuentes. Como las simulaciones han reproducido de forma excelente los datos de medidas actuales de coincidencias e individuales y han dado buena calidad de imagen, hemos pasado a la simulación del escáner de dos y tres anillos. Estos escáneres fueron en estos tiempos sólo en nivel de diseño. Puesto que los módulos electrónicos iban a ser los mismos, esto fue un caso perfecto para simulación.

En desarrollo de nuevo sistema electrónico se planteó incluir la profundidad de interacción. Esta implementación fue también simulada en GATE antes de la fabricación de las partes electrónicas. Los datos de profundidad de interacción nos permiten ver como la calidad de imagen está influida por la implementación de esta corrección.



Figura 4.20: Eficiencia en ventana de 30% de energía para escáner de 1, 2 y 3 anillos. Azul es para escáner de 3 anillos, cuadrados escáner de 2 anillos y triángulos escáner de 1 anillo. Diamantes abiertos presentan eficiencia para escáner de 3 anillos con excluidas coincidencias entre anillo cero y dos (anillos en bordes) / Efficiency in 30% energy window of coincidences for 1, 2 and 3 rings scanner. Blue shows 3 rings scanner, squares 2 rings and triangles 1 ring geometry. Open diamonds show the efficiency for a 3 rings scanner with removed coincidences between 0<sup>th</sup> and 2<sup>nd</sup> ring (border rings)

4. Investigación / Research

Sorprendentemente para la fuente puntual hay poco aumento de eficiencia entre el escáner de dos anillos de detectores y de un anillo (de 3% a 4%). Aparece mayor diferencia con la inclusión del tercer anillo de los detectores. Además, si se permiten coincidencias entre todos los detectores, la eficiencia se incrementa hasta un 9,35%. Se espera mayor eficiencia (hasta 12,9%) si se cuentan los eventos incidiendo en la parte estrecha de los cristales.

En base de diseño y simulación del escáner microPET, la versión de dos y tres anillos de detectores de tomógrafo PET del pecho (MAMMI) fue introducido a la simulación. De nuevo, los datos simulados fueron la base para modificaciones de diseño y permitieron la preparación de programa de reconstrucción de imagen mucho tiempo antes de que los datos auténticos fueran tomados por el prototipo.

La colaboración fue realizada con I3M, CSIC, Valencia; Oncovision, Valencia; Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Complutense de Madrid.

<u>Virtual PET scanner. From simulation in GATE to a final multiringAlbira PET/SPECT/CT</u> <u>camera.</u> Simulation of the Positron Emission Tomography (PET) camera became a useful tool at the level of scanner design. One of the most versatile methods with several packages available is Monte-Carlo method, reviewed in (Rogers 2006). It was applied in GEANT4 code (Agostinelli, Allison et al. 2003) used in nuclear physics applications. Other codes used in medical physics and medicine are EGS (for review see (Rogers 2006)), FLUKA (Andersen, Ballarini et al. 2005), MCNP (Forster, Cox et al. 2004) and PENELOPE (Sempau, Sánchez-Reyes et al. 2001).

The simulations of PET scanners are done in GATE software (Jan, Santin et al. 2004) which extensively uses GEANT4. This versatile package offers the possibility of simulation of radioactive source decays. It allows tracking of the individual  $\gamma$  events resulting after positron-electron annihilation. They can be absorbed by photoelectric event in the detector crystal or scattered in the phantom. It allows also simulation of detector electronics including paralyzed mode of the amplifiers. Coincidences can be monitored for the property of being true or random. The software is now available in version 6.2. Part of the simulations were performed in version 3.0, part in vGate 1.0 (containing version 6.0 via virtualization software for Linux).

GATE was used in simulation of SPECT and CT systems (see papers citing (Jan, Santin et al. 2004)). Among PET systems for example Siemens PET/CT Biograph 6 scanner (Gonias, Bertsekas et al. 2007), GE Advance/Discovery LS (Schmidtlein, Kirov et al. 2006), Philips Gemini/Allegro (Lamare, Turzo et al. 2006), Philips Mosaic small animal PET (Merheb, Petegnief et al. 2007) or purely in-silicon (van der Laan, Maas et al. 2007) were used for GATE simulations or design of new detectors and systems.

After the initial electronic designs of the camera, its geometry and number of detectors, one can simulate the data collection process including a wide variety of radioactive sources. Data can be classified to individual interactions in the detector

4. Investigación / Research

(photoelectrically absorbed, scattered), at the coincidence level (true coincidences, scattered coincidences or random coincidences). Singles and coincidences are processed in digitizer module which simulates event collection from initial gamma absorption, via photon generation and reflection within the crystal (not implemented in current simulation), electronic pulse formation, amplification with dead times of the amplifiers, forming of singles and coincidences.

We started from simulating an existing microPET scanner called Albira with one ring formed by eight detectors and compared with actual measurements of point sources, animal NEMA phantoms and source grids. As the simulations reproduced very well the actual data in terms of coincidence and single rates, and also in terms of image quality, we moved forward to two and three rings scanner simulation, which were at this time only in the design phase. As the electronic modules were to be the same it was a perfect case for simulation.

In the development of new electronics, the depth of interaction was to be included and, this implementation was also simulated in GATE prior to fabrication of electronics. This data allow us to observe how the image quality is influenced by the particular implementation of such correction.

Surprisingly for a point source there is little increase in efficiency for 2 rings scanner compared to 1 ring (from 3% to 4%). The larger difference appears with the inclusion of a third ring and, moreover, if coincidences among all rings are allowed, efficiency increases to 9.35%. Higher values reaching 12.9% efficiency would be expected if the events impinging the tapered parts of the crystals are also used for reconstruction.

On the base of microPET camera design and simulation, the multiring version of a breast PET tomograph (MAMMI) was also introduced into the simulation. Again, the simulated data were the base of design modifications and allowed to prepare reconstruction software long before first real data were taken with a prototype.

*The work was done in collaboration with I3M, CSIC, Valencia; Oncovision, Valencia; Technical University of Madrid and Complutense University of Madrid.* 

<u>Caracterización de tumores tiroideos y no tiroideos con nuevo trazador [<sup>18</sup>F]-</u> <u>Tetrafluoroborato (TFB) en modelo de rata.</u> [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborato (TFB) es un nuevo radiotrazador que imita el comportamiento del iodo y se puede usar para imagen de cáncer de tiroides (Jauregui-Osoro, Sunassee et al. 2010) porque es captado específicamente por el transportador de iodo (NIS) en lugar de captar iodo. Hemos hecho un estudio preclínico de este trazador ampliado por FDG, FLT, TAC, RMI y estudio histopatológico.

El objetivo fue relacionar valores de incorporación (SUV) de varios trazadores en tumores primarios y secundarios, establecer el protocolo de adquisición optimizado y
4. Investigación / Research

relacionar estudios "in vivo" con histopatología. Se ha estudiado tumor de tiroides primario y tumor de hipófisis secundario.

TFB marca específicamente el tiroides. La máxima incorporación se alcanza a los 18 minutos tras la inyección. TFB-SUVmax se relaciona con expresión de NIS en tiroides. En tumores inducidos por perclorato potásico, la expresión de NIS y los valores TFB-SUVmax están más bajos que en los controles. TFB-PET/TAC y FDG-PET/TAC combinados pueden servir como indicadores de transición de hiperplasia a tumor y pueden reducir tiroidotectomía innecesaria.

El estudio se ha realizado en colaboración con Guadiamar Servicios Veterinarios de Referencia, Sanlúcar la Mayor y el Departamento de Citología e Histología Normal y Patológica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sevilla.



Figura 4.21: (Izquierda) Captación de TFB en tiroides (cruz azul). (Derecha) Relación de TFB-SUVmax sobre expresión relativa de NIS en tiroides / (Left) TFB uptake in region of thyroids (blue cross). (Right) TFB-SUV max vs. relative NIS expression in thyroids

<u>Characterization of thyroid and non-thyroid tumors with a novel PET Tracer [<sup>18</sup>F]-</u> <u>Tetrafluoroborate (TFB) in a rat model.</u> [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate (TFB) is a new tracer which mimics iodine behavior and may be used for thyroid tumor imaging (Jauregui-Osoro, Sunassee et al. 2010) as it is captured specifically by sodium-iodine symporter (NIS) at the site of iodine. We have done the first preclinical study of this tracer in rat thyroid model complemented with FDG, FLT, CT, MRI and histopathology studies.

The aim was to relate incorporation values (SUV) of various tracers in primary and secondary tumors, establish optimum acquisition protocol and correlate "in vivo" studies with histopathology. We studied primary thyroid tumor, and secondary pituary tumor.

TFB is marking specifically thyroids. Maximum incorporation is reached in 18 min. TFB-SUVmax is correlated with NIS expression in thyroids. In perchlorate induced tumor, NIS expression and TFB-SUVmax are lower than in control. TFB-PET/CT and FDG-PET/CT combined may serve as indicator of hyperplasia-tumor transition and may reduce unnecessary thyroidectomy.

The work was done in collaboration with Guadiamar Servicios Veterinarios de Referencia, Sanlucar la Mayor and the Depattament of Normal and Pathological Cytology and Histology of Faculty of Medicine of the University of Seville.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

<u>Imagen "in vivo" de acromegalia y sus síntomas.</u> Dentro de este apartado, se han desarrollado una serie de experimentos para la monitorización de tumores productores de acromegalia y los cambios que provoca. Se empleó [<sup>18</sup>F]-Fluorodeoxyglucosa (FDG), [<sup>18</sup>F]-Fluorotimidina y [<sup>11</sup>C]-Metionina, un aminoácido marcado con carbono radiactivo, que permite el estudio de la síntesis proteica.

Para monitorizar el crecimiento excesivo del animal con acromegalia hemos observado el peso de los animales y realizamos angiografía 4D de alta resolución con contraste para examinar tamaño del corazón y grosor del miocardio. Además, se inspeccionó la vascularización del tumor subcutáneo.



Figura 4.22: (Izquierda) FLT-PET. Tumor de volumen de 42 μL, 13 días después de la inoculación. (Derecha) TFB-PET/TAC de tumor de hipófisis. VOI en magenta delimita el tumor. VOI en azul presenta la hipófisis, de tamaño y localización normal / (Left) FLT-PET. Tumor volume 42 μL, 13 days after tumor inoculation. (Right) TFB-PET/CT of a pituary tumor. VOI in magenta is tumor, VOI in blue shows the normal size and location of a pituary gland

En otro modelo animal, se provocaron tumores de tiroides por ingestión prolongada (un año) de perclorato potásico, que bloquea el cotransportador sodio/iodo (NIS) por competencia con el iodo. NIS se expresa principalmente en tiroides, pero también en estómago e hipófisis. Bloqueando NIS con perclorato potásico podíamos provocar hiperplasia del tiroides, que con el tiempo se transforman en cáncer de tiroides, pero también se inducía hiperplasia y cáncer de hipófisis. El radiotrazador que hemos usado para imitar iodo es [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborato, un ión grande mononegativo que se une a NIS específicamente. Es una alternativa interesante frente a FDG y metionina que tienen alta incorporación básica en cerebro limitando la posibilidad de detección de tumores de hipófisis.

El estudio se ha hecho en colaboración con Instituto de Biomedicina de Sevilla (IBIS), Guadiamar Servicios Veterinarios de Referencia, Sanlúcar la Mayor y el Departamento de Citología e Histología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sevilla.

<u>"In vivo" imaging of acromegaly causing tumor and symptoms.</u> We have performed a series of imaging experiments to monitor the tumor of acromegaly and the changes it provokes. We used [<sup>18</sup>F]-Fluorodeoxyglucose (FDG) which is a derivative of glucose which indicates glucose metabolism and is most frequently used for detection of tumors. We also used [<sup>18</sup>F]-Fluorothimidine, a derivative of thymidine nucleoside which is a marker of cell proliferation. Also we have used [<sup>11</sup>C]-Methionine which is an aminoacid marked with radioactive carbon, which marks protein synthesis.

To monitor excessive growth of the animal with acromegaly tumor we observed the weight of the animals and performed high resolution 4D angiography with the contrast agent to examine the heart size and myocardium thickness. Moreover we checked the vascularization of the subcutaneous tumor.

In another animal model, thyroid cancer was provoked by prolonged (1 year) ingestion of potassium perchlorate which blocks sodium-iodine symporter (NIS) at iodine incorporation site. NIS is expressed mostly in thyroids, but also in stomach and in pituary gland. By blocking of NIS with potassium perchlorate we were able to provoke hyperplasia of thyroids which led to thyroid cancer, but also of hyperplasia and tumor of pituary gland. A radiotracer which we used to mimic iodine is [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate, a large mononegative charge ion. It binds specifically to NIS. It is an interesting alternative to FDG and Met which have high basic incorporation in the brain making it difficult to detect pituary tumor.

The work was done in collaboration with Seville Biomedical Research Institute (IBIS); Guadiamar Servicios Veterinarios de Referencia, Sanlucar la Mayor and the Departament of Cytology and Histology of Faculty of Medicine of the University of Seville.

Administración de fármacos a cerebro vía intraósea e intravenosa en estudio preclínico PET/TAC usando ratas es equivalente. El primer ensayo con conejos empleando la vía intraósea fue realizado por Tocantins (1940), concluyendo que dentro de 10 segundos el tinte se localiza en el corazón. En nuestro estudio hemos comparado la inyección intraósea (IO, extremo superior del fémur) e intravenosa (IV, vía de cola, parte periférica) de [<sup>18</sup>F]-Fluorodeoxyglucosa (FDG) en escáner PET/TAC. Las ratas fueron canuladas en el fémur, con aguja 23-25 G y al día siguiente el mismo animal se canuló por vía endovenosa en la cola, con aguja 27 G y tubo 30 G. Se inyectaron 100-300 µL de [<sup>18</sup>F]-FDG al inicio del examen, durante 6 segundos, 9 segundos de cambio de jeringa y otros 6 segundos para limpiar la vía con salino heparinizado.

Se hizo examen dinámico de cuerpo entero de rata en tres "camas" solapadas con ventanas iniciales de tiempo de 10 s, durante 28 min. Antes y después del PET se hizo

examen TAC para la localización anatómica. En la modelización cinética del consumo de glucosa se usó una función de entrada derivada de imagen de zona de la vena cava, con glucemia determinada después de ensayo PET.

La media del tiempo en que se alcanza la concentración final de FDG en estriado derecho vía IV es 40,2 ± 3,2 segundos. En vía IO la media es 31,3 ± 8,3 s después del inicio de la inyección. No hay diferencia significativa entre estos valores. El máximo de concentración de FDG en vena cava por vía IV se alcanza a los 14,7 ± 7,3 s. Por vía IO el tiempo es de 25,3 ± 5,2 s; en corazón (vía IV) se alcanza el máximo a los 27,5 ± 3,7 s, mientras que por vía IO se alcanza en 18,5 ± 0,5 s. Tampoco hay diferencia significativa entre ambas vías de administración. El consumo de glucosa en estriado derecho, calculado usando la función de entrada de vía IV resulta ser de 39,9 ± 2,1  $\mu$ mol/min/100 g. En la vía IO el consumo es 34,7 ± 4,9  $\mu$ mol/min/100 g, sin diferencia significativa entre ambas vías. Infusión IV y IO presentan la misma cinética de radiofármaco y el mismo tiempo de llegada en cerebro.

El estudio ha sido realizado en colaboración con Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla.





Intravenous and intraosseous injection of the brain drug is equivalent as demonstrated by PET/CT study in rats. The first study with the use of intraosseous injection was done by (Tocantins 1940) who concluded that within 10 s the injected dye was found in the heart. In our study we compared the intraosseous injection (IO, upper extremity of femur) with intravenous (IV, tail vein, peripheral part) of [<sup>18</sup>F]-Fluorodeoxyglucose (FDG) in PET/CT scanner. Rats were punctures in femur with the 23-25 G needle and the next day the same animal with 27 G needle and tubing of 30 G. 100-300  $\mu$ L of [<sup>18</sup>F] FDG were injected at the start of the study within 6 s and after next 9 s of the syringe change with the heparinized saline rinse within 6 s.

4. Investigación / Research

Full body dynamic study of the rat in 3 overlapping beds with initial windows of 10 s was continued for 28 min. Before and after the PET study, CT scan was done for anatomical orientation. Kinetic modeling of glucose consumption used the image derived input function from the zone of vena cava with the glucose level determined after the PET study.

Half of the final concentration of FDG reaches the right striatum by IV injection IV in 40,2  $\pm$  3,2 s and by IO injection in 31,3  $\pm$  8,3. There is no significative difference between these values. The maximum FDG concentration in vena cava by IV injection IV in 14.7  $\pm$  7,3 s and by IO injection in 25,3  $\pm$  5,2 s; in the heart by IV injection IV in en 27,5  $\pm$  3,7 s and by IO injection in 18,5  $\pm$  0,5 s. There is also no significative difference between these values. The glucose consumption in the right striatum calculated using IV input function from vena cava results in en 39,9  $\pm$  2,1 µmol/min/100 g and using IO 34,7  $\pm$  4,9 µmol/min/100 g without significative difference. IO and IV infusions result in the same kinetics of the radiotracer and in the same arrival time to the brain.

The study was done in collaboration with Hospital Universitario Virgen del Rocío of Seville.

Influencia de soporte especial en propiedades de titanio poroso para recambio del hueso. El desarrollo y procesado de los implantes de titanio poroso ha adquirido últimamente un gran interés debido a que ofrece una reducción potencial de los problemas derivados del apantallamiento de tensiones. La técnica de espaciadores consiste en mezclar el polvo metálico con un aditivo especial, que debe ser eliminado posteriormente, prensado y sintetizado. El espaciador se utiliza con el propósito principal de mejorar el control de la porosidad, tamaño, distribución y morfología de los poros.

En este trabajo, se investigaron la influencia de dos espaciadores diferentes, NaCl y NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, sus porcentajes, así como la importancia de la presión de compactación. El objetivo de propiedades ha sido lograr un adecuado módulo de Young, similar al del hueso, y el necesario equilibrio mecánico entre una baja rigidez y una resistencia a la fluencia máxima.

La caracterización microestructural permitió determinar que el contenido de espaciador desempeña un papel dominante en los parámetros finales de porosidad. Asimismo, los resultados de los ensayos mecánicos fueron coherentes con los parámetros microestructurales más importantes y también mostró que el NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> permite obtener el mejor equilibrio mecánico entre el módulo de Young y el límite elástico para sustitución de hueso cortical. El comportamiento complementario de los diferentes módulos de Young obtenidos por PM convencional y por la técnica de espaciadores ofrece una nueva ruta para la fabricación de implantes de titanio con reducción del apantallamiento de tensiones y una resistencia mecánica suficiente.

4. Investigación / Research

El estudio ha sido realizado con Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales de la Universidad de Sevilla.



Figura 4.24: El disco pulido de titanio [cpTi+60 vol.% NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>]: (Izquierda) examen 3D, pixeles de 50 μm; (Centro) corte transversal (arriba) y axial (abajo); (Derecha) perfil horizontal en corte axial en posición de línea azul. / Polished disk of [cpTi+60 vol.% NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>]: (Left) 3D projection scan: pixel resolution 50 μm; (Center) Transversal (up) and axial (down) sections; (Right) Horizontal profile on axial section by the blue line

The influence of space holder in properties of porous titanium for bone replacement. Development and processing of porous titanium implants have lately gained an enormous interest due to potential that they offer reducing the stress-shielding problems. Space-holder technique consists in mixing the metal powder with a special additive, which is removed before, during or after sintering, pressing and sintering. Space holder is used with the main purpose to improve control of porosity percentage, pore size-distribution and morphology.

In this work, the influence of two different space holders, NaCl and  $NH_4HCO_3$ , their percentages, as well as the importance of compaction pressure were investigated. The properties target has been a suitable Young's modulus for bone replacement and the necessary mechanical balance between a low stiffness and maximum yield strength.

Microstructural characterization allowed determining that space-holder content plays a dominant role in final porosity parameters. Likewise, mechanical testing results were consistent with those most important microstructural factors and they also showed that NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> allowed obtaining the best mechanical balance, Young's modulus and yield strength for cortical bone replacement. Complementary behavior of Young's modulus obtained by conventional PM and space-holder technique offers a new route to manufacture graded titanium implants with reduced stress shielding and high enough mechanical strength.

The study was done in collaboration with Mechanical and Material Engineering Department of the University of Seville.

Evaluación de los cambios de densidad de hueso alveolar mediante microTAC y microPET. El [<sup>18</sup>F<sup>-</sup>] se usa para monitorización de la aposición ósea (Berding, Burchert

4. Investigación / Research

et al. 1995). Hemos evaluado la repercusión de un fármaco local en el metabolismo óseo. Hemos observado en un ensayo piloto de 5 especímenes, el incremento de la incorporación de [<sup>18</sup>F<sup>-</sup>] en la zona tratada.

En la Figura 4.25, se muestra la incorporación  $[{}^{18}F^{-}]$  a la hidroxiapatita del hueso, mediante imagen de  $[{}^{18}F^{-}]$  microPET/TAC. La esfera del color verde al lado izquierdo marca la zona de mayor diferencia entre zona lateral y contralateral en la captación de  $[{}^{18}F^{-}]$  a los 30 días de tratamiento en el lado izquierdo.

<u>Evaluation of alveolus bone density changes with microCT and microPET.</u>  $[^{18}F]$  is being used for monitoring of bone formation (Berding, Burchert et al. 1995). We evaluated the effects of a drug treatment on the bone metabolism. We observed increase of  $[^{18}F]$  incorporation with treatment in a treated zone.

In the Figure 4.25, it is shown the incorporation of  $[{}^{18}F]$  into hydroxylapatite of the bone fused with 50 µm resolution CT of the mandibular bone. Green sphere on the left side marks a zone of highest lateral vs. contralateral difference in  $[{}^{18}F]$  incorporation after 30 days of treatment at left side. Study carried out with  $[{}^{18}F]$  microPET/CT.



Figura 4.25

Monitorización de tratamiento con células madre autólogas mesenquimales de tejido adiposo del daño en sustancia negra. A finales de 2012 hemos empezado una serie de ensayos de monitorización de tratamiento con células madre autólogas mesenquimales de tejido adiposo para el control del envejecimiento. Este modelo consiste en un modelo de enfermedad de Parkinson consistente en lesionar la substancia negra (SN) con lipopolisacárido, monitorizando la zona dañada con radiotrazadores [<sup>18</sup>F]-FDG y [<sup>11</sup>C]-Metionina.

<u>Monitoring of the treatment with autologous mesenchymal stem cells of the injury of</u> <u>substantia nigra.</u> At the end of 2012 we have started the series of experiments of monitoring of the treatment with the autologous mesenchymal stem cells of adipose tissue for the control of aging. In a rat model of substantia nigra lesioned with

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

lipopolisacharide, which is a model of Parkinson's disease, we have monitored the injured zone with  $[^{18}F]$ -FDG and  $[^{11}C]$ -Methionine.

#### 4.3.3 Otros estudios / Other studies

TAC para guiar restauración de objetos de patrimonio cultural. Se han llevado a cabo varios estudios TAC en el equipo PET/TAC de humanos de figuras de patrimonio cultural para guiar su proceso de conservación.

Modificando el proceso de adquisición y reconstrucción de imagen, en los estudios desarrollados, se buscaba la cantidad de capas de pintura, implantes, cuñas y daños para ayudar la preparación del proceso de conservación.

<u>CT to quide the restoration of the art objects.</u> In the years 2011 and 2012, human CT was used to scan several figures of cultural heritage to guide the renovation process.

Modifying acquisition and image reconstruction process we looked for the number of the paint layers, implants, wedges and damage to help the preparation of conservation process.



Figura 4.26: Figura de Virgen hecha de una pieza de madera (Izquierda) con implante de otra pieza de madera en mano derecha (cruz azul) (Derecha) / Figure of the Virgin Mary made of one wooden trunk (Left) with the implant of other piece of wood in the left hand (blue cross) (Right)

4. Investigación / Research

## 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 (HVEE). 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 <sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>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 <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>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 <sup>41</sup>Ca, el <sup>36</sup>CI el <sup>237</sup>Np y el <sup>243</sup>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.

4. Investigación / Research

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 <sup>10</sup>Be, <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>I and isotopes of Pu. In the last years, active lines have focused on the analysis of samples for <sup>14</sup>C, <sup>26</sup>Al, <sup>129</sup>I and Pu isotopes, but tests to study the team's ability to detect new radioisotopes as the <sup>41</sup>Ca, <sup>36</sup>Cl, <sup>237</sup>Np and <sup>243</sup>Am have begun.

## 4.4.1 Medidas de <sup>129</sup>I por AMS / AMS <sup>129</sup>I measurements

El <sup>129</sup>I es una radioisótopo del yodo con un semivida muy grande ( $T_{1/2} = 15,7x10^6$  años). Su presencia en el medio ambiente se debe fundamentalmente a las emisiones de residuos producidos por las plantas de reprocesamiento de combustible nuclear, así como, en menor medida, a los accidentes nucleares como el de Chernóbil y a las pruebas nucleares de los años 50 y 60 del siglo XX. Su detección es muy complicada utilizando técnicas de recuento tradicionales, mientras que AMS permite alcanzar unos niveles de sensibilidad mayores que cualquier otra técnica en la detección de este radioisótopo.

Los estudios centrados en el <sup>129</sup>I que se llevan a cabo en el CNA se enmarcan principalmente en dos campos de interés distintos. En primer lugar, su capacidad como trazador de procesos medioambientales hace que sea relevante su determinación en muestras tales como agua de mar, lluvia, suelos, sedimentos, etc. Por otra parte, dado que es un radionúclido que se produce en el ciclo nuclear, su determinación en residuos nucleares es necesaria para la posterior clasificación de los mismos y su almacenaje. En los últimos años se han iniciado experimentos también en el campo de la aplicación del <sup>129</sup>I a la biotecnología.

En lo que sigue describiremos brevemente algunos de los trabajos más representativos de la unidad de AMS del CNA basados en este radionúclido.

<sup>129</sup>I is an iodine isotope with a long half-life ( $T_{1/2} = 15,7x10^6$  years). Its presence in the environment is mainly due to the emissions of nuclear fuel reprocessing plants, as well as, in a lower level, nuclear accidents like Chernobyl and nuclear weapons tests in the 50's and 60's. It is very difficult to detect using radiocounting methods. However, AMS is able to reach much higher sensitivities than any other detection technique.

4. Investigación / Research

The research studies carried out at CNA concerning <sup>129</sup>I belong to two main fields. First, its ability as a tracer of environmental processes makes it interesting to determinate its presence in samples like seawater, soil, sediments, etc. On the other hand, it is also relevant to detect it in nuclear residues, as it is a radionuclide that is produced in the nuclear fuel cycle. This is important for the later classification and storage of these residues.

In the following paragraphs we will describe briefly some of the more representative research studies carried out at CNA in the last years.

<sup>129</sup>I en el Hemisferio Norte. Como hemos comentado, el papel del <sup>129</sup>I como trazador es muy importante, especialmente cuando se trata de procesos hidrológicos. En el hemisferio norte, debido a las emisiones que se producen en las plantas de reprocesamiento de Sellafield y La Hague, situadas en el Mar de Irlanda y en el Canal de La Mancha respectivamente, las cantidades de este radionúclido que se encuentran presentes en el Atlántico Norte y en el océano Ártico son muy importantes.

Durante el año 2011 se determinaron en el CNA las concentraciones de <sup>129</sup>I y los cocientes <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I en muestras de agua de mar correspondientes a tres perfiles de profundidad tomados en las zonas de Islandia e Irminger, en el Atlántico Norte. El objetivo era obtener información sobre los niveles de esta radionúclido en estas zonas y su distribución vertical, relacionada posiblemente con los movimientos de corrientes en la zona (Figura 4.27).



Figura 4.27

Los resultados mostraron un decrecimiento esperado con la profundidad de la presencia de <sup>129</sup>I y el cociente isotópico, aunque esta tendencia no fue monótona, ya que en dos de las estaciones muestreadas se encontraron máximos relativos alrededor de los 300-400 m de profundidad, prueba de la presencia de mezcla de corrientes provenientes de zonas más y menos contaminadas con <sup>129</sup>I.

4. Investigación / Research

La presencia de <sup>129</sup>I también se ha cuantificado en muestras de hielo procedentes del Ártico. Hasta este momento, no se habían publicado previamente resultados sobre la presencia de <sup>129</sup>I en estas muestras. En la figura 4.28, se observa un gráfico los resultados obtenidos. Las concentraciones de <sup>129</sup>I son menores que las encontradas en agua de mar, ya que el hielo expulsa los solutos al formarse por congelación durante el invierno. A pesar de que los resultados no han permitido, por el número de muestras, obtener información demasiado precisa, sí ha sido posible obtener información sobre el origen de este <sup>129</sup>I, demostrando que es la precipitación atmosférica la principal responsable de su presencia en el hielo superficial Ártico, frente a los procesos de bioabsorción por algas de las aguas marinas superficiales.

Con el objetivo de realizar un cuadro más completo de la presencia de <sup>129</sup>I en el hemisferio norte, también se han analizado muestras de agua marina procedente de la costa de Irlanda (Figura 4.29). En este caso, las concentraciones medidas han sido varios órdenes de magnitud mayores que los comentados anteriormente por la razón clara de que la planta de reprocesamiento del combustible nuclear existente en Sellafield, en la costa inglesa del propio Mar de Irlanda, viene descargando a éste desde hace varias décadas grandes cantidades de <sup>129</sup>I.



Figura 4.28

Figura 4.29

También dentro de este apartado podemos comentar los resultados obtenidos en el estudio de la presencia de <sup>129</sup>I en muestras de algas de la costa de Suecia. Estos resultados nos han permitido comprobar cómo la concentración de <sup>129</sup>I en esta zona tiene una fuerte componente geográfica, encontrándose concentraciones mucho mayores en la costa correspondiente al Mar del Norte frente a la costa del Mar Báltico. Esto es debido al escaso intercambio de agua que se da entre estos dos mares. Además, hemos podido ratificar el sensible aumento de la concentración de este radionúclido a lo largo del tiempo. Ambos efectos se deben al impacto de las emisiones de plantas de reprocesamiento de Sellafield y La Hague (Figura 4.30).

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



<sup>129</sup>I in the Northern Hemisphere. As we have commented before, <sup>129</sup>I plays an important role as a tracer of environmental processes, especially in hydrological systems. The amounts of this radionuclide in the Arctic and Atlantic Oceans are quite high due to the discharges carried out by the nuclear fuel reprocessing plants of Sellafield and La Hague, placed at the Irish Sea and the English Channel respectively.

<sup>129</sup>I concentrations and <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I ratios were determined at CNA in 2011 in three seawater profiles from the North Atlantic around Island and the Irminger Strait. The objective was to obtain information on the levels of <sup>129</sup>I in this zone and its vertical distribution in the water column, possibly related to the currents in the zone (Figure 4.27).

The results showed an expected decrease with depth of both <sup>129</sup>I concentration and isotopic ratio. However, this is not a monotonous trend, as relative maximums could be found at 300-400 m for some of the profiles due to the mixing of currents from contaminated zones

The presence of <sup>129</sup>I has also been quantified in ice samples from the Arctic Ocean. Up to now, no data on <sup>129</sup>I in this kind of samples had been previously published to our knowledge. In figure 4.28, a plot of the obtained data is shown. It can be seen that the obtained results are lower than those found in seawater. This can be explained by the fact that ice releases the dissolved materials when is forming from the surface seawater. Unfortunately, the results have not allowed us to acquire detailed

4. Investigación / Research

information because of the low number of samples. However, it has been possible to demonstrate that atmospheric precipitation is the main responsible of the presence of this radioisotope in the Arctic ice, and not the bioabsorption carried out from the surface Arctic seawater.

In order to make a more complete picture of the presence of <sup>129</sup>I in the Northern hemisphere, seawater samples from the Irish coast have also been analyzed (Figure 4.29). Higher concentrations (one or more orders of magnitude) are obtained as a clear consequence of the presence of the Sellafield nuclear fuel reprocessing plant in the English coast of the Irish Sea. This plant has been discharging high mounts of <sup>129</sup>I to the sea for several decades now

In this part we can also describe the results obtained for the <sup>129</sup>I concentration in seaweed samples from the Swedish coast. This study has allowed us to see how the contamination levels on the Western coast (North Sea) are sensibly higher than those on the Eastern one (Baltic Sea). This is in agreement with the fact that the water exchange between both seas is very small. At the same time, a strong increase of the <sup>129</sup>I concentration with time on the North Sea coast with time is found, as a consequence again of the nuclear fuel reprocessing plants emissions (Figure 4.30).

<sup>129</sup>I en residuos nucleares.</sup> A lo largo de estos años se ha venido afianzando la colaboración con la empresa ENRESA con el objetivo de mejorar la sensibilidad de detección de determinados radionúclidos en los residuos radiactivos, con el objetivo de caracterizarlos con precisión. Uno de estos radioisótopos es el <sup>129</sup>I. Como muestra, presentamos la Figura 4.31. La concentración de <sup>129</sup>I medida en frotis de control procedentes de la central nuclear de José Cabrera (en desmantelamiento) frente a la concentración de <sup>137</sup>Cs en las mismas.



Figura 4.31

4. Investigación / Research

<sup>129</sup>*I in nuclear residues.* The pre-existing collaboration with ENRESA, the Spanish company for the treatment of nuclear residues, has continued during the last years with the objective of characterizing these materials every time with higher precision. One of the interesting radioisotopes is <sup>129</sup>I due to its half-life (Figure 4.31). As an example, we present the <sup>129</sup>I concentration in control swipes taken at the José Cabrera nuclear power plant (into a decommissioning process) as a function of the <sup>137</sup>Cs concentration.

<sup>129</sup>I en biotecnología. En los últimos años se vienen realizando multitud de estudios en biotecnología que se benefician de la altísima sensibilidad de la técnica de AMS. En el CNA, en colaboración con la empresa holandesa DUCARES, hemos utilizado el <sup>129</sup>I para realizar estudios de microdosis en ratas de Han-Winstar con el objetivo de evaluar el metabolismo de moléculas de EPO dopadas con <sup>129</sup>I.

Los resultados mostraron un incremento del nivel de EPO tras la administración con una vida media posterior de 5,5 horas para dos moléculas distintas de EPO, tal y como se muestra en la Figura 4.32.



<sup>129</sup>I in biotechnology. In the last years, many studies on biotechnology are taken advantage of the sensitivity of accelerator mass spectrometry to optimise their results. At CNA, <sup>129</sup>I has been used to evaluate the metabolism of <sup>129</sup>I-labeled EPO in Han-Winstar rats in collaboration with the Dutch company DUCARES.

4. Investigación / Research

An increase of <sup>129</sup>I-EPO is observed after dose administration. The half-life was found to be 2 resp. 5.5 hours for two different erythropoietins. These results are in accordance with expected values (Figure 4.32).

#### 4.4.2 Medida de actínidos por AMS / AMS actinides measurements

Durante el año 2012, se ha ampliado el espectro de estudio a nuevos actínidos (<sup>237</sup>Np, <sup>243</sup>Am), se han optimizado las medidas de <sup>236</sup>U, y se han consolidado las aplicaciones de isótopos de Pu que se venían realizando en nuestras instalaciones desde el 2007.

Las medidas de <sup>243</sup>Am ( $T_{1/2}$  = 7370 a) y <sup>237</sup>Np ( $T_{1/2}$  = 2.14x10<sup>6</sup> a) se han realizado fundamentalmente en muestras de residuos de media y baja actividad proporcionados por Enresa.

El interés de su medida por AMS radica en su escasa abundancia y en su trascendencia para la gestión de residuos, por ser responsables de la mayor parte de la actividad a largo plazo de los residuos de centrales nucleares.

El caso del <sup>243</sup>Am ha supuesto un reto metodológico, debido a la necesidad de usar el <sup>241</sup>Am como isótopo de referencia en la medida por AMS y encontrarse éste en los residuos nucleares en concentraciones apreciables y heterogéneamente distribuido. Otro factor a tener en cuenta ha sido la aparición de efectos de matriz durante la medida por AMS, que ha requerido de un minucioso proceso de optimización. Las actividades de <sup>243</sup>Am obtenidas en resinas se encuentran entre 10 µBq/g y 0.5 mBq/g, inferiores a los límites de detección alcanzables mediante espectrometría alfa.

En el caso del <sup>237</sup>Np, se han realizado medidas preliminares en muestras no sometidas a un proceso previo de purificación, con la idea de obtener valores aproximados de su concentración en actividad, objetivo inicial de Enresa. Las concentraciones en actividad obtenidas (Figura 4.33), también en resinas procedentes de centrales nucleares, se encuentran entre 20  $\mu$ Bq/g y 2 mBq/g, quedando de nuevo justificado el uso de AMS.

During 2012, new actinides have been studied by low energy AMS (<sup>243</sup>Am, <sup>237</sup>Np); new advances in the determination of <sup>236</sup>U have been performed, and different applications of <sup>239,240</sup>Pu have been consolidated.

 $^{243}$ Am ( $T_{1/2}$  = 7370 years) and  $^{237}$ Np ( $T_{1/2}$  = 2.14x10<sup>6</sup> years) have been mainly studied in medium and low activity residues from nuclear power plants supplied by Enresa.

Their study is interesting as, in the long term; they are responsible for the bulk activity of the nuclear residues.

<sup>243</sup>Am AMS determination has been a challenge due to the necessity of using <sup>241</sup>Am, which is heterogeneously present in the samples, as the reference isotope for the AMS measurement. On the other hand, important matrix effects have been observed during the AMS determinations, so an optimum optimisation of the measurement set-up has

4. Investigación / Research

been necessary. The obtained <sup>243</sup>Am activity concentrations ranges from 10  $\mu$ Bq/g to 0.5 mBq/g, which are lower than the detection limits provided by alpha-spectrometry.

As far as <sup>237</sup>Np measurements are concerned, preliminary determination in non-purified aliquots have been carried out, in order to estimate the <sup>237</sup>Np activity concentration in the samples, as requested by Enresa. The limiting <sup>237</sup>Np activity concentrations so obtained, displayed in Figure 4.33, range from 20  $\mu$ Bq/g to 2 mBq/g, which again justifies the use of AMS.

Muestra / Sample	A( <sup>237</sup> Np) mBq/g	<sup>240</sup> Pu/ <sup>239</sup> Pu	<sup>237</sup> Np/ <sup>239</sup> Pu
Resina-1 (límite inferior)	0,02 ± 0,001	0,27 ± 0,01	0,69 ± 0,03
Resina-2	1,95 ± 0,05	0,32 ± 0,01	0,36 ± 0,01
(límite superior)	2,03 ± 0,03	0,30 ± 0,01	0,42 ± 0,01

Figura 4.33: Resultados de <sup>237</sup>Np obtenidos en dos muestras facilitadas por Enresa. Se presentan también información isotópica sobre el plutonio, también obtenida por AMS / <sup>237</sup>Np measurements by Enresa. Also information about Plutonium by AMS

Por otra parte, avances significativos se han llevado a cabo en la medida de  $^{236}$ U (T<sub>1/2</sub> = 2.34x10<sup>7</sup> años), radionucleido de gran interés en aplicaciones oceanográficas actualmente en pleno desarrollo, y uno de los objetivos prioritarios en la actualidad de la mayor parte de instalaciones de AMS a nivel mundial.

Se ha demostrado la viabilidad del sistema para la medida de <sup>236</sup>U, <sup>234</sup>U y <sup>238</sup>U en muestras con cantidades de uranio total comprendidas entre 5 y 20 µg a través del estudio de muestras de referencia de la IAEA y minerales de U (por publicar). El límite de detección actual para la relación isotópica <sup>236</sup>U/<sup>238</sup>U en número de átomos es inferior a 10<sup>-10</sup>, comparable a la publicada por otras instalaciones de AMS de alta y baja energía.

Las cantidades de U total necesarias para la medida simultánea de <sup>238</sup>U se han reducido en, al menos, un orden de magnitud, gracias a la mejora de la sensibilidad de la cámara de Faraday situada en la zona de alta energía, cuyo offset actual es de 1 pA. Gracias al uso del <sup>233</sup>U como trazador, se hace posible la determinación de concentraciones absolutas de los diferentes isótopos de uranio en una medida única.

On the other hand, important improvements have been performed in the field of the  $^{236}U$  ( $T_{1/2} = 2.34 \times 10^7$  years) determination technique. This radionuclide is very interesting for oceanography studies and it is one of the main current focus of many AMS facilities worldwide.

The simultaneous measurement of  $^{236}$ U,  $^{234}$ U and  $^{238}$ U in samples containing total U amount contents ranging from 5 to 20 µg has been demonstrated through the measurement of IAEA reference materials and uranium minerals (non-published so far).

4. Investigación / Research

The current detection limit for the  ${}^{236}U/{}^{238}U$  atomic ratio is better than  $10^{-10}$ , which compares with the provided one by other AMS facilities.

The offset of the Faraday cup has been decreased to 1 pA, making it possible the measurement of such low uranium contents. Thanks to the use of <sup>233</sup>U as a spike, the absolute <sup>x</sup>U concentrations can be also determined in one single measurement.

Muestra /	<sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>236</sup> U/ <sup>238</sup> U	<sup>236</sup> U	<sup>239</sup> Pu/ <sup>238</sup> U
Sample		certificada			
	(ppm)	(ppm)	AMS (át./át)	(ppm)	AMS (át./át)
IAEA-RGU	385 ± 26	395	(4,5 ± 0,5)x 10 <sup>-10</sup>	3,4 x 10 <sup>-7</sup>	$< 3 \times 10^{-12}$

Figura 4.34: Caracterización de la composición isotópica de U y de <sup>239</sup>Pu en el material de referencia de la IAEA-RGU / Isotopic composition of Uranium and <sup>239</sup>Pu in IAEA-RGU reference material

En lo que respecta a la medida de isótopos de plutonio, <sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>Pu, se han realizado análisis rutinarios en muestras de orina dentro del convenio que mantenemos con el Ciemat, en suelos y sedimentos de Chile proporcionados por la Universidad de Extremadura y en muestras de agua de mar del proyectos Geotraces facilitadas por la IAEA, consolidándose así líneas de investigación iniciadas años anteriores. Además, se han iniciado nuevas líneas de investigación con las Universidades de Sevilla y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

As far as plutonium isotopes determinations are concerned, <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu, have been routinely analyzed in urine samples provided by Ciemat, in soils and sediments from Chile, and in seawater samples from the Geotraces project. Moreover, new applications have been initiated in agreement with the Universities of Seville and Mexico (UNAM).

### 4.4.3 Medida de <sup>14</sup>C / <sup>14</sup>C measurements

Durante los años 2011 y 2012 se han producido importantes cambios en la estructura del servicio de datación por radiocarbono, debido a la incorporación de nuevos e importantes elementos tanto en el laboratorio de preparación de muestras como en el sistema de medida.

El laboratorio de preparación de muestras ha sufrido una importante reestructuración, dividiéndose en dos zonas diferenciadas. Por un lado, el laboratorio anterior se ha mantenido en su lugar habitual, y actualmente se destina exclusivamente a los procesos de pretratamiento y limpieza de las muestras. En otra sala, se lleva a cabo el proceso de grafitización y prensado de las muestras. En este sentido, hay que destacar la incorporación de un equipo de grafitización nuevo, denominado AGE (Automatic Graphitization Equipment), desarrollado por la unidad de AMS del ETH de Zurich. Dicho equipo se utiliza de forma estándar en la grafitización de todas las muestras orgánicas. El equipo fue instalado en mayo de 2011 y se usa de forma sistemática desde entonces. La línea de grafitización manual de la que se disponía anteriormente se utiliza en estos momentos para la preparación de muestras de carbonatos. En un

futuro, se espera implementar la preparación de las muestras de carbonato también en el sistema AGE.

Gracias a este nuevo equipamiento, durante los años 2011-2012 se han podido preparar casi 700 muestras procedentes de diferentes instituciones. A finales de 2012 el CNA ha proporcionado cerca de 1500 dataciones.

También es destacable la incorporación del nuevo sistema de medida de <sup>14</sup>C al CNA, el llamado MiCaDaS (Mini Carbon Dating System), también desarrollado por el ETH de Zurich. Dicho sistema ha sido instalado en octubre de 2012 y está en periodo de pruebas. Se espera que durante el primer semestre del 2013 pueda entrar en funcionamiento efectivo.

Durante estos años se ha seguido la colaboración con instituciones de investigación, lo que se ha concretado por ejemplo en un acuerdo con el Instituto Milá i Fontanals del CSIC, para la datación de huesos de importantes yacimientos arqueológicos. En una primera etapa, se ha realizado una comparativa entre diferentes métodos de extracción y purificación del colágeno. Los resultados están pendientes de su futura publicación. También, casi desde el inicio del servicio, se ha venido realizando un seguimiento de la concentración de <sup>14</sup>C en la dieta humana típica en tres localizaciones del país diferentes, en muestras trimestrales.

Actualmente, se continúa trabajando en el estudio del efecto Suess en determinados territorios suecos. Tras el estudio de un perfil de turba, se está trabajando en muestras de madera para obtener una mejor resolución temporal.

During years 2011 and 2012 there have been important changes in the structure of the radiocarbon dating service, due to the incorporation of new and very important elements in the simple preparation laboratory and in the measurement system.

The sample preparation lab has been restructured into two different zones. The former lab is still in the same site and is now used only in the pre-treatment and cleaning processes of samples. In another room, graphitization and pressing of the sample takes place. It is important to highlight the new graphitization equipment, called AGE (Automatic Graphitization Equipment), and developed by the AMS unit at ETH in Zurich. The AGE system is used routinely for the graphitization of organic samples. It was installed in May 2011 and used since then. The manual graphitization line that was in use before is used now for carbonate sample preparation. It is expected to implement in a near future the possibility to prepare carbonates also in AGE.

Thanks to the new equipment, almost 700 samples coming from different institutions have been prepared at the laboratory. By the end of 2012, CNA has provided near 1500 datings.

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

4. Investigación / Research

It is also important to note the arrival of a new measurement system for the <sup>14</sup>C detection, the so called MiCaDaS (Mini Carbon Dating System), which has also been developed by the ETH in Zurich. Such system was installed in October 2012 and is in testing period. It is expected that it can routinely be used through the first semester in 2013.

During these years collaboration with other research institutions has continued. In particular, there is an agreement with the Instituto Milá i Fontanals belonging to CSIC, for bone dating of important archaeological sites. In a first stage, a comparison between different sample preparation methods has been carried out. Results are waiting for future publication. At the same time, since the beginning of the service, a control of <sup>14</sup>C concentration in human diet in several locations in Spain is being carried out in a three-month basis.

At this time, we are still working on the study of the Suess effect in Sweden territories. After studying a peat profile, wood samples are being prepared to obtain a better time resolution.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

# 5. CNA y Sociedad / CNA and Society

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

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 S.A. 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.

Además, en colaboración con la empresa holandesa DUCARES se han realizado estudios previos de microdosis de fármacos a través de trazado con radionúclidos de periodo de semidesintegración grande, lo cual implica que las dosis radiactivas aportadas a los individuos a los que se aplican dichos fármacos sean completamente irrelevantes.

Por otro lado, en colaboración con el Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, el Hospital Virgen de Macarena, la Escuela Superior de Ingenieros y la empresa Instalaciones INABENSA S.A., se ha desarrollado y patentado un sistema de detección y análisis que permite verificar la dosis que recibe un paciente previamente a que se someta a un tratamiento de radioterapia, en los aceleradores lineales de uso habitual en los hospitales del Servicio Andaluz de Salud.

CNA Cyclotron produces radiopharmaceuticals used for PET imaging (positron emission tomography). These radiopharmaceuticals are produced and distributed in cooperation with the company IBA Molecular S.A. Furthermore, the CNA has a PET scanner, which benefits patients of Andalusian Health Service, for early diagnosis of cancer and other diseases.

Besides, in collaboration with the Dutch company DUCARES previous studies of microdose drug of radionuclide with large half-life have been performed, which implies that the radiation dose provided to individuals who apply such drugs are completely irrelevant.

Moreover, in collaboration with the Department of Molecular, Nuclear and Atomic Physics, Virgen Macarena Hospital, the School of Engineering and INABENSA S.A. Company, a system has developed and patented for detection and analysis to verify the dose receiving for a patient previously to undergo radiation treatment in linear accelerators commonly used in hospitals in the Andalusian Health Service.

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

#### **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 también de aquellas que se encuentran en fase de desmantelamiento. El objetivo general de estos estudios 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 aceleradores, el CNA ha participado en una misión internacional liderada por los Estados Unidos 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 <sup>129</sup>I en aguas superficiales y en perfiles de agua.

Studies on radioactive waste have been developed in CNA, in collaboration with the company ENRESA (National Waste Company SA), to improve knowledge about radioactive waste from nuclear power plants in operation and also those which are being dismantled. The overall objective of these studies is the level evaluation of presence of certain radioactive nuclei by the technique of Accelerator Mass Spectrometry (AMS), which is found only in the CNA, within Spanish territory.

Through the use of accelerator mass spectrometry, the CNA has participated in an international mission led by the United States focused on evaluating the impact generated by the radioactive Fukushima nuclear accident in Japan coasts and in the Western Pacific. In particular ultrasensitive determinations were made of <sup>129</sup>I in surface water and water profiles.

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

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

En el CNA existe el único acelerador en España que permite aplicar la técnica de espectrometría de masas por aceleradores para realizar el fechado por Carbono-14. De esta forma, 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 incunables de la biblioteca de la Universidad de Sevilla, esculturas de la catedral de Sevilla, huesos de yacimientos arqueológicos, testigos de hielo del ártico y otras muestras de interés histórico y arqueológico.

Por otro lado, usando los aceleradores, se pueden determinar, de forma no destructiva y con alta precisión, los elementos químicos que componen de 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.

The CNA has the only accelerator in Spain which allows applying the technique of accelerator mass spectrometry for the Carbon-14 dating. So we can date geological, archaeological, artistic and historical heritage samples, using a small fraction (micrograms) of the sample.

Thereby, CNA has dated some incunabula from the library of the University of Seville, sculptures of the cathedral of Seville, archaeological bones, arctic ice cores and other samples of historical and archaeological interest.

Furthermore, with the accelerators, it can be determined, non-destructively and with high accuracy, the chemical elements which are presents in objects of jewelry, ceramics, paintings and other objects of historic and artistic interest. Knowledge of the chemical composition, without altering the sample of interest, allows to archaeologists to obtain information to determine the origin of the different artifacts.

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

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

La determinación de carbono 14 que se realiza en el CNA permitió una colaboración con la Empresa REPSOL, para certificar que los combustibles Biodiesel comercializados por dicha compañía, eran realmente de origen renovables, y no provenían de yacimientos petrolíferos. Efectivamente, el Carbono de yacimientos petrolíferos no contiene Carbono-14, puesto que el que tuviera originalmente se desintegró hace millones de años, mientras que el Carbono de fuentes renovables debe tener la proporción de la atmósfera.

En los aceleradores del CNA se realiza la irradiación de componentes electrónicos utilizados en satélites artificiales, ya que es necesario chequear la fiabilidad y durabilidad de estos componentes frente a la radiación existente en el espacio antes de ponerlos en órbita. En esta línea, tenemos una colaboración estrecha con la Empresa ALTER y hemos comenzado a realizar ensayos de irradiación con compañía francesa TRAD. De especial relevancia fueron los experimentos realizados con la empresa Solar MEMS Technologies, spin-off de la Universidad de Sevilla, sobre un sensor solar que fue embarcado en el primer satélite de comunicaciones español, el NANOSAT-1B, y que lleva varios años enviando datos desde el espacio con un perfecto funcionamiento.

Otro uso de los aceleradores del CNA es su aplicación para el desarrollo de nuevos materiales. Los aceleradores del CNA se han utilizado para medir la estructura y composición de nuevos vidrios, desarrollados en colaboración con el Instituto de Materiales de Sevilla y la empresa INDO. Las propiedades ópticas de estos vidrios dependen de la cantidad y distribución de diversos elementos minoritarios, que pueden determinarse a partir de las técnicas de haces de iones.

CNA has determined the <sup>14</sup>C quantity in collaboration with the company Repsol, of some samples in order to certify that biodiesel fuels marketed by that company, were really renewable source, and not from oilfields. Oilfield hasn't got Carbon-14 has not, while carbon renewable sources should be the ratio of the atmosphere.

In CNA accelerators, electronic components are irradiated. These components are used in artificial satellites, so that it is necessary to check the reliability and durability of these components against the radiation in the space before putting into orbit. In this line, we have a close collaboration with the ALTER Company and we have begun to do irradiation tests with TRAD French company. Also, they are relevant the experiments performed with the company Solar MEMS Technologies, a spin-off of the University of Seville, on a sun sensor that was shipped in the Spanish first communications satellite, the NANOSAT-1B, and which are sending data from space with a perfect performance since several years.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

Other use of CNA accelerators is the application for developing new materials. CNA accelerators have been used to measure the structure and composition of new glasses, developed in collaboration with the Institute of Materials of Sevilla and INDO Company. The optical properties of these glasses are dependent on the amount and distribution of various minor elements, which can be determined from the ion beam techniques.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

6. Cultura Científica / Outreach

# 6. Cultura Científica / Outreach

6. Cultura Científica / Outreach

6. Cultura Científica / Outreach

# 6. Cultura Científica / Outreach

#### 6.1 Presentación / Presentation

Desde el año 2000, el CNA tiene diseñado dentro de sus líneas estratégicas, un ambicioso programa de divulgación que se viene desarrollando anualmente con notable éxito. En este programa se enmarcan varias acciones educativas en el ámbito de la física, sus aplicaciones a los Aceleradores de Partículas y la Física Atómica y Nuclear. Estas acciones pretenden, por un lado incentivar al colectivo estudiantil y por otro divulgar la Física y la Investigación con Aceleradores de Partículas a la ciudadanía. Nuestros visitantes son Centros Educativos, Universidades, Empresas y OPIs.

Se han perfilado los siguientes objetivos como líneas estratégicas del programa de divulgación:

-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 alfabetización 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.

In CNA, we have set up an outreach program since 2000. In this program, many activities devoted to Physics, Particle Accelerators and Nuclear Physics are developed. These actions show students and general public, the research which is carried out in our Center. Our visitors are mainly High Schools, Schools, Universities, Companies and Public Research Organizations.

*The main objectives of our program for the general public are:* 

*-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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach

#### 6.2 Acciones / Actions

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

<u>Programa anual de visitas guiadas al CNA "Visítanos y Concienciate"</u>. Con carácter semanal y durante todo el año académico, los miembros de la Unidad de Divulgación Científica 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 <sup>14</sup>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".



<u>Programa anual de visitas a centros educativos "Acelera2"</u>. 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.

6. Cultura Científica / Outreach

<u>MasterClass</u> "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.

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.

<u>Feria de la Ciencia de Sevilla "Acelerando la Ciencia"</u>. 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.



<u>Rutas Científicas por Andalucía</u>. 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

6. Cultura Científica / Outreach

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 Electromágnetismo, Óptica y Estructura de la Materia "Experimenta con nosotros".

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

<u>Página Web de Divulgación Científica "El Mundo de las Partículas"</u>. 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.

<u>Social Media "Redescna"</u>. 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, Facebook, Twitter, Tuenti, Flicker o CANALCNA en YouTube.

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

<u>Comunicación de la investigación</u>. 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.

The outreach actions carried out in the center are:

<u>Programme of annual visits "Visítanos y Conciénciate"</u>. 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 differents facilities of CNA. Also it is given the conference "Research at CNA" and the experimental workshop "Experiment with us".

<u>Visits to educative Centers "Acelera2"</u>. The members of Outreach Unit visit different centers where they impart the conference "Particle Accelerators".

<u>Masterclass "Research with CNA"</u>. In this activity, the students of the different educative centers have to do exercises on analysis techniques with accelerators and other practical exercises such as Photoelectric Effect.

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach

<u>Open doors during Science Week "Acelera y Conócenos"</u>. 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.

<u>Sevilla Science Fair "Acelerando la Ciencia"</u>. 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.

<u>Scientific Routes Territorial Cooperation Program "Andalucía a tope"</u>. 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.

<u>Summer Campus of Excellence "Andalucía Tech"</u>. Since 2011, the CNA has been selected to participate as a center visited by the students participating in the Andalusia Campus of Tech

<u>CNA Outreach website</u>. The outreach program has a website devoted to children and young people, to show research with Particle Accelerators and Atomic and Nuclear Physics.

<u>Social networks</u>. The different activities of CNA are shown in the social networks such as Xing, Linkedin, Facebook, Twitter, Tuenti, Flicker or CANALCNA in YouTube.

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

<u>Research Communication</u>. 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.

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

6. Cultura Científica / Outreach

#### **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 2011 y 2012:

In this section, it is shown other eventual actions which have been developed by Outreach Group during 2011 and 2012:

#### 6.3.1 Año 2011 / Year 2011

Exposición "Partículas para la Vida, la Ciencia y la Tecnología" (Mayo-Julio) (Granada). Durante los meses de mayo, junio y julio del año 2011 el CNA montó está exposición dentro 2ª edición de la Ventana a la Ciencia del Parque de las Ciencias de Granada.



La finalidad de la Ventana fue la de mostrar la investigación que se realiza en el CNA y la utilidad que tiene el uso de Aceleradores de Partículas para la resolución de problemas en campos tan amplios y variados como el medioambiente, el arte y la arqueometría, la biomedicina, la física de detectores o la datación por <sup>14</sup>C, entre otros.

<u>Exhibition "Particles for Life, Science and Technology" (May-July 2011) (Granada)</u>. During the months of May, June and July, the CNA set up within the 2<sup>nd</sup> edition of Window to Science in the Science Park of Granada.
**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

6. Cultura Científica / Outreach

The purpose of the exhibition was to show the research carried out at CNA and the utility of using Particle Accelerators to solve problems in fields such as the environment, art and archeometry, the biomedicine, physics detectors or <sup>14</sup>C dating, among others.

#### 6.3.2 Año 2012 / Year 2012

<u>Exposición "Aceleradores para la Vida, la Ciencia y la Tecnología" (Noviembre) (CNA)</u>. 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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach

Exhibition "Aceleradores para la Vida, la Ciencia y la Tecnología" (November) (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.

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. Cultura Científica / Outreach

<u>I Concurso de Fotografía Científica del CNA (Septiembre-Noviembre)</u>. El CNA organizó el I Concurso de Fotografía Científica con el objetivo de fomentar el interés por la Ciencia y la Tecnología entre el público no especializado.

Este concurso se ha desarrollado gracias al apoyo económico otorgado por la empresa Oerlikon dentro del acuerdo de colaboración firmado entre ambas entidades.

<u>I CNA Scientific Photography Contest (September-November)</u>. CNA has organized the 1<sup>st</sup> Contest of Scientific Photography for non-specialist public to promote scientific culture.

<u>Acuerdo de colaboración entre Oerlikon Leybold Vacuum Spain S.A y el Centro</u> <u>Nacional de Aceleradores</u>. A lo largo del año 2012, el Centro Nacional de Aceleradores ha firmado un acuerdo de Colaboración con la empresa Oerlikon Leybold Vacuum Spain S.A con el fin de fomentar la cultura científica dentro del Concurso de Fotografía Científica del CNA.

<u>Collaboration agreement between CNA and Oerlikon Leybold Vacuum Spain S.A</u>. Both entities have agreed work together to promote scientific culture inside the 1<sup>st</sup> contest of Scientific Photography.

<u>Convenio específico de colaboración entre el Instituto Andaluz del Patrimonio</u> <u>Histórico, y el Centro Nacional de Aceleradores (Universidad de Sevilla) para la</u> <u>colaboración en materia de divulgación científica</u>. El objeto de este Convenio Específico es el de regular la colaboración entre el IAPH y el CNA en el campo de la Divulgación Científica para una puesta en conocimiento y valor de las actividades de ambas instituciones así como para trasladar a la sociedad la importancia de las técnicas analíticas de las que dispone el CNA para el conocimiento y conservación del patrimonio cultural.

<u>Collaboration agreement between CNA and Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico</u>. The aim of this agreement is to work together to promote scientific culture through different actions inside the Science Week and other activities to show the CNA Facilities to future users.

6. Cultura Científica / Outreach

### 6.4 Impacto de actividades / Activities impact



#### 6.4.1 Visitantes de las instalaciones por año / Annual visitants





6. Cultura Científica / Outreach



### 6.4.4 Comunicación Científica / Scientific press notes



6. Cultura Científica / Outreach

7. Producción Científica / Scientific Production

### 7. Producción Científica / Scientific Production

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

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

Novel Diagnostic Techniques for future particle Accelerators: A Marie Curie Initial Training Network (DITANET) PITN-GA-2008-215080 Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (Proyecto Marie Curie) Joaquín José Gómez Camacho 01/06/2008 al 31/05/2012

### Experiments with fast ion loss detectors

EFDA-WP11-DIA EURATOM (7º Programa Marco FP7) Francisco Javier García López 01/01/2011 al 31/12/2012

### **Optimization for Particle Accelerators (oPAC)**

PITN-GA-2011 Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (Proyecto Marie Curie) Joaquín José 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 Organización Internacional de la Energía Atómica (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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

FP7-PEOPLE-2012 Marie Curie CIG Manuel García Muñoz 01/09/2012 al 01/09/2016

#### 7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic Projects

Aplicación de técnicas de datación por isótopos radiactivos en ecosistemas naturales andaluces P07-RNM-02567

Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas) (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía) Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 31/01/2008 al 31/12/2012

#### Nuevos desarrollos en espectrometría de masas con aceleradores de baja energía: Medidas en la instalación del Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

FIS2008-01149 MICINN (Plan Nacional del 2008) Manuel García León 01/01/2009 al 30/06/2012

### **Dispersión, estructura, trazado de núcleos exóticos e instrumentación nuclear** FPA2009-08848

MICINN (Plan Nacional del 2009) Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2010 al 31/12/2013

### Riqueza, valor y precio: el metal como referente en las sociedades mediterráneas (s.

V a.C. - I d.C.) HAR2009-07449 MICINN (Plan Nacional del 2009) Miguel Ángel Respaldiza Galisteo 01/01/2010 a 31/12/2012

# Ferromagnetismo en substratos de SiC dopados con metales de transición y con elementos no magnéticos

MAT2009-07160 MICINN (Plan Nacional del 2009) Francisco Javier García López 01/01/2010 al 31/12/2012

# 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)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Miguel Ángel Respaldiza Galisteo 03/02/2010 al 03/02/2014

# Uso de la tecnología de aceleradores de partículas en la caracterización de residuos nucleares

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 15/03/2014

### Laboratorio para Ensayos de Irradiación-RADLAB

IPT-2011-1603-370000 MICINN (OPN - INNPACTO) Joaquín José Gómez Camacho 05/05/2011 al 31/12/2014

### Desarrollo de detectores de trazado de haces para SPIRAL II

AIC-D-2011-0649 MINECO (OPN - Internacionalización de la I+D+I) Marcos Aurelio González Álvarez 03/10/2011 al 03/10/2012

### Centro para ensayos de irradiación en Dispositivos para Espacio-CEIDES

TEC2010-22095-C03-02 MICINN (Plan Nacional del 2010) Yolanda Morilla García 08/12/2011 al 07/12/2013

Fusion Technology. 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 01/09/2017

### 7.1.3 Convenios y Contratos / Agreements and Contracts

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 (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa) Joaquín José Gómez Camacho 10/12/2009 al 10/12/2013

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

### Contrato entre Enresa y CNA

Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2010 al 31/01/2012

### Plan de vigilancia radiológica ambiental independiente de las instalaciones del Cabril y la fábrica de uranio de Andújar

OG-151/05 Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Rafael García-Tenorio García-Balmaseda y Guillermo Manjón 01/01/2011 renovable anualmente

### Detección de <sup>36</sup>Cl, <sup>243</sup>Am y <sup>236</sup>U mediante espectrometría de masas con aceleradores

de baja energía 1274/0223 Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) José María López Gutiérrez 01/08/2011 al 31/12/2011

### 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) (SAS) Joaquín José Gómez Camacho 16/11/2011 al 16/11/2012

### 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 José Gómez Camacho 01/02/2012 al 31/12/2014

### Convenio de colaboración entre CIEMAT y CNA

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2012 al 31/12/2012

### (Investigación) Contrato de Explotación temporal del laboratorio de radiofarmacia asociado al acelerador denominado CICLOTRON del CNA IBA Molecular Spain S.A Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2012 al 31/12/2012

7. Producción Científica / Scientific Production

# Contrato de Explotación temporal del laboratorio de radiofarmacia asociado al acelerador denominado CICLOTRON del CNA

IBA Molecular Spain S.A Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2012 al 31/12/2012

### Optimización de un procedimiento general para la determinación de isótopos de Torio en muestras ambientales e industriales

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 01/11/2012 al 31/12/2014

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

### 7.2 Artículos publicados / Published Articles

### 7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles

# <sup>129</sup>I measurements on the 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores (CNA, Spain)

J.M. Gómez-Guzmán, J.M. López-Gutiérrez, A.R. Pinto-Gómez, E. Holm Applied Radiation and Isotopes (70) (263-268) (2011)

**Comparison of methods and application of alpha spectrometry and mass spectrometry techniques for**<sup>239</sup>**Pu determination in biological samples** H. Hernández-Mendoza, E. Chamizo, A. Delgado, M. García-León, A. Yllera Journal of Analytical Atomic Spectrometry (26) (1509-1513) (2011)

### Presence of plutonium isotopes, <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu, in soils from Chile

E. Chamizo, M. García-León, J.I. Peruchena, F. Cereceda, V. Vidal, E. Pinilla, C. Miró Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (269) (3163-3165) (2011)

### Developing the IBA equipment to increase the versatility of the CNA

Y. Morilla, M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, J.A. Labrador, F.R. Palomo, I. Ortega-Feliu

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (273) (218-221) (2011)

### Combining non-destructive nuclear techniques to study Roman leaded copper coins from Ilipa (II–I centuries B.C.)

A.I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubío, M.A. Respaldiza, F. Chaves, I. Ortega-Feliu, M.A. Ontalba-Salamanca, F.J. Ager

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (269) (3098-3101) (2011)

### Red layered medieval stained glass window characterization by means of micro-PIXE technique

I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubío, M.A. Respaldiza, F. Capel Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (269) (2378-2382) (2011)

### Colored semi-transparent Cu-Si oxide thin films prepared by magnetron sputtering

J. Gil-Rosta, F. Yubero, R. Fernández, T. Vilajoana, P. Artús, J.C. Dürsteler, J. Cotrino, I. Ortega, A.R. González-Elipe Optical Materials Express (1) (1100-1112) (2011)

# Performance of ultrafast laser written active waveguides by rigorous modeling of optical gain measurements

J.A. Vallés, A. Ferrer, J.M. Fernández-Navarro, V. Berdejo, A. Ruiz de la Cruz, I. Ortega-Feliu, M.A. Rebolledo, J. Solís Optical Materials Express (1) (564, 571) (2011)

Optical Materials Express (1) (564-571) (2011)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Fabrication and characterization of an epitaxial graphene nanoribbon-based field-effect transistor

N. Meng, F.J. Ferrer, D.Vignaud, G. Dambrine, H. Happy IEEE Transactions on Electron Devices (58) (1594) (2011)

# Initial stages of graphitization on SiC(000-1), as studied by phase atomic force microscopy

F.J. Ferrer, E. Moreau, D. Vignaud, D. Deresmes, S. Godey, X. Wallart Journal of Applied Physics (109) (54307) (2011)

Level and origin of <sup>129</sup>I and <sup>137</sup>Cs in lichen samples (Cladonia alpestris) in central Sweden

J.M. Gómez-Guzmán, J.M. López-Gutiérrez, E. Holm, A.R. Pinto-Gómez Journal of Environmental Radioactivity (102) (200-205) (2011)

# Empirical characterization of a silicon strip detector for a novel 2D mapped method for dosimetric verification of radiotherapy treatments

A. Bocci, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, Z. Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez, M.A.C.G. Cortes Giraldo, J.M. Quesada, A. Perez Vega-Leal, F.J. Perez Nieto Radiotherapy and Oncology (99) (Supplement 1) (S172) (2011)

### Coverage induced regulation of Au nanoparticles during pulsed laser deposition

V. Resta, J. Gonzalo, C.N. Afonso, E. Piscopiello, J. García López Journal of Applied Physics (109) (94302) (2011)

# Characterization of scintillator screens for suprathermal ion detection in fusion devices

M. García-Muñoz, D. Jiménez-Rey, J. García López, B. Zurro, A. Baciero, H.U. Fahrbach, K.J. McCarthy Journal of Instrumentation (6) (4002) (2011)

# Early works on the nuclear microprobe for microelectronics irradiation tests at the CEICI (Sevilla, Spain)

F.R. Palomo, Y. Morilla, J.M. Mogollón, J. García López, J.A. Labrador, M.A. Aguirre Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (269) (2210-2216) (2011)

# Structural and optical properties of tellurite thin film glasses deposited by pulsed laser deposition

D. Muñoz-Martín, J.M. Fernández Navarro, J. Gonzalo, G. Jose, A. Jha, J.L.G. Fierro, C. Domingo, J. García López

Thin Solid Films (520) (131-137) (2011)

### Pigments applied in the panel painting by the master of female half-lengths

A. Kriznar, M.V. Muñoz, F. de la Paz, M.A. Respaldiza, M. Vega Revista electrónica, ISSN 1579-8410, www.rtphc.csic.es/boletin.htm (2011)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Portable XRF study of pigments applied in Juan Hispalense's 15<sup>th</sup> century panel painting

A. Krinar, V. Muñoz, F. de la Paz, M.A. Respaldiza, M. Vega X-Ray Spectrometry (40) (96-100) (2011)

### X-ray Fluorescence analytical criteria to assess the fineness of ancient silver coins: Application on Ptolemaic coinage

V. Kantarelou, F.J. Ager, D. Eugenidou, F. Chaves, A. Andreou, E. Kontou, N. Katsikosta, M.A. Respaldiza, P. Serafin, D. Sokaras, C. Zarkadas, K. Poliketri, A. G. Karydas Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy (66) (661-670) (2011)

### International Topical Conference on Po and Radioactive Lead Isotopes

E. Holm, R. García-Tenorio Journal of Environmental Radioactivity (102) (412-413) (2011)

# Physico-chemical and radioactive characterization of $TiO_2$ undissolved mud for its valorization

M.J. Gázquez, J. Mantero, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, F. Vaca, R.L. Lozano Journal of Hazardous Materials (191) (269-276) (2011)

# Uranium pollution in an estuary affected by pyrite acid mine drainage and naturally occurring radioactive materials releases

M. Villa, G. Manjón, S. Hurtado, R. García-Tenorio Marine Pollution Bulletin (62) (269-276) (2011)

### Centro Nacional de Aceleradores: Laboratory Portrait

J. Gómez-Camacho, R. García-Tenorio Nuclear Physics News (21.3) (5-12) (2011)

### An accurate method to measure alpha-emitting radionuclides in atmospheric filters: Application in two NORM Industries

R.L. Lozano, E.G. San Miguel, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (659) (557-568) (2011)

# Geant4 Simulation to study the Sensitivity of a MICRON Silicon Strip Detector Irradiated by a SIEMENS PRIMUS Linac

M.A. Cortés-Giraldo, M.I. Gallardo, R. Arráns, J.M. Quesada, A. Bocci, J.M. Espino, Z. Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez

Progress in Nuclear Science and Technology (2) (191-196) (2011)

### Development of slowed down beams at the fragment separator for FAIR

F. Naqvi, P. Boutachkov, M. Górska, J. Gerl, F. Farinon, E.T. Gregor, K. Hadynska, A Jhingan, R. Janik, I. Kojouharov, N.A. Kondratyev, M.A.G. Álvarez, I. Mukha, P. Napiorkowski, C. Nociforo, D. Pietak, W. Prokopowicz, S. Pietri, A. Prochazka, H. Schaffner, P. Strmen, H. Weick, H.J. Wollersheim

7. Producción Científica / Scientific Production

Acta Physica Polonica B (42) (3-4) (2011)

### Elastic scattering and alpha-particle production in <sup>6</sup>He+<sup>208</sup>Pb collisions at 22 MeV

L. Acosta, A.M. Sánchez-Benitez, M.E. Gomez, I. Martel, F. Pérez-Bernal, F. Pizarro, J. Rodríguez-Quintero, K. Rusek, M.A.G. Álvarez, M.V. Andrés, J.M. Espino, J.P. Fernández-García, J. Gómez-Camacho, A.M. Moro, C. Angulo, J. Cabrera, E. Casarejos, P. Demaret, M.J.G. Borge, D. Escrig, O. Tengblad, S. Cherubini, P. Figuera, M. Gulino, M. Freer, C. Metelko, V. Ziman, R. Raabe, I. Mukha, D. Smirnov, O.R. Kakuee, J. Rahighi Physical Review C: Nuclear Physics (84) (044604/1-7) (2011)

### The <sup>8</sup>Li+<sup>2</sup>H reaction studied in inverse kinematics at 3.15 MeV/nucleon using the REX-ISOLDE post-accelerator

E. Tengborn, A. Moro, T. Nilsson, M. Alcorta, M.J.G Borge, J. Cederkäll, C. Diget, L.M. Fraile, H.O.U Fynbo, J. Gómez-Camacho, H.B. H.T. Jeppesen, J.B. Johansson, O.S. Kirsebom, H.H. Knudsen, M. Madurg, G. Nyman, A. Richter, K. Riisager, G. Schrieder, O. Tengblad, N. Timofeyuk, M. Turrión, D. Voulot, F. Wenander Physical Review C: Nuclear Physics (84) (64616/1-12) (2011)

# Evidence of strong effects of the <sup>11</sup>Be halo structure on reaction processes at energies around the Coulomb barrier

A. Di Pietro, F. Amorini, P. Figuera, M. Fisichella, M. Lattuada, A. Musumarra, M. Papa, M.G. Pellegriti, G. Randisi, F. Rizzo, D. Santonocito, G. Scalia, V. Scuderi, E. Strano, D. Torresi, L. Acosta, I. Martel, F. Perez-Bernal, M.J.G Borge, A. Maira Vidal, O. Tengblad, L.M. Fraile, H. Jeppesen, D. Voulot, F. Wenander, J. Gómez-Camacho, M. Milin, R. Raabe, M. Zadro

Journal of Physics: Conference Series (312-Section 8) (82020/1-6) (2011)

### Structure effects in the reactions <sup>9,10,11</sup>Be+<sup>64</sup>Zn at the Coulomb barrier

V. Scuderi, A.D. Pietro, 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, D. Santonocito, G. Scalia, O. Tengblad, D. Torresi, A.M. Vidal, M. Zadro Journal of Physics: Conference Series (267) (1) (12012/1-6) (2011)

### New states in <sup>18</sup>Na and <sup>19</sup>Mg observed in the two-proton decay of <sup>19</sup>Mg

I. Mukha, L. Grigorenko, L. Acosta, M.A.G. Álvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina-Gil, J.M. Espino, A. Fomichev, J.E. García-Ramos, H. Geissel, J. Gómez-Camacho, J. Hofmann, O. Kiselev, A. Korsheninnikov, N. Kurz, Yu. A. Litvinov, I. Martel, C. Nociforo, W. Ott, M. Pfützner, C. Rodríguez-Tajes, E. Roeckl, C. Scheidenberger, M. Stanoiu, K. Sümmerer, H. Weick, P.J. Woods

Physical Review C: Nuclear Physics (85-4) (044325/1-6) (2012)

### Silicon strip detector for a novel 2D dosimetric method for radiotherapy treatment verification

**Centro Nacional de Aceleradores (CNA)** 

7. Producción Científica / Scientific Production

A. Bocci, M.A. Cortés-Giraldo, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, Z.Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez-Nieto Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (673) (98-106) (2012)

# Datación mediante radiocarbono de manuscritos medievales de la Universidad de Sevilla

F.J. Santos-Arévalo, I. Gómez-Martínez, M. García-León Revista Española de Física (26) (10-15) (2012)

# 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 B (294) (647-651) (2012)

### Reassement of plutonium in human urine samples at ultra-trace levels using Aridus-ICP-SFMS and AMS

H. Hernández-Mendoza, E. Chamizo, A. Delgado, M. García-León, A. Yllera Radiation Protection Dosimetry (1-8) (2012)

### Intercalibration of selected anthropogenic radionuclides for the Geotraces

T.C. Kenna, P. Masqué, J.L. Mas, P. Camara-Mor, E. Chamizo, J. Scholten, M. Eriksson, J.A. Sánchez-Cabeza, J. Gastaud, I. Levy, J. Herrmann, P. Lindahl, G-H Hong, S. Nielsen Limnology and Oceanography: Methods (10) (590-607) (2012)

# Anthropogenic <sup>129</sup>I concentration and <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I ratio in rainwater from Seville (Spain) in the period 2005-2008 as affected by airborne releases from Sellafield and La Hague facilities

J.M. Gómez-Guzmán, S.M. Enamorado-Báez, A.R. Pinto-Gómez, J.M. Abril-Hernández, J.M. López-Gutiérrez, M. García-León Atmospheric Environment (56) (26-32) (2012)

### First-order ion-optics calculations for an Accelerator Mass Spectrometry system using SRIM and S<sup>3</sup>M

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 B (281) (30-36) (2012)

# Design and experimental results of a preamplifier for particles tracking in secondary electron detectors

A. Garzón-Camacho, B. Fernández, M.A.G. Álvarez, J. Ceballos, J.M. de la Rosa Microelectronics Journal (MEJ-D-12-00106R1) (2012)

### Micromegas at low preassure for beam tracking

J. Pancin, B. Fernández, S. Damoy, M. Kebbiri, T. Papaevangelou, M. Riallot Journal of Instrumentation (7) (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

### Measurements of noninterceptive fluorescence profile monitor prototypes using 9 MeV deuterons

J.M. Carmona, I. Podadera, A. Ibarra, A. Bocci, M.C. Jiménez, J. García López, Z. Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez, B. Fernández

Physical Review Special Topics: Accelerators and Beams (15) (072801/1-10) (2012)

Performance of upstream interaction region detector for the FIRST experiment at GSI Z. Abou-Haidar, C. Agodi, M.A.G. Álvarez, M. Anelli, T. Aumann, G. Battistoni, A. Bocci, T.T. Bohlen, A. Boudard, A. Brunetti, M. Carpinelli, G.A.P. Cirrone, M.A. Cortes-Giraldo, G. Cuttone, M. De Napoli, M. Durante, J.P. Fernández-García, C. Finck, M.I. Gallardo, B. Golosio, E. Iarocci, F. Iazzi, G. Ickert, R. Introzzi, D. Juliani, J. Krimmer, N. Kurz, M. Labalme, Y. Leifels, A. Le Fèvre, S. Leray, F. Marchetto, V. Monaco, M.C. Morone, P. Oliva, A. Paoloni, V. Patera, L. Piersanti, R. Pleskac, J.M. Quesada, N. Randazzo, F. Romano, D. Rossi, V. Rosso, M. Rousseau, R. Sacchi, P. Sala, A. Sarti, C. Schuy, A. Sciubba, C. Sfienti, H. Simon, V. Sipala, E. Spiriti, L. Stuttge, S. Tropead, H. Younisf Journal of Instrumentation (7 P02006) (1-15) (2012)

### The FIRST experiment at GSI

R. Pleskac, Z. Abou-Haidar, C. Agodi, M.A.G. Álvarez, T. Aumann, G. Battistoni, A. Bocci, T. T. Böhlen, A. Boudard, A. Brunetti, M. Carpinelli, G.A.P. Cirrone, M.A. Cortes-Giraldo, G. Cuttone, M. De Napoli, M. Durante, C. Finck, B. Golosio, M. I. Gallardo, E. Iarocci, F. Iazzi, G. Ickert, R. Introzzi, D. Juliani, J. Krimmer, N. Kurz, M. Labalme, Y. Leifels, A. Le Fevre, S. Leray, F. Marchetto, V. Monaco, M.C. Morone, P. Oliva, A. Paoloni, L. Piersanti, J.M. Quesada, N. Randazzo, F. Romano, D. Rossi, M. Rousseau, R. Sacchi, P. Sala, A. Sarti, C. Scheidenberger, C. Schuy, A. Sciubba, C. Sfienti, H. Simon, V. Sipala, E. Spiriti, L. Stuttge, S. Tropea, H. Younis, V. Patera

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A (678) (130-138) (2012)

### Scattering of <sup>8</sup>He on <sup>208</sup>Pb at energies around the Coulomb Barrier

G. Marquínez-Durán, A.M. Sánchez Benítez, I. Martel, R. Berjillos, J. Dueñas, V.V. Parkar, L. Acosta, K. Rusek, M.A.G. Álvarez, J. Gómez-Camacho, M.J.G. Borge, C. Cruz, M. Cubero, V. Pesudo, O. Tengblad, A. Chbihi, J.P. Fernández-García, B. Fernández-Martínez, J.A. Labrador, A. H. Ziad, J. L. Flores, N. Keeley, L. Standylo, I. Strojek, M. Marques, M. Mazzocco, A. Pakou, N. Patronis, D. Pierroutsakou, R. Silvestri, R. Raabe, N. Soic, R. Wolski

Acta Physica Polonica B (43) (239-245) (2012)

# Output factor determination for dose measurements at axial and perpendicular planes using a silicon strip detector

Z. Abou-Haidar, A. Bocci, M.A.G. Álvarez, J.M. Espino, M.I. Gallardo, M.A. Cortes Giraldo, M.C. Ovejero, J. M. Quesada, R. Arráns, M. Ruiz-Prieto, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez Nieto

Physical Review Special Topics: Accelerators and Beams (15) (042802/1-7) (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

# A novel on-line treatment verification system based on silicon strip detectors for measuring 2D axial dose maps in radiotherapy

M.A. Cortés-Giraldo, Z. Abou-Haidar, A. Bocci, M.I. Gallardo, J.M. Espino, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada, R. Arráns, M.C. Ovejero, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez-Nieto Radiotherapy & Oncology (102-Supplement 1) (160-161) (2012)

# Influence of the fiber coating type on the strain response of proton-irradiated fiber Bragg gratings

E. Curras, A.L. Virto, D. Moya, I. Vila, J.G. Carrión, M. Frovel, J. García López, M.C. Jiménez, Y. Morilla, F.R. Palomo

IEEE Transactions on Nuclear Science (59, № 4) (937-942) (2012)

# Role of target conditioning on the thermo-optical response of bismuth nanostructures produced by pulsed laser deposition

R. Serna, M. Jiménez de Castro, J. Toudert, E. Haro-Poniatowski, J. García López Applied Physics A (On-line) (2012)

### Quantification of low levels of fluorine content in thin films

F.J. Ferrer, J. Gil-Rostra, A. Terriza, G. Rey, C. Jiménez, J. García-López, F. Yubero Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (274) (65-69) (2012)

### Developing the IBA equipment to increase the versatility of the CNA

Y. Morilla, M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, J.A. Labrador, F.R. Palomo, I. Ortega-Feliu

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (273) (218-221) (2012)

### PIXE analysis of U and Pu from hot particles: K-lines vs L-lines

M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, M. Eriksson, J. Jernstrom, R. García-Tenorio Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (273) (118-121) (2012)

### Tuning dichroic plasmon resonance modes of gold nanoparticles in optical thin films

L. González-García, J. Parra-Barranco, J.R. Sánchez-Valencia, J. Ferrer, M.C. García-Gutiérrez, A. Barranco, A.R. González-Elipe Advanced Functional Materials (On-line) (2012)

### Critical thickness and nanoporosity of TiO<sub>2</sub> optical thin films

A. Borras, R. Álvarez, J.R. Sánchez-Valencia, F.J. Ferrer, A.R. González-Elipe Microporous and Mesoporous Materials (160) (1-9) (2012)

### Microstructural and chemical characterization of nanostructured TiAlSiN

V. Godinho, T.C. Rojas, S. Trasobares, F.J. Ferrer, M.P. Delplancke-Ogletree, A. Fernández

Microscopy and Microanalysis (18) (568-581) (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Attenuation lengths of high energy photoelectrons in compact and mesoporous $\text{SiO}_{2}$ films

F. J. Ferrer, J. Gil-Rostra, L. González-García, J. Rubio-Zuazo, P. Romero-Gómez, M.C. López-Santos, F. Yubero Surface Science (606) (820-824) (2012)

Electrochromic Behavior of  $W_xSi_yO_z$  thin films prepared by reactive magnetron

sputtering at normal and glancing angles J. Gil-Rostra, M. Cano, J.M. Pedrosa, F.J. Ferrer, F. García-García, F. Yubero, A.R. González-Elipe

ACS Applied Materials and Interfaces (4) (628-638) (2012)

# Export of organic carbon and biominerals derived from <sup>234</sup>Th and <sup>210</sup>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 (I) (88-101) (2012)

# A sequential extraction technique for the determination of U and Th radioactive isotopes through alpha spectrometry in NORM samples

N. Casacuberta, M.Lehritani, J. Mantero, P. Masqué, J.García-Orellana, R. García-Tenorio

Applied Radiation Isotopes (70) (658-673) (2012)

### Uranium in the surrounding of San Marcos-Sacramento River environment (Chihuahua, Mexico)

M. Rentería-Villalobos, M. Reyes, J. Mantero, G. Manjón, R. García-Tenorio, E. Herrera, M. E. Montero-Cabrera

The Scientific World Journal (On-line) (2012)

# Use of the "red gypsum" industrial waste as substitute of natural gypsum for commercial cements manufacturing

M.J. Gázquez, J.P. Bolívar-Raya, F. Vaca-Galán, R. García-Tenorio, A. Mena Materiales de Construcción (62) (183-198) (2012)

# Determination of trace element concentrations stable lead, uranium and thorium isotope ratios by quadrupole-ICP-MS in NORM and NORM-polluted sample leachates

J.L. Mas, S. Hurtado, M. Villa, R. García-Tenorio Journal of Hazardous Materials (205/206) (198-207) (2012)

# Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of the Guadiana Estuary (SW Iberia)

J. Delgado, T. Boski, J.M. Nieto, L. Pereira, D. Moura, A. Gomes, C. Sousa, R. García-Tenorio

Quaternary Science Reviews (33) (121-141) (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Comparison of two Sequential Separation Methods for U and Th determination in environmental samples by alpha-particle spectrometry

M. Lehritani, J. Mantero, N. Casacuberta, P. Masqué, R. García-Tenorio Radiochimica Acta (100) (431-438) (2012)

# Influence of the Fukushima Daichi nuclear accident on Spanish environmental radioactivity levels

A. Baeza, J.A. Corbacho, A. Rodríguez, J. Galván, R. García-Tenorio, G. Manjón, J. Mantero, I. Vioque, D. Arnold, I. Serrano, I Vallés, A. Vargas
 Journal of Environmental Radioactivity (114) (138-141) (2012)

# Application of the alpha spectrometry for the study of core sediment extracted in the San Marcos dam in Chihuahua

C. Méndez, R. García-Tenorio, M. Rentería, M, Elena Montero Revista Mexicana de Física (58) (234-237) (2012)

# Do halo nuclei follow Rutherford elastic scattering at energies below the barrier? The case of <sup>11</sup>Li

M. Cubero, J.P. Fernández-García, M. Rodríguez-Gallardo, L. Acosta, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.J.G. Borge, L. Buchmann, C.A. Diget, H.Al 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., T. Nilsson, A.M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden Physical Review Letters (109) (262701/1-5) (2012)

# Scattering of the halo nucleus <sup>11</sup>Li and its core <sup>9</sup>Li on <sup>208</sup>Pb at energies around the Coulomb barrier

M.J.G. Borge, M. Cubero, J.P. Fernández-García, L. Acosta, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, L. Buchmann, C.A. Diget, H.Al. Falou, B. Fulton, H.O.U Fynbo, D. Galaviz, J. Gómez-Camacho, R. Kanungo, J.A. Lay, M. Madurga, I. Mukha, T. Nilsson, A.M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden

Journal of Physics: Conference Series (381-1) (012085/1-7) (2012)

# Elastic scattering and direct reactions of the 1n halo <sup>11</sup>Be nucleus on <sup>64</sup>Zn near the barrier

V. Scuderi, A. Di Pietro, 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, D. Santonocito, G. Scalia, O. Tengblad, D. Torresi, A.M. Vidal. M. Zadro Journal of Physics: Conference Series (381-1) (012050/1-6) (2012)

# Special issue: 22<sup>nd</sup> colloquium on high-resolution molecular spectroscopy HRMS Dijon 2011 (Part 2). An algebraic description of anharmonic diatom-diatom inelastic collisions in the semiclassical approximation

R.D. Santiago, O. Álvarez-Bajo, J.M. Arias, J. Gómez-Camacho, R. Lemusa Molecular Physics (110-17) (2003-2018) (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

### Particle motion in a deformed potential using a transformed oscillator basis

J.A. Lay, A.M. Moro, J.M. Arias, J. Gómez-Camacho Physical Review C: Nuclear Physics (85-5) (054618/1-12) (2012)

### Experimental study of the collision <sup>11</sup>Be+<sup>64</sup>Zn around the Coulomb barrier

A. Di Pietro, V. Scuderi , 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. Bernal Perez, R. Raabe, G. Randisi, F. Rizzo, G. Scalia, O. Tengblad, D. Torresi, A. Maira Vidal, D. Voulot, F. Wenander, M. Zadro

Physical Review C: Nuclear Physics (85-5) (054607/1-11) (2012)

# An algebraic approach to the collinear collision $N_2+N_2$ in the semiclassical approximation

R.D. Santiago, O. Álvarez-Bajo, J.M. Arias, J. Gómez-Camacho, R. Lemus International Journal of Quantum Chemistry (112-1) (16-27) (2012)

### 7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles

### Medida de sección eficaz estelar <sup>181</sup>Ta(n,γ) en el CNA

J. Praena, N. Dzysiuk, P.F. Mastinu, G. Martín-Hernández, J.M. Quesada, M. Lozano, J. Gómez-Camacho, J. García

Proceedings de XXXIII Reunión Bienal de la RSEF (207-208) (2011)

### Análisis con fluorescencia de rayos-X en la obra de Gonzalo Bilbao del Museo de Bellas Artes de Sevilla

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Gonzalo de Bilbao. Fondos del Museo de Bellas Artes de Sevilla. November 2011 - March 2012 (41-43) (2011)

# La Cena Sacramental del pintor anónimo perteneciente al círculo de Luis de Vargas (s. XVI) analizado por la técnica no-destructiva de XRF

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Libro de actas del XVIII Congreso Internacional Conservación y Restauración de Bienes Culturales (211-214) (2011)

# Nuevo sistema portátil de micro-fluorescencia de rayos X basado en óptica de policapilares para aplicaciones en Patrimonio Cultural

F.J. Ager, B. Gómez-Tubio, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza, S. Scrivano

Actas del I Congreso Internacional "El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo" (204) (2011)

# Caracterización de obras de Arte mediante técnicas nucleares de análisis no destructivo

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

F.J. Ager, F. Chaves, M.L. de la Bandera, B. Gómez-Tubio, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza, S. Scrivano

Actas del I Congreso Internacional "El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo" (205) (2011)

# Presentación de la Red Ciencia para el Patrimonio Histórico de la Universidad de Sevilla

R. Villegas Sánchez, M.A. Respaldiza Galisteo

Actas del I Congreso Internacional "El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo" (2011)

# Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega, E. Arroyo, J.L. Ruvalcaba Actas del I Congreso Internacional "El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo" (2011)

# Cromophore agents and grisaille composition of stained-glass Windows (16<sup>th</sup> century) from the Cathedral of Sevilla

B. Gómez-Tubio, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza, F. Capel Libro de resúmenes de 20<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis (2011)

### Materials applied in Bernardo Martorell`s painting, analyzed by portable XRF

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Resumes de Archeomtrie 2011, XVIIIe Colloque d'archomtrie du GMPCA (2011)

# Non-destructive XRF analysis of pigments and materials in a medieval panel painting by Master of Almonacid

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Libro de actas de ART2011, 10<sup>th</sup> International Conference on non-destructive investigation and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage (2011)

# 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

Libro de actas de Technart 2011, Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage (2011)

# Análisis no destructivo por XRF portátil del Retablo de la Natividad del Señor del Maestro de Moguer (siglo XVI)

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Libro de resúmenes, GeoLuc, Lisbon (IX Congreso Ibérico de Arqueometría) (241-246) (2011)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Determination of stable lead, thorium and uranium isotope ratios in NORM and NORM-polluted sample leachates using ICP-QMS

J.L. Mas, S. Hurtado, M. Villa, R. García-Tenorio

Proceedings 11<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis (40-54) (2011)

### Elastic scattering of Beryllium isotopes near the Coulomb barrier

A. Di Pietro, F. Amorini, P. Figuera, M. Fisichella, M. Lattuada, A. Musumarra, M. Papa, M.G. Pellegriti, G. Randisi, F. Rizzo, D. Santonocito, G. Scalia, V. Scuderi, E. Strano, D. Torresi, L. Acosta, I. Martel, F. Perez-Bernal, M.J.G. Borge, O. Tengblad, A.M. Vidal, L.M. Fraile, H. Jeppesen, D. Voulot, F. Wenander, J. Gómez-Camacho, M. Milin, R. Raabe, M. Zadro

AIP Conference Proceedings (1377) (144-151) (2011)

### Elastic scattering of <sup>9</sup>Li on <sup>208</sup>Pb at energies around the Coulomb barrier

M. Cubero, J.P. Fernández-García, J.A. Lay, L. Acosta, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.J.G. Borge, , L. Buchmann, D.G. Diget, B. Fulton, H.O.U. Fynbo, D. Galaviz, J. Gómez-Camacho, I. Martel, A.M. Moro, I. Mukha, T. Nilsson, A.M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden

AIP Conference Proceedings (1377) (338-340) (2011)

### Study of the scattering of halo nuclei around the Coulomb barrier

L. Acosta, M. Cubero, D. Escrig, J.P. Fernández-García, J.A. Lay, A.M. Moro, M. Rodríguez-Gallardo, A.M. Sánchez-Benítez, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.V. Andrés, C. Angulo, M.J.G. Borge, L. Buchmann, J. Cabrera, S. Cherubini, M.A. Cortés, P. Demaret, C.G. Diget, A. Di Pietro, J.M. Espino, P. Figuera, L.M. Fraile, M. Freer, B. Fulton, H.O.U. Fynbo, D. Galaviz, J.E. García-Ramos, M.E. Gómez, J. Gómez-Camacho, M. Gulino, O.R. Kakuee, M. Madurga, A. Maira-Vidal, I. Martel, C. Metelkoj, A. Musumarra, I. Mukha, F. Pérez-Bernala, J. Rahighi, G. Randisi, E. Reillob, J. Rodríguez-Quintero, K. Rusekn, V. Scuderi, A. Shotterf, D. Smirnov, O. Tengblad, P. Van Duppen, P. Walden, V. Ziman AIP Conference Proceedings (1336) (570-572) (2011)

# Long-lived radionuclides in residues from nuclear power plants operation and decommissioning

J.M. López-Gutiérrez, J.M. Gómez-Guzmán, E. Chamizo, J.I. Peruchena Libro de resúmenes de AMS-12 (177) (2011)

### Measurement of plutonium and uranium isotopes on the 1 MV AMS system at the CNA

E. Chamizo, M. García-León, R. García-Tenorio, M. Hotchkis Libro de resúmenes de AMS-12 (180) (2011)

# IAEA reference materials for quality assurance, quality control of marine radioactivity study

7. Producción Científica / Scientific Production

M.K. Pham, M. Betti, J. Bartocci, E. Chamizo, J. Gastaud, J.M. Gómez-Guzmán, J.H. Nies, E. Vasileva

Libro de resúmenes de International Symposium on Isotopes in Hidrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies (123) (2011)

### Determinación del cociente isotópico <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu en partículas calientes

M.C. Jiménez-Ramos, E. Chamizo, R. García-Tenorio, M. García-León Libro de resúmenes de XIII Congreso Nacional de la Sociedad Española de Protección Radiológica (130) (2011)

### Design and measurement of a preamplifier for particles tracking in secondary electrons detectors

A. Garzón, B. Fernández, M.A.G. Álvarez, J. Ceballos, J.M. de la Rosa Papers de 26<sup>th</sup> Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (291-295) (2011)

### RF characterization of epitaxial graphene nano-ribbon field effect transistors

N. Meng, F.J. Ferrer-Fernández, O. Lancry, E. Pichonate, D. Vignaud, G. Dambrime, H. Happy

Proceedings de 2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (2011)

### Detectores de trazado: Cámara de hilos y Micromegas a baja presión

B. Fernández, J. Pancin, M.A.G. Álvarez, T. Chaminade , S. Damoy , J. Dochler , D. Doré, A. Drouart, F. Druillole, G. Fremont, M. Kebbiri, E. Monmarthe, L. Nalpas, T. Papaevangleou, M. Riallot, H. Savajols

Actas de XXXIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física (1) (163-164) (2011)

### Empirical characterization of a silicon strip detector for a novel 2D mapped method for dosimetric verification of radiotherapy treatments

A. Bocci, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, Z.A. Haidar, M.A.G. Álvarez, M.A. Cortés-Giraldo, J.M. Quesada, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez-Nieto

Actas de Radiotherapy and Oncology (99) (Supplement 1) (S172) (2011)

### Análisis de los canales de ruptura del sistema <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb en torno a la barrera de Coulomb

J.P. Fernández-García, M. Cubero, L. Acosta, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.J.G. Borge, C. Diget, D. Galaviz, J. Gómez-Camacho, J.A. Lay, M. Madurga, I. Martel, A.M. Moro, I. Mukha, A.M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden

Actas de XXXIII Reunión Bienal de La Sociedad Española de Física (1) (137-138) (2011)

### Medida de <sup>26</sup>Al en Espectrometría de Masas con Acelerador de Baja Energía

S. Padilla, J.M. López-Gutiérrez, M. García-León Actas de XXXIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física (204) (2011)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Estudio Monte Carlo de optimización de un sistema detector de silicio para medidas de dosis 2D

M.A. Cortés-Giraldo, A. Bocci, Z. Abou-Haidar, M.I. Gallardo, J.M. Espino, H. Miras, R. Arráns, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada

Actas de XXXIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física (IV) (156-157) (2011)

# Caracterización de un detector de silicio para medida de dosis en 2D de tratamientos con radioterapia

A. Bocci, M.A. Cortés Giraldo, Z. Abou-Haidar, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez Nieto Actas de XXXIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física (I) (147-148)

(2011) (2011) Actas de XXXIII Reunion Bienal de la Real Sociedad Española de Fisica (I)

# Simultaneous analysis of elastic, break up and fusion channels of <sup>6</sup>He induced reactions on <sup>208</sup>Pb at energies near the Coulomb barrier

A. Moro, J.P. Fernández-García, M.A.G. Álvarez, M. Rodríguez-Gallardo Proceedings 5<sup>th</sup> International Conference of Fusion11 (2011)

### Fusion of <sup>8</sup>He with <sup>206</sup>Pb around Coulomb barrier energies

V.V. Parkar, G. Marquinez, I. Martel, A.M. Sánchez-Benítez, L. Acosta, R. Berjillos, J. Dueñas, J.L. Flores, J.P. Bolivar, A. Padilla, M.A.G. Álvarez, D. Beaumel, M.J.G. Borge, A. Chbihi, C. Cruz, M. Cubero, J.P. Fernández-García, B. Fernández Martínez, J. Gómez-Camacho, N.Keeley, J.A. Labrador, M. Marquis, M. Mazzocco, A. Pakou, N. Patronis, V. Pesudo, D. Pierroutsakou, R. Raabe, K. Rusek, R. Silvestri, L. Standylo, I. Strojek, N. Soic, O. Tengblad, R. Wolski, A. H. Ziad

Proceedings 5<sup>th</sup> International Conference of Fusion11 (2011)

# A preamplifier for the front-end readout system of particles tracking in secondary electron detectors

A. Garzón, B. Fernández, M.A.G. Álvarez, J. Ceballos, J.M. de la Rosa Proceedings de IEEE International Symposium on Circuits and Systems" (ISCAS) (1171-1174) (2012)

### In vitro stability of Na[<sup>18</sup>]F-Tetrafluoroborate ([<sup>18</sup>F]-TFB) at 10 hours

L. Fernández-Maza, M. de Miguel, M. Balcerzyk, I. Fernández-Gómez, A. Parrado-Gallego, J. Cobos-Sabaté

Libro de resúmenes de European Sympossium on Radiopharmacy and radiopharmaceuticals (69) (2012)

### Materials applied in Bernardo Martorell's painting analyzed by portable XRF

A. Kriznar, M.V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega ArchéoSciences 36 (2012)

7. Producción Científica / Scientific Production

# Análisis no destructivo por XRF portátil del Retablo de la Natividad del Señor del Maestro de Moguer (S. XVI)

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega Estudios Arqueológicos de Oeiras, 19 (2012)

### 7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books

# Accelerator Mass Spectrometry Measurement of <sup>129</sup>I in solid samples by a microwave based procedure

J.M. Gómez Guzmán, J.M. López Gutiérrez, A.R. Pinto Gómez, J.I. Peruchena, E. Holm Capítulo en libro "Environmental Radiochemical Analysis IV" (21-29) (2011) ISBN: 978-1-84973-155-3

### <sup>129</sup>I in Macroalgae (Fucus Vesiculosus) From the Swedish Coast

J.M. Gómez Guzmán, E. Holm, J.M. López Gutiérrez, N. Niagolova, A.R. Pinto Gómez Capítulo en libro "Environmental Radiochemical Analysis IV" (95-108) (2011) ISBN: 978-1-84973-155-3

# Virtual PET Scanner. From Simulation in GATE to a Final Multiring Albira PET/SPECT/CT Camera

M. Balcerzyk, L. Caballero, C. Correcher, A. González, C. Vázquez, J.L. Rubio, G. Kontaxakis, M.A. Pozo, J.M. Benlloch

Capítulo en libro "Positron Emission Tomography - Current Clinical and Research Aspects" (2012)

ISBN: 978-953-307-824-3

# Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega, E. Arroyo, J.L. Ruvalcaba Capítulo en libro "El Patrimonio Cultural y natural como Motor de Desarrollo: Investigación e Innovación" (2012) ISBN: 978-84-7993-225-1

# Nuevo sistema portátil de micro-fluorescencia de rayos X basado en óptica de policapilares para aplicaciones en Patrimonio Cultural

F.J. Áger, B. Gómez-Tubio, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suarez, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza, S. Scrivano

Capítulo en libro "El Patrimonio Cultural y natural como Motor de Desarrollo: Investigación e Innovación" (2012)

ISBN: 978-84-7993-225-1

# Presentación de la Red Ciencia para el Patrimonio Histórico de la Universidad de Sevilla

R. Villegas Sánchez, M.A. Respaldiza

Capítulo en libro "El Patrimonio Cultural y natural como Motor de Desarrollo: Investigación e Innovación" (2012)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

ISBN: 978-84-7993-225-1

# Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS). A summary report of the results of the EMRAS programme (2003-2007)

Rafael García-Tenorio García-Balmaseda (IAEA) Libro (2012) ISBN: 978-92-0-129810-2

### Radiation protection and norm residue management in the titanium dioxide and related industries

Rafael García-Tenorio García-Balmaseda (IAEA) Libro (2012) ISBN: 978-92-0-132110-7

### Radiocronología de sedimentos costeros utilizando <sup>210</sup>Pb: Modelos, validación y aplicaciones

Rafael García-Tenorio García-Balmaseda (IAEA) Libro (2012) ISBN: 978-92-0-325210-2

7. Producción Científica / Scientific Production

### 7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations

### 7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings

Structural disorder on SiC epilayers implanted with magnetic ions

J. García López, Y Morilla, J.C. Cheang Wong, G. Battistig, Z. Zolnai, J. Sánchez, C. Prieto XIII Workshop on Nuclear Physics (WONP2011) and VII International Symposium on Nuclear and Related Techniques (NURT2011) La Habana (Cuba) 07 al 11 Febrero 2011

# Joint measurements of <sup>234</sup>Th-<sup>210</sup>Po derived POC and biomineral export at the Porcupine Abyssal Plain

M. Villa, F.A.C. Le Moigne, R.J. Sanders, R. García-Tenorio, P. Masque Aslo 2011, Aquatic Scientific meeting San Juan de Puerto Rico (USA) 13 al 18 Febrero 2011

### A study of the Suess effect using a raised peat bog as historical archive

F.J. Santos, I. Gómez-Martínez, E. Holm, R. García-Tenorio 12<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry Wellington (Nueva Zelanda) 20 al 25 Marzo 2011

### Measurement of plutonium and uranium isotopes on the 1 MV AMS system at the CNA

E. Chamizo, M. García-León, R. García-Tenorio, M. Hotchkis 12<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry Wellington (Nueva Zelanda) 20 al 25 Marzo 2011

# Long-lived radionuclides in residues from nuclear power plants operation and decommissioning

J.M. López-Gutiérrez, J.M. Gómez-Guzmán, E. Chamizo, J.I. Peruchena
 12<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry
 Wellington (Nueva Zelanda)
 20 al 25 Marzo 2011

### AMS Measurements of <sup>129</sup>I in Seawater around Iceland and Irminger Sea

J.M. Gómez-Guzmán, M. Villa-Alfageme, F. Le Moigne, J.M. López-Gutiérrez
 12<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry
 Wellington (Nueva Zelanda)
 20 al 25 Marzo 2011

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

# IAEA reference materials for quality assurance, quality control of marine radioactivity study

M.K. Pham, M. Betti, J. Bartocci, E. Chamizo, J. Gastaud, J.M. Gómez-Guzmán, J. H. Nies, E. Vasileva International Symposium on Isotopes in Hidrology, Marine Ecosystems and Climate Change Studies Mónaco (Principado de Mónaco)

27 Marzo al 01 Abril 2011

### Study of the SUESS effect using a raised peat bog as historical archives

F.J. Santos Arévalo, E. Holm, R. García-Tenorio, I. Gómez Martínez
International Symposium on Isotopes in Hidrology, Marine Ecosystems and Climate
Change Studies
Mónaco (Principado de Mónaco)
27 Marzo al 01 Abril 2011

# Cromophore agents and grisaille composition of stained-glass windows (16<sup>th</sup> century) from the Cathedral of Sevilla

B. Gómez-Tubío, I. Ortega-Feliu, M.Á. Respaldiza, F. Capel 20<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis Itapema (Brasil) 10 al 15 Abril 2011

### Developing the IBA equipment to increase the versatility of the CNA

Y. Morilla, M.C. Jiménez Ramos, I. Ortega-Feliu, J. García López, J.A. Labrador, F.R. Palomo
20<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis
Itapema (Brasil)
10 al 15 Abril 2011

#### PIXE analysis of U and Pu from hot particles: K-lines vs L-lines

M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, M. Eriksson, J. Jernstrom, R. García-Tenorio 20<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis Itapema (Brasil) 10 al 15 Abril 2011

#### Materials applied in Bernardo Martorell's painting analyzed by portable XRF

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M. A. Respaldiza, M. Vega Archeomtrie 2011, XVIII<sup>e</sup> Colloque d'archomtrie du GMPCA Lieja (Bélgica) 11 al 15 Abril 2011

### Non-destructive XRF analysis of pigments and materials in a mediaeval panel painting by Master of Almonacid

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M. A. Respaldiza, M. Vega

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

ART2011, 10<sup>th</sup> International Conference on non-destructive investigation and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage Florencia (Italia)

13 al 15 Abril 2011

# 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 Technart 2011, Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage Berlín (Alemania) 26 al 29 Abril 2011

# Empirical characterization of a silicon strip detector for a novel 2D mapped method for dosimetric verification of radiotherapy treatments

A. Bocci ESTRO 2011 Londres (Reino Unido) 08 al 12 Mayo 2011

# Empirical characterization of a silicon strip detector for a novel 2D mapped method for dosimetric verification of radiotherapy treatments

A. Bocci, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, Z. Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez, M.A.C.G.
 Cortes Giraldo, J.M. Quesada, A. Perez Vega-Leal, F.J. Perez Nieto
 11<sup>th</sup> Biennial on Physics & Radiation Technology for Clinical Radiotherapy
 Londres (Reino Unido)
 08 al 12 Mayo 2011

### Breakup of <sup>11</sup>Li on <sup>208</sup>Pb at energies around the Coulomb barrier

J. P. Fernández-García
Advances in radioactive isotope science
Leuven (Bélgica)
29 Mayo al 03 Junio 2011

### RF characterization of epitaxial graphene nano-ribbon field effect transistors

N. Meng, F.J. Ferrer-Fernández, O. Lancry, E. Pichonate, D. Vignaud, G. Dambrime, H. Happy
2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium
Baltimore (USA)
05 al 10 Junio 2011

### <sup>239</sup>Pu/<sup>240</sup>Pu Atom Ratio Determinations in Hot particles

M.C. Jiménez-Ramos, E. Chamizo R. García-Tenorio, M. García-León International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity 2011

7. Producción Científica / Scientific Production

Ontario (Canada) 19 al 24 Junio 2011

### <sup>210</sup>Po in the Spanish Diet

I. Díaz-Francés, J. Mantero, G. Manjón, R. García-Tenorio International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity 2011 Ontario (Canada) 19 al 24 Junio 2011

### Micromegas & wire chambers at low pressure for beam tracking

B. Fernández, M. Kebbiri, J. Pancin, T. Papaevangleou, M. Álvarez, T. Chaminade, S. Damoy, J. Dochler, D. Doré, A. Drouart, F. Druillole, G. Fremont, E. Monmarthe, L. Nalpas, M. Riallot, H. Savajols
2<sup>nd</sup> International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors
Kobe (Japón)
29 Agosto al 01 Septiembre 2011

### Low refractive index SiOF thin films prepared by reactive magnetron sputtering

J. Gil-Rostra, F.J. Ferrer, F.J. González, A.R. González-Elipe, F. Yubero 14<sup>th</sup> European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis 2011 Cardiff (Gales) 04 al 09 Septiembre 2011

# Experimental evaluation of IMFP of photoelectrons in compact and mesoporous $SiO_2$ films with kinetic energies between 8 and 13 keV

F.J. Ferrer, L. González-García, J. Gil-Rostra, J. Rubio-Zuazo, G. Castro, F. Yubero 14<sup>th</sup> European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis 2011 Cardiff (Gales) 04 al 09 Septiembre 2011

### Uranium pollution in an estuary affected by two different contamination sources

G. Manjón, M. Villa, R. García-Tenorio, J. Mantero, S. Hurtado, M. Lehritani 6<sup>th</sup> International Conference on Uranium Mining and Hydrology Freiberg (Alemania) 15 al 21 Septiembre 2011

# Design and measurement of a preamplifier for particles tracking in secondary electrons detectors

A. Garzón, B. Fernández, M.A.G. Álvarez, J. Ceballos, J.M. de la Rosa Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS) Albufeira (Portugal) 16 al 18 Noviembre 2011

# Occupational and public dose assesment in a Spanish titanium doixide industry: a case study

7. Producción Científica / Scientific Production

R. García-Tenorio, J.P. Bolívar European ALARA network for NORM conference Hasselt (Bélgica) 22 al 24 Noviembre 2011

# Experimental evaluation of attenuation lengths of photoelectrons with kinetic energies between 8 and 13 keV in compact and mesoporous SiO<sub>2</sub> films

F.J. Ferrer, L. González-García, J. Gil-Rostra, J. Rubio-Zuazo, G. Castro, F. Yubero Hard X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Standing Waves: Status and Trends Grenoble (Francia) 6 al 8 Febrero 2012

### Presence and fate of Sr-90 in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident

N. Casacuberta, P. Masqué, J. García-Orellana, E. López-Castillo, R. García-Tenorio, S. Pike, K.O. Buesseler Fukushima Accident Workshop Salt Lake City (USA) 15 al 18 Febrero 2012

# Presence and fate of Sr-90 in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident

N. Casacuberta, P. Masqué, J. García-Orellana, E. López-Castillo, R. García-Tenorio, S. Pike, K.O. Buesseler
21012 Ocean Sciences Meeting
Salt Lake City (USA)
20 al 24 Febrero 2012

# A novel on-line treatment verification system based on silicon strip detectors for measuring 2D axial dose maps in radiotherapy

M.A. Cortés-Giraldo, Z. Abou-Haidar, A. Bocci, M.I. Gallardo, J.M. Espino, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada, R. Arráns, M.C. Ovejero, A. Pérez Vega-Leal, F.J. Pérez-Nieto International Conference on Translational Research in Radio-Oncology and Physics for Health in Europe (ICTR-PHE-2012) Ginebra (Suiza) 27 Febrero al 2 Marzo 2012

# Analysis of breakup channel for the <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb reaction at energies around the Coulomb barrier

J.P. Fernández-García, M. Cubero, J.A. Lay,L. Acosta, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.J.G
Borge, L. Buchmann, C.A. Diget, B. Fulton, D. Galaviz, J. Gómez-Camacho, M. Madurga,
I. Martel, A.M. Moro, I. Mukha, T. Nilsson
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB 2012)
Pisa (Italia)
26 al 29 Marzo 2012

7. Producción Científica / Scientific Production

# New tests of fluorescence beam profilers for the linear IFMIF prototype accelerator using 9 MeV deuteron beams

J.M. Carmona, I. Podadera, J. García López, M.C. Jiménez-Ramos Beam Instrumentation Workshop BIW'12 Jefferson Lab, Newport News (USA) 15 al 19 Abril 2012

### In vitro stability of Na[<sup>18</sup>]F-Tetrafluoroborate ([<sup>18</sup>F]-TFB) at 10 hours

L. Fernández-Maza, M. de Miguel, M. Balcerzyk, I. Fernández-Gómez, A. Parrado-Gallego, J. Cobos-Sabaté
 European Sympossium on Radiopharmacy and radiopharmaceuticals
 Nantes (Francia)
 26 al 29 Abril 2012

# Artificial radionuclides in the troposphere of Seville (Spain) due to the Fukushima accident, associated fallout and impact on the trophic chain

R. García-Tenorio, G. Manjón, J. Mantero, I. Vioque, J. Galván 13<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA Glasgow (Escocia) 13 al 18 Mayo 2012

# Evaluation of the amount of <sup>210</sup>Po ingested by the Spanish population and its relation to their diet habits

I. Díaz-Francés, R. García-Tenorio, J. Mantero, G. Manjón
 13<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA
 Glasgow (Escocia)
 13 al 18 Mayo 2012

# Implementation of a nanostructured Fabry-Perot cavity containing Au nanoparticles by pulsed laser deposition

R. Morea, X. Wang, F.J. Ferrer, J. García-López, B. Palpant, J. Gonzalo European Materials Research Society 2012 Spring Meeting Estrasburgo (Francia) 14 al 18 Mayo 2012

### Gold plasmon resonance modes in patterned dichoric thin films

L. González-García, J. Parra-Barranco, J.R. Sánchez-Valencia, F.J. Ferrer, M.C. García-Gutiérrez, A. R. González-Elipe, A. Barranco European Materials Research Society 2012 Spring Meeting Estrasburgo (Francia) 14 al 18 Mayo 2012

# Non-destructive X-Ray Fluorescence analysis of pigments in a 16<sup>th</sup> century panel painting

A. Kriznar, K. Laclavetine, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

4<sup>th</sup> International Meeting X-ray Techniques in Investigations of the Objects of Cultural Heritage
Cracovia (Polonia)
17 al 19 Mayo 2012

# A preamplifier for the front-end readout system of particles tracking in secondary electron detectors

A. Garzón, B. Fernández, M.A.G. Álvarez, J. Ceballos, J.M. de la Rosa 2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) Seul (Corea del Sur) 20 al 23 Mayo 2012

### Non-destructive analytical techniques as tools for the attribution of paintings related to Luis de Vargas and his followers

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega ISA 2012 – 39<sup>th</sup> The International Symposium on Archaeometry 250 years of ISA Leuven (Bélgica) 28 Mayo al 1 Junio 2012

### A protocol for radiological evaluation of NORM industries

J.P. Bolívar, R. García-Tenorio EU-NORM I International Symposium Tallín (Estonia) 05 al 08 Junio 2012

### <sup>210</sup>Po and <sup>210</sup>Pb in NORM mineral processing industries

R. García-Tenorio EU-NORM I International Symposium Tallín (Estonia) 05 al 08 Junio 2012

### Non-destructive Analysis of Pigments in a Triptych by Martin de Vos

A. Kriznar, K. Laclavetine, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega SR2A 2012 - Synchrotron Radiation in Art and Archaeology Nueva York (USA) 05 al 08 Junio 2012

### Compositional measurements in $SiO_2$ -GeO<sub>2</sub> Fiber Bragg Gratings using a nuclear microprobe

M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, I. Vila Multidisciplinary Applications of Nuclear Physics with Ion Beams (Ionbeam 2012) Padova (Italia) 06 al 08 Junio 2012

### Two panels by Pedro Villegas Marmolejo (16<sup>th</sup> century) analyzed by portable XRF
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M. A. Respaldiza, M. Vega 15<sup>th</sup> European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS-2012) Viena (Austria) 18 al 22 Junio 2012

## Portable confocal micro X-ray fluorescence (CXRF) setup for in situ analysis of paint layers

K. Laclavetine, F.J. Ager, J. Arquillo, A. Kriznar, M.A. Respaldiza 15<sup>th</sup> European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS-2012) Viena (Austria) 18 al 22 Junio 2012

## Identification of 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.L. de la Bandera, A. Marmolejo, M.A. Respaldiza

15<sup>th</sup> European Conference on X-Ray Spectrometry (EXRS-2012) Viena (Austria) 18 al 22 Junio 2012

# Releases and distribution of Sr-90, Sr-89 and Pu isotopes in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident

N. Casacuberta, P. Masqué, J. García-Orellana, T. C. Kenna, R. García-Tenorio, S. Pike, K.O. Buesseler 2012 Aslo Aquatic Sciences Meeting lake Biwa (Japón) 08 al 13 Julio 2012

#### Particles, light and antimatter: new ways to battle cancer

C.P. Welsch, J.M. Espino, S. Tegami Euroscience Open Forum 2012 Dublín (República de Irlanda) 12 al 16 Julio 2012

#### 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
13<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Microprobe Technology & Applications 2012 (ICNMTA-2012)
Lisboa (Portugal)
22 al 27 Julio 2012

#### Structural and magnetic properties of SiC single crystals implanted with nonmagnetic ions

J. García López, J. Sánchez, C. Prieto

7. Producción Científica / Scientific Production

XXI International Material Research CongressCancún (México)12 al 17 Agosto 2012

# Fast-ion redistribution and loss due to edge perturbations in the ASDEX Upgrade, DIII-D and KSTAR tokamaks

M. García Muñoz, S. Akaslampolo, O. Asunta, J. Boom, X. Chen, I.G.J. Classen, R. Dux, T.E. Evans, S. Fietz, R. K. Fisher, C. Fuchs, B. Geiger, W.W. Heidbrink, M. Hoelzl, V. Igochine, J. Kim, J.Y. Kim, T. Kurki-Suonio, B. Kurzan, N. Lazányi, N. Luhmann, T. Lunt, R.M. McDermott, M. Maraschek, M. Nocente, H. Park, G.I. Pokol, D.C. Pace, T.L. Rhodes, K. Shinohara, W. Suttrop, M.A. Van Zeeland, E. Viezzer, M. Willensdorfer, E. Wolfrum, the ASDEX Upgrade, DIII-D, KSTAR Teams International Atomic Energy Agency (IAEA) Fusion Energy Conference (FEC) San Diego (USA) 08 al 13 Octubre 2012

#### Application of X-Ray computed tomography to organ cryopreservation

A. Corral, M. Balcerzyk, R. López, I. Fernández, A. Parrado, L. Fernández, D. Regalado, R. Risco
Advances in low temperature Biology
Londres (Reino Unido)
11 al 13 Octubre 2012

# Characterization of primary and secondary thyroid tumors with a novel PET tracer [<sup>18</sup>F]-Tetrafluoroborate in a rat model

M. Balcerzyk, I. Fernández-Gómez I, L. Fernández-Maza, A. Parrado-Gallego, J. Cobos-Sabaté, J. Mínguez-Molina, J. Martin-Rodríguez, A. Leal-Cerro, M. de Miguel-Rodríguez 24<sup>th</sup> Congress European Association of Nuclear Milan (Italia) 27 al 31 Octubre 2012

# Uranium and Thorium-isotopes radiochemical separation and quantification in NORM samples by alpha-spectrometry

N. Casacuberta, J. Mantero, M. Lehritani, J. García-Orellana, P. Masqué, R. García-Tenorio

European ALARA Network for NORM, 5<sup>th</sup> Workshop "Measurement strategies in NORM"

Dresde (Alemania) 04 al 06 Diciembre 2012

# Propriétés structurales et magnétiques des monocristaux de SiC implantés avec des ions magnétiques et non-magnétiques

J. García López

Ion Beam Analysis Francophone. 4<sup>e</sup> Rencontre "Analyse par faisceaux d'ions rapides" Sant Paul Lès Durance (Francia)

7. Producción Científica / Scientific Production

#### 11 al 14 Diciembre 2012

#### 7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings

## Caracterización de obras de arte mediante técnicas nucleares de análisis no destructivo

F.J. Ager-Vázquez, F.J. Chaves, M.L. De La Bandera, B.M. Gómez-Tubío, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza-Galisteo, S. Scrivano I Congreso Internacional: El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación

Jaén (España)

26 al 28 Enero 2011

# Nuevo sistema portátil de micro-fluorescencia de rayos X basado en óptica de policapilares para aplicaciones en patrimonio cultural

F.J. Ager-Vázquez, B.M. Gómez-Tubío, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, M.A. Respaldiza-Galisteo, S. Scrivano

I Congreso Internacional: El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación

Jaén (España) 26 al 28 Enero 2011

#### Presentación de la Red Ciencia para el Patrimonio Histórico de la Universidad de Sevilla

R. Villegas Sánchez, M.A. Respaldiza Galisteo
I Congreso Internacional: El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación
Jaén (España)
26 al 28 Enero 2011

# Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas

A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega, E. Arroyo, J.L. Ruvalcaba
I Congreso Internacional: El Patrimonio Cultural y Natural como motor de desarrollo: Investigación e Innovación
Jaén (España)
26 al 28 Enero 2011

#### Aplicaciones de Técnicas Nucleares de análisis no destructivo al Patrimonio Cultural

I Jornada Científica de la Red Ciencia para el Patrimonio Histórico de la Universidad de Sevilla

M.A. Respaldiza, F. J. Ager, B. Gómez-Tubio, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, S. Scrivano Sevilla (España) 01 Febrero 2011

7. Producción Científica / Scientific Production

#### <sup>210</sup>Po en organismos marinos consumidos por la población sevillana

 I. Díaz-Francés, J. Mantero, G. Manjón, R. García-Tenorio
 II Congreso de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica Sevilla (España)
 10 al 13 Mayo 2011

## Caracterización de isótopos de plutonio en muestras de aire mediante técnicas retrospectivas ultrasensibles

C. Gascó, J.A. Trinidad, E. Chamizo, E. Fernández, C. Pérez, R. García-Tenorio II Congreso de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica Sevilla (España) 10 al 13 Mayo 2011

## Evaluación radiológica de un complejo industrial NORM atendiendo al reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes

F. Mosqueda, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, F. Vaca, R. Lozano, I. López II Congreso de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica Sevilla (España) 10 al 13 Mayo 2011

#### <sup>14</sup>C en dieta humana en tres localizaciones españolas

 I. Gómez-Martínez, F.J Santos, G. Manjón, R. García-Tenorio
 II Congreso de las Sociedades Españolas de Física Médica y Protección Radiológica Sevilla (España)
 10 al 13 Mayo 2011

# Caracterización de un sistema de verificación de dosis dedicado a tratamientos de radioterapia basado en un detector de silicio de multi-tiras

A. Bocci, M.A. Cortes Giraldo, M.I. Gallardo, J.M. Espino, R. Arráns, Z. Abou Haidar, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada, A.P. Vega-Leal, F.J Pérez Nieto
II Congreso Conjunto SEFM-SEPR (Sociedad Española de Física Médica - Sociedad Española de Protección Radiológica)

Sevilla (España)

10 al 13 Mayo 2011

#### Determinación del cociente isotópico <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu en partículas calientes

M.C. Jiménez-Ramos, E. Chamizo, R. García-Tenorio, M. García-León XIII Congreso Nacional de la Sociedad Española de Protección Radiológica Sevilla (España) 10 al 13 Mayo 2011

#### Natural radionuclides as tracers of aerosols from southwest Spain

R.L. Lozano, M. Sorribas, C. Martínez, E. Cuesta, E.G. San Miguel, J.P. Bolívar, M. Casas-Ruiz, R. García-Tenorio

Recta Conference, V Reunión Española de Ciencia y Tecnología de Aerosoles

7. Producción Científica / Scientific Production

Madrid (España) 27 al 29 Junio 2011

#### Aplicaciones de Técnicas Nucleares de análisis no destructivo al Patrimonio Cultural

M.A. Respaldiza, F.J. Ager, B. Gómez-Tubio, A. Kriznar, K. Laclavetine, A.I. Moreno-Suárez, I. Ortega-Feliu, S. Scrivano
I Reunión de la Red Technoheritage
Madrid (España)
28 al 29 Junio 2011

# Análisis no destructivo mediante XRF de las monedas de plata procedentes de Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real)

A.I. Moreno-Suárez, F.J. Ager, B. Gómez-Tubo, S. Scrivano, M.A. Respaldiza, F. Chaves,
R. Pliego, M. Rodríguez-Ramos
IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de metal
Madrid (España)
13 al 17 Septiembre 2011

#### Análisis de los canales de ruptura del sistema <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb en torno a la barrera de Coulomb

J. P. Fernández-García XXXIII Reunión Bienal de Física de la RSEF Santander (España) 19 al 23 Septiembre 2011

#### Medida de <sup>26</sup>Al en espectrometría de masas con acelerador de baja energía

S. Padilla, J.M. López-Gutiérrez, M. García-León XXXIII Reunión Bienal de Física de la RSEF Santander (España) 19 al 23 Septiembre 2011

# Estudio Monte Carlo de optimización de un sistema detector de silicio para medidas de dosis 2D

M.A. Cortés-Giraldo, A. Bocci, Z. Abou-Haidar, M.I. Gallardo, J. M. Espino, H. Miras, R. Arráns, M.A.G. Álvarez, J.M. Quesada XXXIII Reunión Bienal de Física de la RSEF Santander (España) 19 al 23 Septiembre 2011

#### Detectores de trazado: Cámara de hilos y micromegas a baja presión

B. Fernández, J. Pancin, M. Álvarez, T. Chaminade, S. Damoy, J. Dochler, D. Doré, A. Drouart, F. Druillole, G. Fremont, M. Kebbiri, E. Monmarthe, L. Nalpas, T. Papaevangleou, M. Riallot, H. Savajols XXXIII Reunión Bienal de Física de la RSEF Santander (España)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

19 al 23 Septiembre 2011

# Virtual PET Scanner. From simulation in GATE to a final multiring small animal Albira PET/SPECT/CT camera

M. Balcerzyk Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Valencia (España) 23 al 29 Octubre 2011

# Caracterización de los diferentes tipos de paleo-soldaduras de oro mediante microfluorescencia de rayos X (µXRF)

S. Scrivano XVIII Congreso Internacional de Conservación y Restauración de Bienes Culturales Granada (España) 09 al 11 Noviembre 2011

#### **Radiation and Particle Therapy**

A. Bocci
 Ditanet International Conference: Accelerator instrumentation and beam diagnostics
 Sevilla (España)
 09 al 11 Noviembre 2011

#### From Nuclear Reactions and Instrumentation to Medical Applications

Z. Abou-Haidar
 Ditanet International Conference: Accelerator instrumentation and beam diagnostics
 Sevilla (España)
 09 al 11 Noviembre 2011

## Silicon strip detector for a novel 2D dosimetric method for radiotherapy treatment verification

A. Bocci
6<sup>th</sup> Ditanet topical worskhop on particle detection techniques
Sevilla (España)
09 al 11 Noviembre 2011

# Analysis of sinking particle speed through the water column using <sup>210</sup>Po-<sup>210</sup>Pb concentration profiles

M. Villa, F. de Soto, M. Salvador, F. Le Moigne, S. Giering, R. García-Tenorio, R. Sanders 3<sup>rd</sup> Geotraces Data-Model Sinergy Workshop Barcelona (España) 14 al 15 Noviembre 2011

## 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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

VII Jornadas de Calidad sobre el Control de la Radiactividad Ambiental Tarragona (España) 30 Mayo al 1 Junio 2012

## Producción y evaluación de [<sup>18</sup>F]-TFB como radiotrazador PET para la detección de enfermedades tiroideas

J. Cobos, M. Balcerzyk, L. Fernández, S.F. García, I. Fernández, A. Parrado, M. de Miguel XXXII Congreso SEMNIM Cádiz (España) 13 al 15 Junio 2012

## Diseño, obtención y caracterización de titanio con porosidad gradiente implementando la técnica de espaciadores

Y. Torres, J.J. Pavón, M. Balcerzyk, J. Cobos, A. Iglesias-Linares, P. Trueba, J.A. Rodríguez
IV Congreso Nacional de Pulvimetalurgia
Sevilla (España)
20 al 22 Junio 2012

## On the influence of space holder in properties of porous titanium for bone replacement

Y. Torres, J.J. Pavón, J. Cobos, V. Amigó, J. Bris, J.A. Rodríguez
IV Congreso Nacional de Pulvimetalurgia
Sevilla (España)
20 al 22 Junio 2012

#### Nanostructures plasmónicas producidas mediante depósito por láser pulsado

J. Gonzalo, G. Baraldi, M. Carrada, A. Arbouet, V. Paillard, F.J. Ferrer, J. García López X Reunión Nacional de Óptica Zaragoza (España) 4 al 7 Septiembre 2012

#### Molecular imaging of experimental thyroid proliferative disorders

M. de Miguel, J. Cobos, M. Illanes, E. Díaz-Parrado, S. Alfonsi, R. García-Marín, M. Balzercyk, L. Fernández, I. Fernández, A. Parrado IUBMB-FEBS Sevilla (España) 4 al 9 Septiembre 2012

# Development, calibration and operation of fast-ion loss detectors (FILD) for magnetically confined fusion devices

M. Carmona Gázquez, J. García López, M. García Muñoz, M.C. Jiménez Ramos International Scientific Meeting on Nuclear Physics La Rábida, Huelva (España) 9 al 13 Septiembre 2012

7. Producción Científica / Scientific Production

#### **Pigments and painting preparations of Gonzalo Bilbao analyzed by non-destructive XRF technique by Pedro Villegas Marmolejo (16<sup>th</sup> century) analyzed by portable XRF** A. Kriznar, M.V. Muñoz, M.A. Respaldiza, M. Vega

Research Advances for the Conservation of Cultural Heritage. International Congress on Science and Technology Santiago de Compostela (España) 02 al 05 Octubre 2012

#### Modelo farmacocinético de bioequivalencia de vía intraósea vs intravenosa. Resultados preliminares

M.J. Mayorga-Buiza I., Fernández-Gómez, A. Parrado, D. Parrado, M. Balcerzyk, J. Márquez-Rivas
Reunión Anual de Asociación Andaluza-Extremeña de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor
Jaén (España)
22 al 24 Noviembre 2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

# 7.4 Tesis Doctorales y Trabajos Fin de Máster / Theses and Final Master Projects

#### 7.4.1 Tesis Doctorales / Theses

Diseño de nuevas aleaciones inoxidables superduplex para aplicaciones avanzadas Carlos Muñoz Luque Director: José Antonio Odriozola Gordon y Francisco Javier García López 25/03/2011 Sobresaliente

## Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos afectados por actividades mineras en el área de Riotinto (España)

María López Pérez Director/a: Isabel González Díez y Francisco Javier García López 15/07/2011 Sobresaliente Cum Laude

# Determinación de isótopos de Uranio y Torio en muestras ambientales por espectrometría alfa: solución de problemas metodológicos y aplicaciones medioambientales

Mouloud Lehritani Hritane Director: Guillermo Manjón Collado, Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 26/6/2012 Sobresaliente Cum Laude

# Análisis de los canales de ruptura de la reacción <sup>11</sup>Li+<sup>208</sup>Pb a energías en torno de la barrera coulombiana

Juan Pablo Fernández García Director: Marcos Aurelio González Álvarez, Antonio Matías Moro Muñoz 29/11/2012 Sobresaliente Cum Laude

#### 7.4.2 Proyecto de Fin de Máster / Final Master Project

Diseño de un receptor de línea de señal mixta para detectores de trazado de haces de partículas Alejandro Garzón Camacho Director: José Manuel De La Rosa Utrera, Marcos Aurelio Álvarez González 13/12/2012 Sobresaliente

7. Producción Científica / Scientific Production

#### 7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings

#### 7.5.1 Cursos / Courses

Técnicas No Destructivas Aplicadas a la Conservación del Patrimonio Histórico Especialización 2011 Profesor: Francisco Javier Santos Arévalo, Inés Ortega Feliu

#### Máster de Física Médica

Máster

2011 y 2012 Profesor: Francisco Ja

Profesor: Francisco Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo (Fundamentos de Instrumentación), Joaquín José Gómez Camacho (Métodos Matemáticos), Marcos Aurelio González Álvarez, José Manuel Espino Navas, Rafael García-Tenorio García-Balmaseda (Detectores y medidas de la radiación ionizante)

#### Máster de Física Avanzada

Máster

2011 y 2012

Profesor: Francisco Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo (Aceleradores de Partículas y Espectroscopía) José Manuel Espino Navas (Espectroscopía), Joaquín José Gómez Camacho (Aceleradores de Partículas)

#### Máster de Física Nuclear

Máster 2011 y 2012 Profesor: Francisco Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo (Física Nuclear Experimental), Marcos Aurelio González Álvarez (Física Nuclear de Reacciones)

#### Máster de Arqueología

Máster 2011 y 2012 Profesor: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo (Arqueometría)

## Métodos Físicos de Análisis de capas finas y superficies de sólidos: Prácticas de Retrodispersión Rutherford

Curso de Postgrado 2011 y 2012 Profesor: Francisco Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

#### Máster Universitario en Cambio Global

Máster 2012 Profesor: Francisco Javier Santos Arévalo

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

#### 7.5.2 Coloquios / Seminars

Síntesis de Radiofármacos PET en la Universidad de Navarra Dª. Luisa María Pérez (Clínica Universitaria de Navarra) CNA Sevilla (España) 27/01/2011

#### Medida de <sup>26</sup>Al en Espectrometría de Masas con Acelerador a Bajas Energías

D. Santiago Padilla Domínguez (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 11/03/2011

## Tándem 3 MV. Aplicaciones en Ciencia de Materiales: Películas de tipos duros y fluorescentes

Dr. Francisco Javier Ferrer Fernández (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 08/04/2011

#### Desarrollo y aplicaciones de la línea externa del Ciclotrón

Dª. Mª del Carmen Jiménez Ramos (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 09/06/2011

#### Síntesis de Radio fármacos e Imagen Molecular (PET & TAC)

D<sup>a</sup>. Isabel Fernández Gómez y D. Ángel Luis Parrado Gallego (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 21/06/2011

#### Applications of Accelerator Mass Spectrometry to nuclear residues at CNA

Dr. José Mª López Gutiérrez (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 29/06/2011

#### Producción de Radiofármacos en el CNA. De la investigación preclínica a la clínica

Dra. Laura Fernández Maza (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 16/09/2011

7. Producción Científica / Scientific Production

#### The n\_TOF facility at CERN: Detectors, techniques and measurement

Dr. Carlos Guerrero (CERN: Physics Department) CNA Sevilla (España) 28/10/2011

#### Avances sobre el estudio de los impactos del cambio global y climático en México

Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández y Dr. Joan Albert Sánchez Cabeza (Instituto Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM) CNA Sevilla (España) 28/09/2012

#### New <sup>14</sup>C-AMS facility in Brazil with applications in archaeology, climatology, geology, etc Prof. Roberto Gomes (Universidad Federal Fluminense de Río de Janeiro) CNA Sevilla (España) 04/10/2012

#### 7.5.3 Eventos / Meetings

Positron Emission Tomography (PET), Computer Tomography and PET tracer preparations School CNA Sevilla (España) 07/06/2011

#### 6<sup>th</sup> Ditanet Topical Worskhop on Particle Detection Techniques

Workshop CNA Sevilla (España) 07/11/2011 al 08/11/2011

#### Ditanet International Conference: Accelerator instrumentation and Beam Diagnostics

Conferencia CNA Sevilla (España) 09/11/2011 al 11/11/2011

#### Jornadas Técnicas del Vacío

Jornada-Taller CNA Sevilla (España) 07/05/2012 al 08/05/2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

#### Reunión NuPECC Meeting Casa de la Ciencia del CSIC Sevilla (España) 05/10/2012 al 06/10/2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

## 8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

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 2011 y 2012.

In this section is available the information about accelerators use statistics and their users in 2011 and 2012.

8.1 Estadísticas de uso / Statistics

<u>Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator</u>. En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador Tándem de 3 MV en los años 2011 y 2012.

In the next table, the 3 MV Tandem Accelerator statistics are shown.

Año 2011:	Year 2011:	
Días laborables útiles: 216	Total work time: 216 days	
Días en uso: 116 (53%)	In use: 116 (53%)	
Días de mantenimiento: 64 (30%)	Maintenance: 64 (30%)	
Días sin uso: 36 (17%)	Not in use: 36 (17%)	

Año 2012:	Year 2012:
Días laborables útiles: 223	Total work time: 223 days
Días en uso: 126 (57%)	In use: 126 (57%)
Días de mantenimiento: 49 (22%)	Maintenance: 49 (22%)
Días sin uso: 48 (21%)	Not in use: 48 (21%)

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 2011 y 2012.

In the next table, the 1 MV Tandetron Accelerator satatistics are shown.

Año 2011: Días laborables útiles: 249 Días en uso: 73 (30%) Días de mantenimiento: 58 (23%) Días sin uso: 118 (47%) Year 2011: Total work time: 249 days In use: 73 (30%) Maintenance: 58 (23%) Not in use: 118 (47%)

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Año 2012:	Year 2012:	
Días laborables útiles: 248	Total work time: 248 days	
Días en uso: 32 (12%)	In use: 32 (12%)	
Días de mantenimiento: 46 (19%)	Maintenance: 46 (19%)	
Días sin uso: 170 (69%)	Not in use: 170 (69%)	

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 2011 y 2012.

In the next table, the different radiopharmaceuticals, which are produced in the Cyclotron Accelerator, are shown.

Año 2011:	Year 2011:	
Actividad total de <sup>18</sup> F-FDG :	Total <sup>18</sup> F-FDG activity produced:	
116.32 TBq	116.32 TBq	
Actividad total de <sup>18</sup> F-DOPA :	Total <sup>18</sup> F-DOPA activity produced:	
6.07 GBq	6.07 GBq	
Actividad total de <sup>11</sup> C-Colina:	Total <sup>11</sup> C-Colina activity produced:	
0 GBq	0 GBq	
Año 2012:	Year 2012:	

Actividad total de <sup>18</sup> F-FDG :
61.39 TBq
Actividad total de <sup>18</sup> F-DOPA :
171.96 GBq
Actividad total de <sup>11</sup> C-Colina:
180 GBq

Total <sup>18</sup>F-FDG activity produced: 61.39 TBq Total <sup>18</sup>F-DOPA activity produced: 171.96 GBq Total <sup>11</sup>C-Colina activity produced: 180 GBq

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

8.2 Gráficos estadísticos de los Aceleradores Tándem de 3 MV y Tandetrón de 1 MV / 3 MV Tandem and 1 MV Tandetron Accelerators 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 2011 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2011)



Accelerator Statistics (2012)

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

#### 8.2.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS)







Tandetron Accelerator Statistics (2012)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

#### 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 2011 and 2012, are shown in the following section.

Año 2011 / Year 2011. Universidad de Sevilla Universidad de Granada Universidad de Extremadura Universidad de La Laguna Universidad de Barcelona Universidad de Huelva Universidad de Salamanca Universidad de Santiago de Compostela Universidad Autónoma de Madrid Universidad del País Vasco Universidad Autónoma de México Instituto de Óptica Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla Instituto de Química-Física Rocasolano Instituto Nacional del Carbón Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico Institució Milá i Fontanals Instituto de Física de Cantabria Instituto Alavés de Arqueología Instituto Geológico y Minero de España Instituto de Estudios Gallegos Padre Sarmiento Instituto Superior Técnico Institute des Nanosciencies de Paris Museo Nacional de Ciencias Naturales Museo de Almería Organización Internacional de la Energía Atómica Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla CIEMAT DUCARES B.V Bauen S.A Patronato Municipal Víctor Rubio Chávarri Villapedre UTE Gestión Cultural Larrate Gestión Patrimonio Cultural S.L Holcin España S.A Usuarios particulares

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

#### 8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Año 2012 / Year 2012. Universidad de Sevilla Universidad de Santiago de Compostela Universidad de Granada Universidad de Huelva Universidad de Extremadura Universidad Politécnica de Madrid Universidad de Cádiz Universidad Carlos III de Madrid Universidad del País Vasco Universidad Complutense de Madrid Universidad Autónoma de Barcelona Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra Instituto de Cerámica y Vidrio Instituto de Óptica Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Instituto Pirenaico de Ecología Instituto de Ciencias del Patrimonio Institució Milá i Fontanals Instituto de Química-Física Rocasolano Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid Escuela de Estudios Árabes International Nuclear Safety Centre Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía Generalitat de Cataluña Servicio Territorial de Medio Ambiente Ayuntamiento de la Font de la Figuera Ayuntamiento de la Torre de la Capdella Ayuntamiento de Valencina de la Concepción Organización Internacional de la Energía Atómica Fundación de Investigación de la Universidad de Sevilla Fundación Museo Atarazanas Fundació Bosch i Gimpera Fundació de la Comunidad Valenciana Mare Nostrum CIFMAT **ENRESA** TRAD Centro Cultural Pablo Neruda Gestión Patrimonio Cultural S.L Argueoiberia Estudios S.L Usuarios particulares

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

# 9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies 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 $H^+$ / PIXE with $H^+$	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 proccesing	15,60€	31,20€	41,60€

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

Notas:

-Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y 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 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. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

# 9.2 Medidas de <sup>14</sup>C y Datación / <sup>14</sup>C Measurements and Radiocarbon Dating

Servicio de medida de $^{14}$ C / $^{14}$ C Measuments	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Preparación de la muestra / Sample preparation	65,52€	109,20 €	166,40€
Medida y análisis de resultados / Measurement and data analysis	98,28€	163,80€	249,60€
Proceso completo / Whole analysis	163,80€	273€	416€

#### Notas:

-Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y 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 <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>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 Junta de Andalucía. -Group 2 prices for other public research institutions.

-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  ${}^{14}C/{}^{12}C$  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.

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

-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. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

## 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 (dinamico) / Dinamics <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, CSIC y 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 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 panned studies, ask for quotes.

-Prices do not include V.A.T.

#### Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

# 9.4 Análisis de Isótopos de Plutonio, <sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>Pu, por AMS / Pu isotopes analysis, <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu, by AMS

Servicio de medidas de <sup>239</sup> Pu y <sup>240</sup> Pu por AMS / Measurements Service <sup>239</sup> Pu and <sup>240</sup> 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 <sup>239</sup> PU <sup>3</sup> / Measurements Service <sup>239</sup> Pu by AMS	90,09€	150,15 €	228,80€
Medida por AMS de <sup>239</sup> Pu y <sup>240</sup> Pu <sup>3</sup> / Measurements Service <sup>239</sup> Pu and <sup>240</sup> 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 y de la Junta de Andalucía.

-Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.

9. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

-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 <sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>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 <sup>242</sup>Pu, en el caso en el que se requieran las concentraciones de <sup>239</sup>Pu y <sup>240</sup>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 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 <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>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 <sup>242</sup>Pu, if they are required concentrations of <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>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. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Servicies offered by CNA

## 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 y 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 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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

10. Calidad / Quality

## **10. Calidad / Quality**

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

10. Calidad / Quality

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).

10. Calidad / Quality

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
Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

10. Calidad / Quality

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
- -Dª. 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

## Memoria de Investigación 2011-2012 / Research Report 2011-2012

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

10. Calidad / Quality