CENTRO NACIONAL DE ACELERADORES

Memoria de Investigación 2015-2016

Research Report 2015-2016





Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Índice / Index



Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Índice / Index

Capítulo / Chapter	Página
1. Introducción / Introduction	11
2. Estructura y Personal / Structure and Staff	19
2.1 Dirección del Centro / Centre Management	19
2.2 Junta Rectora / Governing Board	20
2.3 Comité Científico / Scientific Committee	20
2.4 Personal del Centro / Centre Staff	20
2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit	20
2.4.2 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de	21
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	22
Physic Research Unit	
2.4.4 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit	22
2.4.5 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con	22
Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit	
2.4.6 Unidad de Divulgación Científica (UCC+i) / Outreach Unit (UCC+i)	23
2.4.7 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular staff at CNA	23
2.4.8 Personal del HUVR en el CNA / HUVR staff at CNA	23
2.5 Datos del Centro / Centre information	24
3. Infraestructuras / Facilities	27
3.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	28
3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines	29
3.1.2 Técnicas disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / Available	32
techniques at 3 MV Tandem accelerator	
3.1.3 Laboratorios del Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem	34
Accelerator Laboratories	
3.2 Ciclotrón / Cyclotron	40
3.2.1 Línea de Haz de Experimentación / Experimental Beam Line	42
3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron laboratories	46
3.2.3 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radiopharmacy and Molecular	51
Imaging	
3.2.4 Tomógrafo PET y TAC para pequeños animales y estabulario / Small	52
animal PET and CT and animal cabinet	
3.3 Tomógrafo PET/TAC para humanos / PET/CT human scanner	55
3.4 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas (AMS) / 1	57
MV Tandetron Accelerator with Mass Spectrometer (AMS)	
3.4.1 Laboratorio asociado al Acelerador Tandetrón de 1 MV con	61
Espectrometro de Masas / AMS Laboratory	
3.5 Acelerador MiCaDaS / MiCaDaS Accelerator	63

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3.5.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service	65	
3.5.2 Laboratorio de grafitización del Centro Nacional de Aceleradores		
(AGE) / Automated Graphitisation Equipment (AGE)		
3.6 Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory	70	
4. Investigación / Research	75	
4.1 Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de	76	
Materiales con Haces de Iones / Ion Beam Analysis and Modification of		
Materials Research Unit		
4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science	76	
4.1.2 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facility	98	
4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage	107	
4.1.4 Ciencia del Plasma y Tecnología de Fusión / Plasma Science and	111	
Fusion Technology		
4.2 Unidad de Investigación en Fisica Nuclear Basica / Basic Nuclear Physic	128	
Research Unit	120	
4.2.1 Desarrollo de delectores y electronica asociada para el trazado de	128	
of eventic nucleo		
4.2.2 Estudio de núcleos exóticos / Study of exotic nuclei	129	
4.2.3 Nuevo sistema de deterción para la verificación de tratamientos	130	
compleios de radioterapia con fotones / Novel detection system for	100	
verification of complex radiotherapy treatments with photons		
4.2.4 Estudios de dosimetría y efectos radiobiológicos con protones de baja	131	
energía en el Tándem de 3 MV del CNA / Dosimetry and radiobiological		
studies with low energy protons at the 3 MV Tandem of CNA		
4.2.5 Física experimental de neutrones y terapia por captura neutrónica /	133	
Experimental neutron physics and neutron capture therapy		
4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit	135	
4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy	135	
4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging	139	
4.4 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores	158	
(AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit		
4.4.1 Medidas de actinidos / Actinides measurements	158	
4.4.2 Medidas de ²⁶ Al y ²⁶ Be / ²⁶ Al and ²⁶ Be measurements	163	
4.4.3 Medidas de 14 Ca measurements	166	
4.4.4 Medida de C/ C medsurements $4.4.5$ Modidas do $\frac{129}{1}$ / $\frac{129}{129}$ moasurements	162	
F CNA y Sociedad / CNA and Society	175	
5. CINA y Sociedad / CINA and Society	175	
5.1 El CNA y la Salud / CNA and Health	175	
5.2 El CNA y el Meulo Ambiente / CNA and Environment	170	
5.4 El CNA y la Empresa / CNA and Company	178	
6 Cultura Ciontífica / Outroach	101	
6.1 Prosontación / Prosontation	101	
6.2 Acciones / Actions	101	
	102	

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6.3 Impacto de actividades / Activities impact	190		
6.3.1 Visitantes de las instalaciones por año / Annual visitants	190		
6.3.2 Procedencia de los centros visitantes / Origin of visitant centers			
6.3.3 Visitantes a exposiciones y ferias / Visitants of exhibitions			
6.3.4 Comunicación Científica / Scientific press notes	191		
7. Producción Científica / Scientific Production	195		
7.1 Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects,	195		
Agreements and Contracts			
7.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects	195		
7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic	196		
Projects			
7.1.3 Convenios y contratos / Agreements and Contracts	199		
7.2 Artículos publicados / Published Articles	201		
7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles			
7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles	210		
7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books	210		
7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations	212		
7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings	212		
7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings	222		
7.4 Tesis Doctorales y Trabajo Fin de Master / Theses and Final Master	228		
Projects	220		
7.4.1 Tesis Doctorales/ Theses	228		
7.4.2 Proyecto de Fin de Master / Final Master Project			
7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings			
7.5.1 Cursos / Courses	229		
7.5.2 Coloquios / Seminars 7.5.3 Eventos / Meetings	230		
 P. Estadísticas da usa da acaleradaros y usuarios / Accelerators 	231		
6. Estadisticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators	235		
Statistics and users	225		
8.1 Estadisticas de USO / Statistics	235		
8.2 Graficos estadísticos de uso de las instalaciones del CNA / CNA Facilities	238		
USE STATISTICS graphics	220		
8.2.1 Acelerador Tandem de 3 WV / 3 WV Tandem Accelerator	238		
8.2.2 ACCIEFAGOR FANGELION GET INV (AIVIS) / I IVIV FANGELION ACCELERATOR	239		
(AIVIS) 8.2.2 Laboratorio PADLAR / PADLAR Laboratory	240		
8.2.4 MiCaDaS / MiCaDaS	240		
8.2.4 WILdDdS / WILdDdS			
9 Calidad / Quality	242		
9. Canuar / Quanty	240		
3.1 Componentes de la Onidad de Candad / Quality Onit Members	247		

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

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 2015 y 2016. Mostramos las capacidades del CNA, con el ánimo de favorecer el establecimiento de colaboraciones con los sectores científicos y tecnológicos.

Durante el bienio 2015-2016 hemos sacado pleno rendimiento a las seis grandes instalaciones del CNA. El acelerador Tándem de 3 MV, herramienta potente y versátil para Ciencia de Materiales e Instrumentación Nuclear. El acelerador Ciclotrón, factoría de radiofármacos y fuente de irradiación. El acelerador Tandetrón para AMS, que encuentra radionucléidos en el medioambiente en proporciones ínfimas. El acelerador compacto MICADAS, dedicado a la datación por ¹⁴C. El irradiador de ⁶⁰Co, fuente de fotones para irradiación de componentes aeroespaciales. Y el tomógrafo PET-TAC, complemento del ciclotrón para el diagnóstico de cáncer.

La situación económica en 2015-2016 permanece difícil, aunque hay algunos indicadores que permiten vislumbrar alguna mejora. La contribución de las instituciones del CNA (Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC) ha crecido muy ligeramente, aunque no se han creado plazas permanentes, esenciales para el centro. La cuantía de los proyectos de investigación nacionales permanece reducida, aunque obtenemos más financiación de proyectos europeos. A pesar de estas graves dificultades, hemos podido captar recursos con los que mantener la contratación del personal clave, y hemos aumentado sensiblemente el personal en formación. Mantenemos la facturación por uso de las instalaciones, y la financiación por contratos con otras instituciones. El Servicio Andaluz de Salud (SAS), la empresa de radiofármacos IBA, la empresa de componentes aeroespaciales ALTER, la empresa ENRESA, y otras empresas y entidades, proporcionan un porcentaje importante de la financiación del CNA, que nos ha permitido mantener, no sin dificultad, nuestro nivel de calidad científica y tecnológica.

Estamos concluyendo nuestro plan estratégico 2013-2016, en base al cual mantenemos nuestro carácter de Instalación Científico-Técnica Singular (ICTS). El CNA es una de las 23 ICTS que hay en el mapa actual. Este es nuestro segundo plan estratégico, que mantiene los mismos objetivos del primer plan 2008-2012. Los objetivos del plan, que se están cumpliendo satisfactoriamente, son:

1.- Desarrollo de Técnicas de Análisis por Haces de Iones (IBA) para análisis de materiales.

- 2.- Desarrollo de pruebas de irradiación de componentes tecnológicos y biológicos.
- 3.- Desarrollo de detectores de radiación e instrumentación nuclear.
- 4.- Espectrometría de masas por aceleradores (AMS) y datación por ¹⁴C.
- 5.- Producción de radiofármacos e imagen molecular.

Próximamente, realizaremos el nuevo plan estratégico, 2017-2020. El nuevo plan contemplará, además de los objetivos anteriores, una apuesta decidida por instalar, en colaboración con el Servicio Andaluz de Salud, un acelerador de más energía que permita tratar el cáncer usando la técnica llamada Protonterapia. Aumentaremos nuestra implicación en el desarrollo de instrumentación relevante para grandes instalaciones internacionales, y queremos sacar el máximo partido a la instalación de la nueva línea de neutrones.

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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

1. Introducción / Introduction

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

Miércoles, 22 de febrero de 2017 Joaquín Gómez Camacho Director del CNA

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 2015-2016. We display CNA capabilities, to promote collaborations with the scientific and technological communities.

During 2015-2016 we have made full usage of the six large facilities of CNA. The 3MV Tandem accelerator is a versatile tool for materials science and nuclear instrumentation. The cyclotron accelerator is a factory of radiopharmaceuticals and a source for Irradiation. The AMS tandetron accelerator finds radionuclides in the environment in tiny fractions. The compact accelerator MICADAS is used for ¹⁴C dating. The ⁶⁰Co irradiator is a source of photons for irradiating aerospace components. The PET-CT scanner is the complement of the Cyclotron for cancer diagnosis.

The economic situation in 2015-2016 remains difficult, but some indicators indicate slight improvement. The contribution of the institutions that constitute CNA (U. Sevilla, J. Andalucía and CSIC) to the running costs of CNA has slightly increased, although permanent personnel positions, essential for the centre, have not been created. National research funding remains reduced, although we obtain more from European sources. Despite these difficulties, we have obtained resources to maintain the key personnel, and have increased substantially trainee personnel. We maintain the external funding through the usage fees of our facilities and the funds associated to contracts with other institutions. The Andalusian Health Service (SAS), the radiopharmacy company IBA, the aerospace company ALTER, the company ENRESA, CIEMAT and other companies and institutions provide an important fraction of CNA funding, which allowed us to maintain, not without difficulties, our level of scientific and technologic quality.

We are finishing our strategic plan 2013-2016, with which we maintain our status as Singular Scientific and Technological Facility (ICTS). CNA is one of 23 ICTS in the present map in Spain. This is our second strategic plan, which maintains the same objectives as the previous plan 2008-2012. The scientific objectives, which are being achieved satisfactorily, are:

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

1. Introducción / Introduction

We will soon start the new strategic plan 2017-2020. The new plan will contemplate, besides the previous objectives, a firm commitment to host, in coOllaboration with the Andalusian Health Service, a larger accelerator to treat cancer using Proton Therapy. We will increase our implication in detector development for large international facilities, and we will exploit the new neutron line.

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

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

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

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

Wednesday, February 22, 2017 Joaquín Gómez Camacho CNA Director

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

1. Introducción / Introduction

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 Gómez Camacho
Vicedirector: Dr. Francisco Javier García López
Gerente: Dr. 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. José Ramón Urquijo Goitia, Vicepresidente de Organización y Relaciones Internacionales (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

-Dr. Miguel Ferrer Baena, Coordinador institucional en Andalucía (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

-Dr. Julián Martínez Fernández, Vicerrector de Investigación (Universidad de Sevilla) -Dr. José Guadix Martín, Vicerrector de Transferencia Tecnológica (Universidad de Sevilla) Sevilla)

-D. Juan Francisco Navarro, Coordinador Universitario (Junta de Andalucía)

-Dr. Manuel García León, Director General de Investigación, Tecnología y Empresa (Junta de Andalucía)

-Dr. Joaquín Gómez Camacho, Director del CNA

-Dr. Jerónimo Castilla Guerra, Secretario

2.3 Comité Científico / Scientific Committee

-Dr. Miguel Ángel Aguirre Echanove, Profesor Titular de Universidad, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

-Dra. Josefa Capel Martínez, Profesora Titular del Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada

-Dra. Dolores Cortina Gil, Profesora Titular del Departamento de Física de Partículas, Universidad de Santiago de Compostela

-Dr. José Manuel Llamas Elvira, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen de las Nieves de Granada

-Dr. Sebastián Cerdán García de Esteller, Profesor de Investigación, Instituto de Investigaciones Biomédicas "Alberto Sols", Consejo Superior de Investigaciones Científicas

-Dr. José Gonzalo de los Reyes, Investigador Científico, Instituto de Óptica "Daza de Valdés", Consejo Superior de Investigaciones Científicas

-Dr. Jordi Fraxedas Calduch, Investigador Científico, Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

-Dr. Daniel Cano Ott, Investigador Titular, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

-Dr. Joaquín Gómez Camacho, Director del CNA

-Dr. Jerónimo Castilla Guerra, Secretario

2.4 Personal del Centro / Centre Staff

2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit

-Dr. 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. Miguel Calderón Reyes, Administrativo, Universidad de Sevilla

-D. Jaime García de Vinuesa Pacheco, Auxiliar Administrativo, Universidad de Sevilla

-D. Juan Ángel Labrador Bernal, Titulado de Grado Medio para Investigación, Universidad de Sevilla

-D. Antonio Manuel Casado Sola, Técnico Auxiliar de Laboratorio, Universidad de Sevilla

-D. Ángel Jesús Romero Serrano, Titulado Superior para Aceleradores, Contrato CNA

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

-D. Sergio David León Dueñas, Titulado Superior para Divulgación Científica y Comunicación, Contrato CNA y Proyecto Nacional

-D^a. Patricia Zúñiga Ariza, Titulada Superior para Apoyo a la Administración, Contrato Empleo Joven

-D. Miguel Ángel Seller López, Titulado de Grado Medio para Aceleradores, Contrato CNA

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, Profesora ayudante doctoral Interina, Universidad de Sevilla

-Dra. Eleonora Viezzer, Investigadora, Programa Juan de la Cierva

-Dra. Inés Ortega Feliu, Titulada Superior para Investigación, Contrato FIUS

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

-Dra. María del Carmen Jiménez Ramos, Titulada Superior para Investigación, Contrato FIUS

-Dra. Simona Scrivano, Titulada Superior para Investigación, Plan Propio de la Universidad de Sevilla

-Dr. Kilian Laclavetine, Titulado Superior para Investigación, Proyecto Regional

-Dr. Juan Manuel Ayllón Guerola, Titulado Superior para Investigación, Proyecto Europeo

-D. Salvatore Bruschetta, Investigador Predoctoral, Proyecto Europeo

-D. Pedro Martín Holgado, Titulado Superior para Investigación, Contrato FIUS

-D. Mauricio Rodríguez Ramos, Investigador Predoctoral, Plan Propio de la Universidad de Sevilla

-D. Joaquín Galdón Quiroga, Investigador Predoctoral, Proyecto Europeo

-Dª. Lucía Sanchís Sánchez, Investigadora Predoctoral, Proyecto Nacional

-Dª. Nuria Romero Castillo, Técnico de Informática, Contrato PTA

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

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

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

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

-Dra. Begoña Fernández Martínez, Titulada Superior para Investigación, Proyecto Europeo

-Dr. Javier Praena Rodríguez, Contrato Posdoctoral, Universidad de Granada

-Dr. Carlos Guerrero Sánchez, Investigador, Programa Ramón y Cajal

-Dr. Juan Pablo Fernández García, Investigadora, Programa Juan de la Cierva

-Dª. Cristina Battaglia, Investigadora Predoctoral, Proyecto Europeo

-D. Miguel Macías Martínez, Investigador Predoctoral, Proyecto Nacional

-D. Andrés Gómez Ramos, Titulado Superior para Investigación, Contrato Empleo Joven

-Dª. Ana Lucila Baratto Roldán, Investigadora Predoctoral, Proyecto Europeo

2.4.4 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit

-Dr. Ramón Risco Delgado, Profesor Titular, Universidad de Sevilla

-Dr. Marcin Balcerzyk, Titulado Superior para Investigación, Contrato CNA

-Dra. Laura Fernández Maza, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA

-D. Ángel Luis Parrado Gallego, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA

-Dª. Isabel Fernández Gómez, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA

-Dra. Ariadna Corral Sousa, Titulada Superior para Investigación, Contrato CNA

-Dª. Diana Orta Castelló, Titulada Superior para Investigación, Contrato Empleo Joven

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

-Dr. Manuel García León, Catedrático, Universidad de Sevilla

-Dr. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda, Catedrático, Universidad de Sevilla

-Dr. José María López Gutiérrez, Profesor Titular, Universidad de Sevilla

-Dr. Guillermo Manjón Collado, Profesor Titular, Universidad de Sevilla

-Dr. José Luis Mas Balbuena, Profesor Titular, Universidad de Sevilla

-Dr. Francisco Javier Santos Arévalo, Titulado Superior para Investigación, CSIC

-Dra. Elena Chamizo Calvo, Titulado Superior para Investigación, Universidad de Sevilla

-Dr. Santiago Padilla Domínguez, Titulado Superior para Investigación, Proyecto Nacional

-Dª. Isabel Gómez Martínez, Titulado de Grado Medio para Investigación, Universidad de Sevilla

-Dª. Lidia Agulló García, Titulado Superior para Investigación, Contrato CNA

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

-D. Juan Alcalde García, Titulado Superior para Aceleradores, Contrato CNA

-Dª. Aurora Diéguez Ferrari, Técnico de Laboratorio, Contrato PTA

-Dª. Grazia Scognamiglio, Investigadora Predoctoral, Proyecto Europeo

-Dª. Mercedes López Lora, Investigadora Predoctoral, Proyecto Nacional

-D. Carlos Vivo Vilches, Investigador Predoctoral, Proyecto Nacional

-Dª. Victoria Lérida Toro, Técnico de Laboratorio, Contrato Empleo Joven

2. Estructura y Personal / Structure and Staff

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

-Dr. Jerónimo Castilla Guerra, Coordinador de la Unidad de Divulgación Científica

-D. Sergio David León Dueñas, Titulado Superior para Divulgación Científica y Comunicación, Contrato CNA y Proyecto Nacional

-Dra. Inmaculada Díaz Francés, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA

-D. José Antonio Galván Moreno, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA

-Dª. Celia Falcón Carrero, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA -Dª. Esther Sanjuán Ballano, Titulado Superior para Divulgación Científica, Contrato CNA

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

- -D. Federico Moreno Jiménez
- -Dª. Elena Santos Prieto
- -D. Manuel Blasco Espinosa
- -D. Lázaro García Pérez
- -D. Ildefonso Mazo Cabrera
- -Dª. Consuelo Pilar Ellston
- -D. Jorge Ocaña Layosa
- -D. José Antonio Durán Suárez
- -Dª. Susana del Mar González Rodríguez
- -Dª. Laura María Mazo Cañas

2.4.8 Personal del HUVR y HUVM en el CNA / HUVR and HUVM staff at CNA

- -D^a. Isabel Borrego Dorado
- -Dª. Irene Acevedo Sánchez
- -D. Luis Caballero Gullón
- -Dª. Rosa Fernández López
- -D. Francisco Javier García Gómez
- -Dª. Rocío Iglesias Jerez
- -Dª. Carmen Moreno González
- -D. Víctor Manuel Pachón Garrudo
- -Dª. Carmen Tello Cabañas
- -D. Alberto Zájara Saucedo
- -Dª. Nieves de la Rosa Valero
- -Dª. Estefanía López Rodríguez
- -Dª. Mª Cinta Calvo Morón
- -Dª. Teresa Cambil Molina
- -D. Pablo de la Riva Pérez
- -D. Benigno Delgado Barranquero
- -D. Juan Ramón Romero Perza
- -Dª. Mercedes Buzón Luzón (IBA)

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	<u>www.cna.us.es</u>
Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA	www.cna.us.es/index.php/tarifas

Centro Nacional de Aceleradores (CNA) 3. Infraestructuras / Facilities



3. Infraestructuras / Facilities

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

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 ⁶⁰Co.

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

The CNA is a pioneering centre in Spain in the field of particle accelerators for research purposes. The first accelerator was installed at CNA in 1998 and nowadays three other accelerators and techniques associated to them are available and also two other facilities. Therefore, the CNA has 4 particle accelerators: a 3 MV van de Graaff Tandem Accelerator, a Cyclotron which supplies 18 MeV protons and 9 MeV deuterons, a 1 MV Cockcroft-Walton Tandem Accelerator used to mass spectrometry (called AMS) and a MiCaDaS (a small accelerator used to radiocarbon dating). The last facilities which have arrived at CNA are a Human Scanner PET/CT and a ⁶⁰Co 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 (¹¹C, ¹³N, ¹⁵O, ¹⁸F) for Positron Emission Tomography (PET) and the Accelerator Mass Spectrometer (AMS) that includes a ¹⁴C 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 e implantación iónica, así como al estudio y desarrollo de instrumentación nuclear, fundamentalmente detectores de radiación.

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

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

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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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



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

3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines

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

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

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

<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 mm² para protones de 3 MeV.

3. Infraestructuras / Facilities

<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 fotones y de partículas se usan para combinar todas estas técnicas IBA.

<u>Línea de 0°: Cámara de ionoluminsicencia</u>. Conectada a la cámara multipropósito, esta cámara de vació está equipada con paredes revestidas de negro, un sistema calefactor, un monitor de control de temperaturas y un sistema de diagnóstico fotónico que permite realizar principalmente estudios de ionoluminiscencia. Además, varios puertos de acceso permiten la ubicación de detectores para realizar experimentos IBA con temperaturas hasta 500 °C.

<u>Línea de +15°: Cámara de irradiación</u>. Esta cámara diseñada en el CNA tiene como objetivo la irradiación de grandes superficies (16x20 cm²) barridas por el haz mediante un deflector magnético.

<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, direcciones X e Y y dos ángulos de giro.

<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 μ m), se han adquirido un conjunto de elementos fabricados por Oxford Microbeams, incluida una abertura que se define con cuatro slits de precisión y una nariz de salida con un ajuste micrométrico.

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

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

<u>-30° Beam Line: Nuclear Physics Beam Line</u>. In this beamline different nuclear instrumentation (detectors, electronics, etc) is developed and tested. This instrumentation 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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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 mm² 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.

<u> 0° Beam Line: Ionoluminescence Chamber</u>. Linked to the multipurpose chamber, this vacuum chamber is equipped with black coating walls, a sample temperature heater, a control monitor and a photonic diagnostic system that allows mainly ionoluminescence studies. Furthermore, several access ports allow locating detectors to perform IBA experiments at temperatures up to 500 °C.



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.

<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.

3. Infraestructuras / Facilities

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 μ m), a series of elements have been purchased from Oxford Microbeams, including a precision four-jaw object slit and an exit nozzle set with micrometer adjustment.

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

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

-Espectrometría de Retrodispersión Rutherford (RBS).

-Análisis por Detección de Retrocesos Elásticos (ERDA).

-Análisis por Reacciones Nucleares (NRA).

-Emisión de Rayos-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.

3. Infraestructuras / Facilities

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. 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 caracterización de elementos con una Z intermedia hasta elementos pesados, y se combina con NRA y PIGE para estudiar elementos de Z < 12.

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

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

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

-Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS).

- -Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA).
- -Nuclear Reaction Analysis (NRA).
- -Particle Induced y-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:

3. Infraestructuras / Facilities

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

<u>Nuclear Reaction Analysis (NRA)/ Particle Induced x-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. 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.

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

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

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

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

El Centro Nacional de Aceleradores dispone de distintos laboratorios de investigación así como de preparación de muestras asociados al Acelerador Tándem de 3 MV. A continuación, se describen los distintos laboratorios:

3. Infraestructuras / Facilities

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

Este equipamiento está dedicado al estudio de diferentes objetos y materiales, especialmente en el campo del Arte y de la Arqueometría. Esto permite realizar análisis independiente o complementario a los análisis llevados a cabo en el acelerador Tándem.

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

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

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



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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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

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

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

<u>Laboratorio de Detectores / Detectors Laboratory</u>. El laboratorio de detectores (Figura 3.4) cuenta con una cabina de pesada para muestreo de la empresa TELSTAR.



Figura 3.4: Laboratorio de Detectores / Detectors Laboratory

Esta cabina es 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,
3. Infraestructuras / Facilities

minimizando los riesgos de ruptura o contaminación de dichas piezas por distintos tipos de accidentes o por la presencia de impurezas en el ambiente.

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

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

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

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

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

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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

Laboratorio del Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Laboratory. A pesar de que generalmente las muestras que se analizan por técnicas IBA no necesitan de una exhaustiva preparación, el laboratorio asociado al acelerador Tándem de 3 MV (Figura 3.5) dispone del equipamiento necesario para realizar diversos tratamientos a las muestras, previos a su estudio.



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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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 μ A ± 10% para protones y de 35 μ 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:

3. Infraestructuras / Facilities

1.- Blanco de gran volumen (2 ml) con agua enriquecida en ¹⁸O en su interior ([¹⁸O]- H_2O , pureza > 95% en ¹⁸O), para producir ¹⁸F en forma de [¹⁸F]-Fluoruro mediante la reacción ¹⁸O(p,n)¹⁸F.

2-3.- Dos blancos de volumen grande (2 ml), con las cavidades fabricadas en niobio y rellenos de agua enriquecida en ¹⁸O ([¹⁸O]-H₂O, pureza > 95% en ¹⁸O). Están destinados también a la producción de ¹⁸F en forma de [¹⁸F]-Fluoruro mediante la reacción nuclear ¹⁸O(p,n)¹⁸F.

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

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 ¹¹C en forma de [¹¹C]-CO₂ mediante la reacción ¹⁴N(p, α)¹¹C.

7.- Blanco de 60 ml relleno de una mezcla nitrógeno-oxígeno para la obtención de 15 O en forma de [15 O]-O₂ 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 μ A \pm 10% for protons and 35 μ A \pm 10% for deuterons.

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

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

1.- Large-volume target (2 ml) filled with ¹⁸O-enriched water ([¹⁸O]-H₂O, purity > 95% in ¹⁸O). It is used for the production of ¹⁸F as [¹⁸F]-Fluoride through the ¹⁸O(p,n)¹⁸F nuclear reaction.

3. Infraestructuras / Facilities

2-3.- Two large-volume targets (2 ml) with the cavities made of niobium and filled with ¹⁸O-enriched water ([¹⁸O]-H₂O, purity > 95% in ¹⁸O). They are utilized for the production of ¹⁸F as [¹⁸F]-Fluoride through the ¹⁸O(p,n)¹⁸F 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 ^{11}C as $[^{11}C]$ -CO₂ through the $^{14}N(p,\alpha)^{11}C$ 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.

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

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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



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

3. Infraestructuras / Facilities

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 ¹⁸F-FDG" y de otro "de investigación" donde se preparan radiofármacos PET para ensayos clínicos y preclínicos. Estos dos laboratorios son complementados por el laboratorio de control de calidad, donde se analiza la calidad de los radiofármacos sintetizados siguiendo los requerimientos de la Farmacopea. Tras haber obtenido las correspondientes autorizaciones de los Ministerios de Industria (como instalación radioactiva) y de Sanidad (como laboratorio farmacéutico), y dentro del marco de acuerdo con la empresa farmacéutica IBA Molecular, se comenzó la fabricación y distribución de [¹⁸F]-(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 ([¹⁸F]-FDOPA, [¹⁸F]-Fluorotimidina ([¹⁸F]-FLT), [¹⁸F]-Fluoromisonidazol ([¹⁸F]-FMISO), [¹⁸F]-Fluoruro sódico ([¹⁸F]-NaF), [¹¹C]-Colina, [¹¹C]-Metionina, [¹³N]-Amonio, [¹⁵O]-Agua, etc... La configuración de este laboratorio es la siguiente:

1.- Celda de síntesis de compuestos marcados con carbono-11, en la que se encuentra un módulo GE Tracerlab FX-C. La metilación de distintos grupos funcionales (aminas, alcoholes, tioles, ácidos carboxílicos) con ioduro de metilo radiactivo ([¹¹C]-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 [¹⁸F]-F₂ o [¹⁸F]-Hipofluorito de acetilo ([¹⁸F]-CH₃COOF) para marcar alquenos y compuestos aromáticos ricos en electrones por sustitución electrofílica.

3.- Celda de síntesis de [¹⁵O]-H₂O y de recogida de [¹³N]-NH₃. El [¹⁵O]-H₂O es un radiotrazador empleado para la determinación y cuantificación del flujo sanguíneo. El oxígeno radiactivo procedente del ciclotrón está en forma molecular ([¹⁵O]-O₂), reacciona en la celda de síntesis con hidrógeno y paladio a 150 °C para obtener [¹⁵O]-H₂O. Por otro lado, el [¹³N]-Amonio se utiliza en PET para estudios de perfusión miocárdica.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

Este radiofármaco se obtiene directamente en el blanco del ciclotrón mediante la irradiación con protones de una mezcla de agua y etanol. Posteriormente, el [¹³N]-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 [¹⁸F]-Fluoruro ([¹⁸F⁻]), en el marcaje de moléculas por sustitución nucleofílica.

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

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



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

The laboratories were designed to comply with Good Manufacturing Practices (GMP) regulations. At the present time, the unit is composed of an "¹⁸F-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.

3. Infraestructuras / Facilities

The production of 2-deoxy-2-[¹⁸F]-Fluoro-D-glucose ([¹⁸F]-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). [¹⁸F]-FDG is currently distributed to CNA and to hospitals in Andalucía, Castilla-La Mancha and Portugal.

The FDG Production Lab (Figure 3.10) has two hot cells made by Comecer (Castel Bolognese, Italy) that hold two double GE Tracerlab FX-FDG synthesis modules. There is also a fractioning and dispensation cell, where single-dose FDG is made under the "Flucis" CisBio registry. The Research Lab has five Comecer hot cells where radiopharmaceuticals that trace metabolic or functional processes ([¹⁸F]-FDOPA, [¹⁸F]-FLT, [¹⁸F]-Fluoromisonidazol ([¹⁸F]-FMISO), sodium-[¹⁸F]-fluoride, [¹¹C]-Choline, [¹¹C]-Methionine, [¹³N]-Ammonia, [¹⁵O]-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 ([¹¹C]-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 ($[{}^{18}F]$ -CH₃COOF) to label electronrich alkenes and aromatic compounds by electrophilic substitutions.

3.- Cell for $[^{15}O]$ -H₂O synthesis and $[^{13}N]$ -NH₃ 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 $[^{15}O]$ -O₂, which is mixed in the hot cell with hydrogen and palladium at 150 °C to obtain $[^{15}O]$ -H₂O. 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, [¹³N]-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 [¹⁸F]-Fluoride [¹⁸F], 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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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

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



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

Laboratorio para desarrollo de investigación básica y experimentación de nuevos trazadores PET / Basic research and synthesis new PET tracers Laboratory. El laboratorio cuenta con una central de gases de Argón así como la preinstalación de 4 módulos con dispensador de gases de alta pureza de N₂, CO₂, H₂ y O₂ dirigidos a una campana extractora.

3. Infraestructuras / Facilities

La pureza química de los compuestos marcados se evalúa mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) consta de bomba analítica de gradiente cuaternario, totalmente programable y con sistema de inyección automático. Consta de tres detectores, UV, con un amplio rango de trabajo y alta resolución que permite la obtención precisa de espectros UV en determinación de compuestos principales e impurezas. Posee además detector 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 software, con gran versatilidad, permitiendo la monitorización en tiempo real de espectros y la dispensación de fase líquida. El HPLC dispone de un detector de conductividad para cromatografía iónica software ۷ 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 a has central argon gas system and the pre-installation of 4 modules with high purity gases N_2 , CO_2 , H_2 and O_2 .

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

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

3.2.3 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radiopharmacy and Molecular Imaging

En la Unidad de Radiofarmacia sintetizamos radiofármacos para investigación preclínica en pequeños animales de experimentación. Actualmente se está implantando la normativa GMP y la validación de los procesos de síntesis para pasar de la investigación preclínica a la clínica. Entre los radiofármacos para investigación en pequeños animales, en el CNA producimos [¹⁸F]-Fluorotimidina ([¹⁸F]-FLT), que es un marcador de proliferación celular, [¹⁸F]-Fluoromisonidazol ([¹⁸F]-MISO) trazador de hipoxia, útil en estudios de hipoxia tumoral e hipoxia inducida por traumatismos, [¹¹C]-Metionina para diagnóstico y seguimiento de tumores cerebrales, [¹¹C]-Colina para cáncer de próstata y [¹⁸F]-Tetrafluoroborato sódico ([¹⁸F]-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 [¹⁸F]-Fludesoxiglucosa ([¹⁸F]-FDG), marcador de metabolismo glicídico, la [¹⁸F]-Fluorometilcolina para estudio de cáncer de próstata y la [¹⁸F]-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 [¹⁸F⁻] 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 [¹¹C]-MeI y metiltriflato radiactivo [¹¹C]-MeTF.

La Unidad de Radiofarmacia del CNA es la primera Unidad de Radiofarmacia autorizada de Andalucía. La autorización por parte de la Consejería de Salud es requisito imprescindible para cumplir la legislación que regula el uso clínico de los radiofármacos PET de investigación, es decir, aquellos radiofármacos PET no producidos industrialmente y exentos de autorización de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Actualmente están validados para uso clínico la [¹⁸F]Fluorotimidina, marcador PET de proliferación celular, y el [¹⁸F]Fluoromisonidazol, marcador de hipoxia. El uso clínico de los radiofármacos PET de investigación

3. Infraestructuras / Facilities

potenciará enormemente el diagnóstico y teragnosis por imagen molecular, fundamentalmente en oncología y neurología.

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 [¹⁸F]-Fluorothymidine ([¹⁸F]-FLT), cellular proliferation PET tracer, [¹⁸F]-Fluoromisonidazol ([¹⁸F]-FMISO) for hypoxia, tumoral and trauma-induced hypoxia, [¹¹C]-Methionine for brain tumors, [¹¹C]-Choline to study prostate cancer, and sodium [¹⁸F]-Tetrafluoroborate ([¹⁸F]-TFB) for thyroid pathologies.

We also have authorized radiopharmaceuticals for clinical research at the human PET/CT scanner, like the [¹⁸F]-Fludeoxyglucose ([¹⁸F]-FDG) for glicidic metabolism, [¹⁸F]-Fluoromethylcholine, to study prostate cancer and [¹⁸F]-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. 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).

The unit of radiopharmacy of the CNA is the first unit of radiopharmacy authorized of Andalusia. Authorization from the Ministry of health is required to comply with the legislation regulating the clinical application of PET radiopharmaceuticals of research, *i.e.*, those not produced industrially PET radiopharmaceuticals and exempt from authorization of the Spanish Agency of Medicines and Health Products (AEMPS). The [¹⁸F]Fluorothymidine, PET marker of cell proliferation, and the [¹⁸F]Fluoromisonidazole marker of hypoxia are currently validated for clinical use. The clinical application of PET radiopharmaceuticals of research will greatly boost diagnosis and teragnosis by molecular imaging, primarily in Oncology and Neurology.

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, Gd₂SiO₅:Ce) de dimensiones 2x2x10 mm³ 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

3. Infraestructuras / Facilities

tomógrafo TAC helicoidal, que opera a una tensión máxima de 65 kV, y ofrece imágenes con una resolución espacial mejor que 200 μ m, con un campo de visión axial de 270 mm y transaxial de 76 mm. Este equipo se utiliza para la obtención de imágenes de pequeños animales o de objetos de interés tecnológico o arqueológico mediante tomografía axial computerizada (TAC) con Rayos-X.

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

El laboratorio dispone de programas de evaluación y análisis de imágenes TAC, PET y otras modalidades como RMI: Imalytics, Invivoquant 1.43 y PMOD 3.6. Dispone de contratos de mantenimiento que garantizan siempre la última versión del programa. Especialmente cuenta con PMOD, que desde 2014 consiste de los siguientes módulos: VIEW (operación básica con imágenes, procesamiento de los imágenes en serie, "batch"), KINETIC (modelización cinética de radiofármacos), PXMOD (mapas paramétricas pixel a pixel de modelos cinéticos), FUSION y FUSEIT (para fusión de imágenes de distintos modalidades y estandarización a las plantillas de los cerebros humano, rata, ratón y mono), SEGMENT (para segmentación de las imágenes según valores de los pixeles), 3D (para representación tridimensional de las imágenes), ALZHEIMER (evaluación de estado de paciente con signos clínicos de la enfermedad de Alzheimer en base de estudio de FDG-PET; la herramienta es para uso preclínico), NEURO (delineación semiautomática de las regiones de interés según anatomía de los núcleos en imagen PET o RMI).

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 (Gd₂SiO₅:Ce, gadolinium orthosilicate activated with cerium) with dimensions of 2x2x10 mm³ 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 µm. The scanner has an axial field of view (FOV) of 270 mm and a transaxial FOV of 76 mm. This unit will be used to obtain computed tomography (CT) images with X-Rays from small animals and objects of technological or archaeological interest.

3. Infraestructuras / Facilities



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

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

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

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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



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

El escáner de humanos se encuentra instalado a pocos metros de los laboratorios de Radiofarmacia, lo que permite estudios con radiofármacos marcados con radiioisótopos PET de semivida corta, como el ¹¹C. 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.

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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

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

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

3. Infraestructuras / Facilities

3.4 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 ¹⁰Be, ¹⁴C, ²⁶Al, ¹²⁹I e isótopos de Pu. En los últimos años, las líneas más activas se han centrado en los análisis de muestras para la detección de ¹⁴C, ²⁶Al, ¹²⁹I e isótopos de Pu, aunque se han comenzado las pruebas para estudiar la capacidad del equipo para la detección de nuevos radioisótopos como el ⁴¹Ca y el ³⁶CI.

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

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

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

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



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

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

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 10⁻¹²-10⁻¹⁵, es decir, la técnica es capaz de identificar una partícula entre mil billones. Los isótopos que habitualmente se determinan mediante AMS son, entre otros, ¹⁰Be, ¹⁴C, ²⁶Al, ³⁶Cl, ⁴¹Ca, ¹²⁹I e isótopos de Pu.

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

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

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

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

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

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

3. Infraestructuras / Facilities

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

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

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

En el laboratorio se trabaja con muestras para posteriormente poder medir los siguientes isótopos: ¹²⁹I, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ⁴¹Ca, ³⁶Cl, ²⁶Al, ¹⁰Be y ²³⁶U, 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 ¹⁴C.

We measure isotopes such as ¹²⁹I, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ⁴¹Ca, ³⁶Cl, ²⁶Al, ¹⁰Be and ²³⁶U, 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 include, among others:

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities



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

3. Infraestructuras / Facilities

3.5 Acelerador MiCaDaS / MiCaDaS Accelerator

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

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⁺ para producir un haz de iones negativos. Este haz es analizado por un campo magnético antes de entrar en la zona de aceleración de 200 kV. Dentro de la zona de aceleración, los iones interactúan con el gas de stripper, de modo que los iones cambian su estado de carga de negativo a neutral o positivo. Los iones positivos son acelerados nuevamente hasta potencial de tierra y son analizados en función de su masa y carga.



Figura 3.18: MiCaDaS (Mini Radiocarbon Dating System)

El sistema de AMS determina de forma precisa el cociente ${}^{14}C/{}^{12}C$ 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 ${}^{12}C$ y ${}^{13}C$, así como ${}^{13}C$ 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 ¹⁴C 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 0.002 hasta 10 fMC con alta precisión, lo que incluye todo el rango de posibles muestras arqueológicas y de estudios ambientales. El sistema de intercambio de muestras está equipado con cámaras independientes que permiten un proceso de medida continuo, sin interrupciones.

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

MiCaDaS system (Figure 3.18) is an instrument to perform AMS analysis specifically designed for ¹⁴C 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 ${}^{12}C$ and ${}^{13}C$, as well as ${}^{13}C$ coming from the breakup of ${}^{13}CH$ molecules is measured. ${}^{14}C$ counts are also measured.

Currents are measured in Faraday cups, meanwhile ¹⁴C 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 0.002 to 10 fMC with high precision, which includes all the range of the possible archaeological and environmental applications. The sample changing system is equipped with two independent locks allowing a continuous measurement sequence.

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

3. Infraestructuras / Facilities

3.5.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service

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

Asociado al Acelerador MiCaDaS existe un Servicio de Datación por Radiocarbono (¹⁴C). 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 ¹⁴C, pero que usan el método tradicional radiométrico, es decir, con detectores de radiación. Por razones científicas la técnica tradicional de datación por ¹⁴C es altamente destructiva (necesita gramos de carbón para datar), consume mucho tiempo de trabajo (al menos se necesitan varias horas por muestra) y es poco productiva (por las razones anteriores).

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

-Reducir la cantidad de muestra necesaria para producir una fecha hasta fracciones de miligramo (casi no destructiva, muy importante para objetos de interés especial).

-Realizar la medición en fracciones de hora por muestra y, consecuentemente, es capaz de producir una mayor cantidad de fechas por unidad de tiempo que el método tradicional. La razón para todo ello reside en que mientras que con el método tradicional se mide la radiación emitida por ¹⁴C, con AMS se mide el número de átomos de ¹⁴C presente en la muestra.

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

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

The use of Accelerator Mass Spectrometry allows:

-The reduction to the sub-milligram scale of the sample amount that is required for dating (almost non-destructive, which is really important in the analysis of valuable material).

-Sample measurements in less than one hour, producing a higher number of dating analyses per day than conventional methods (higher productivity). All these advantages are due to the fact that in the traditional procedures, the radiation emitted by ¹⁴C is

3. Infraestructuras / Facilities

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

En los años 2015 y 2016 se ha continuado el plan de trabajo previo, y las últimas actualizaciones en el laboratorio se han implementado completamente. Así, se ha puesto en marcha un sistema de preparación automática de las muestras de carbonato, lo que permite realizarlas de una forma más sencilla y rápida, y utilizando la misma línea de grafitización que las muestras orgánicas, lo que permite una comparación más razonable.

De este modo, el servicio de radiocarbono cuenta con una importante infraestructura: el sistema de medida de C-14 Micadas (Mini CArbon DAting System), una línea de grafitización para reducir CO_2 a grafito, un Analizador Elemental para generar CO_2 a partir de muestras orgánicas y el sistema comentado para generar CO_2 a partir de muestras de carbonato. En estos momentos se está desarrollando la posibilidad de preparar incluso muestras de carbonatos disueltos en agua en esta línea.

Además, en caso de necesidad por mantenimientos prolongados o averías, las medidas pueden realizarse en el sistema de AMS SARA, en el que se trabajó de forma rutinaria antes de la instalación del Micadas.

En los años 2015 y 2016 se han preparado 340 y 500 muestras desconocidas respectivamente, para un total de más de 3300 muestras desde la puesta en marcha del servicio, para el beneficio de todo tipo de instituciones nacionales e internacionales.

During 2015 and 2016 we have continued with the previous planning, and the latest developments in the laboratory have been completely implemented. Thus, an automatic carbonate handling system has been set up, allowing the preparation of such samples in a simpler and faster way, and using the same graphitization line that is used for organic samples. This way the results can be easily compared even with different matrixes.

At this moment, the radiocarbon dating service counts with an important infrastructure: the Micadas (MIni CArbon DAting System) C-14 detection system, a graphitization line to reduce CO_2 to graphite, an Elemental Analyzer to generate CO_2 from organic samples, and the already mentioned carbonate handling system to generate CO_2 from carbonate samples. At this moment we are developing the possibility of preparing dissolved inorganic carbon samples from liquids in this line.

Besides, in the case of long term maintenance or failure of the Micadas system, the samples can be measured in the SARA AMS facility at CNA, which was routinely used for this task until the installation of Micadas.

3. Infraestructuras / Facilities

In 2015 and 2016 we have prepared 340 and 500 unknown samples respectively, for a total of more than 3300 samples since the radiocarbon service started, for the benefit of all kind of national and international institutions.

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

Para la medida de muestras de radiocarbono mediante AMS en el CNA se necesitan muestras sólidas de grafito. Las muestras en el laboratorio se limpian, y es necesario extraer el carbono intrínseco a ellas para transformarlo en este material. De forma general, este carbono se extrae en forma de CO₂ y es reducido a grafito mediante un sistema de grafitización.

El sistema automático AGE (Automatic Graphitization Equipment) está directamente conectado a un analizador elemental (EA), y se ha diseñado para preparar muestras de forma eficiente y rápida para su posterior medida por AMS.

Tradicionalmente se ha usado el transporte criogénico del CO_2 generado en la combustión de la muestra hasta los reactores mediante el uso de nitrógeno líquido. En AGE se utiliza una columna rellena de zeolita para atrapar el CO_2 proveniente de la combustión de la muestra en el EA. Después, el CO_2 se libera fácilmente por calentamiento de la trampa de zeolita y se transfiere al reactor por expansión gaseosa. Al evitar el uso del nitrógeno líquido el sistema es muy compacto y permite un funcionamiento completamente automatizado de los procesos de combustión y grafitización.

El nuevo sistema para la obtención de CO_2 a partir de los carbonatos funciona también acoplado al sistema AGE, pero genera el CO_2 mediante disolución en ácido en lugar de por combustión. Utiliza un automuestreador que purga los tubos septum en los que se encuentran las muestras, añade el ácido y transporta el CO_2 generado hasta los reactores.

El sistema completo con válvulas, hornos, sensores de presión y temperatura, está controlado por un ordenador. Un programa en LabView recorre todos los pasos necesarios del proceso de preparación de la muestra: acondicionamiento del catalizador, combustión de la muestra, atrapamiento del CO₂ y su posterior liberación de la trampa, y finalmente el proceso de grafitización en sí mismo.

For radiocarbon measurements with accelerator mass spectrometry (AMS) at CNA solid graphite targets are required. Samples in the laboratory are therefore cleaned, and intrinsic carbon is extracted to be transformed in such material. In a general way, carbon is extracted as CO_2 and 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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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 new Carbonate Handling System (CHS) to obtain CO_2 from carbonate samples is also coupled to AGE, but generates CO_2 by acid dissolution instead of combustion. It uses an autosampler that purges the septum tubes in which the samples are stored, adds the acid, and transports the generated CO2 to the reactors.

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.



Figura 3.19: Línea de grafitización / Graphitization line

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

3. Infraestructuras / Facilities

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

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



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

3. Infraestructuras / Facilities

3.6 Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory

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

El laboratorio se encuentra situado en la planta sub sótano del edificio. El irradiador y los sistemas auxiliares se alojan en una sala de 5.8x4.8x3 m³, 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 [®] X200 (GBX200) (Figura 3.21) de la empresa Best Theratronics. Consiste en un cabezal rotatorio (360°) de acero, relleno de plomo y tungsteno, donde se aloja una fuente radiactiva de cobalto (⁶⁰Co). 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 ⁵⁹Co en un reactor se produce el isótopo ⁶⁰Co. Éste, con una vida media de 5.26 años, decae a ⁶⁰Ni mediante desintegración beta emitiendo rayos gamma de 1.17 y 1.33 MeV. La fuente instalada en el irradiador del CNA cuenta con una actividad de 237 TBq (6400 Ci) a fecha de enero de 2017. Variando la distancia de la muestra a la fuente (mínimo 50 cm) y con el uso de un atenuador, es posible obtener un amplio rango de tasa de dosis entre 0.05 y 400 Gy/h. El tamaño de campo de irradiación es variable, siendo el mayor de 140x140 cm² a la máxima distancia posible del blanco a la fuente.

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

3. Infraestructuras / Facilities

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



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

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

The laboratory is sited in the basement of the building. The irradiator and auxiliary systems are housed in a room (5.8x4.8x3 m³) built with walls and ceiling shielded made of reinforced concrete, especially designed based on current regulations of radiation protection. A labyrinth shaped passage gives access to the control room, also shielded, where are placed the irradiator control console, the dosimetric monitoring system and the radiation safety monitoring equipment.

The CNA has one of the gamma radiation equipment for research most versatile on the market today, the model Gammabeam [®] X200 (GBX200) (Figure 3.21) of Best Theratronics company. It comprises a steel rotary head (360°) filled with lead and tungsten, where is placed a radioactive source of cobalt (⁶⁰Co). 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.

3. Infraestructuras / Facilities

The GBX200 contains an isotopic source of cobalt-60 manufactured by MDS-Nordion. The ⁶⁰Co isotope is produced in a reactor by neutron bombardment of the ⁵⁹Co stable isotope. With a half- life of 5.26 years, the ⁶⁰Co nucleus decays to become ⁶⁰Ni by beta emission and two associated gamma rays with energy of 1.17 and 1.33 MeV. The source installed in the irradiator of this Centre has an activity of 237 TBq (6400 Ci), in January 2017. By adjusting the distance of the sample to the source (minimum 50 cm) and by means of an attenuator, it is possible to obtain a wide range of dose rate from 0.05 to 400 Gy/h. The irradiation field size is also variable; the largest field is 140x140 cm² at the maximum distance from the source.

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

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

-La Unidad de Investigación en Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones (IBA).

- -La Unidad de Investigación de Física Nuclear Experimental Básica (FNB).
- -La Unidad de Investigación del Ciclotrón.
- -La Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS).

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

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

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

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

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

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

4. 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, Ciencia del Plasma y Tecnología de Fusion, Irradiación y Patrimonio Cultural. A la actividad en los aceleradores en materia de irradiación, hay que añadir la realizada en el nuevo Laboratorio de Radiación Gamma-RADLAB.

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

4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science

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

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, IBIC, IL and channeling.

Below, we briefly describe the main research lines in these years.

Desarrollo de un modelo matemático para evaluar la vida media de los portadores de carga en detectores semiconductores sometidos a daño por radiación. Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto coordinado de la IAEA "Ion Beam Accelerators Techniques for Characterization and Defects Production in Semiconductors and Insulators Materials and Devices". En él hemos desarrollado un modelo matemático que permite analizar las curvas de Eficiencia de Colección de Carga (CCE) en función del voltaje inverso aplicado al detector. Partiendo del modelo existente de derivadifusión, que sólo tenía en cuenta la probabilidad de recombinación en la parte neutra

4. Investigación / Research

del detector, hemos extendido el cálculo a la posible recombinación en la parte activa del dispositivo. Esta nueva aproximación para calcular la CCE es fundamental cuando la longitud de deriva de los portadores no puede considerarse mucho mayor que el espesor del detector debido al daño inducido por la radiación.

$$CCE = CCE_{Drift} + CCE_{Diffusion}$$

$$CCE_{Drift} = \frac{1}{E_i} \int_0^w \frac{dE}{dx} \left[\frac{1}{w} \int_0^x dy e^{-\int_y^x \frac{dz}{L_{min}(z)}} + \frac{1}{w} \int_x^w dy e^{-\int_x^y \frac{dz}{L_{maj}(z)}} \right] dx$$

$$CCE_{Diffusion} = \frac{1}{w} \int_0^w dx e^{-\int_x^w \frac{dz}{L_{min}(z)}} \frac{1}{E_i} \int_w^{R_o} \frac{dE}{dy} e^{-\frac{y-w}{L_{diff}}} dy$$

Siendo E_i y R_p la energía inicial y el rango del haz de iones, respectivamente, dE/dx la curva de ionización, w el espesor de la zona de deplexión, $L_{min,max}$ la longitud de deriva de los portadores y L_{diff} la longitud de difusión de los portadores minoritarios.

Este modelo se ha utilizado para estudiar las propiedades de transporte de un conjunto de diodos de Si y de SiC sometidos a daño por radiación utilizando protones de 17 MeV.



Figura 4.1: Valores CCE experimentales (puntos rellenos) y calculados (puntos abiertos) utilizando el modelo D-D modificado para diodos de Si prístinos (negros) e irradiados (rojos) tipo p y n / Experimental (filled dots) and calculated (open dots) CCE values using the modified D-D model for pristine (black) and irradiated (red) p and n-type Si diodes

Development of a mathematical model to evaluate the carrier lifetimes in radiationdamaged semiconductor detectors. This work is done in the frame of the IAEA Coordinated Project "Ion Beam Accelerators Techniques for Characterization and Defects Production in Semiconductors and Insulators Materials and Devices". The analysis of the charge collection efficiency (CCE) as a function of the reverse bias voltage has been carried out using an upgraded drift-diffusion (D-D) model which takes into account the possibility of carrier recombination not only in the neutral substrate, as the simple D-D model assumes, but also within the depletion region. This new

4. Investigación / Research

approach for calculating the CCE is fundamental when the drift length of carriers cannot be considered as much greater that the thickness of the detector due to the ion induced damage. In our model (see the Spanish version) E_i and R_p are the initial energy and range of ions, respectively, dE/dx is the ionization curve, w is the depletion thickness, $L_{min,max}$ are the drift length of minority and majority carriers and L_{diff} is the diffusion length of minority carriers.

We have used this model to study the transport properties of a set of Si and SiC diodes irradiated with 17 MeV protons.

Estudio de eficiencia de colección de carga en microdosímetros cilíndricos 3D de silicio. El Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM) ha desarrollado recientemente un nuevo tipo de diodo de silicio tridimensional utilizando obleas ultrafinas de SOI con estructuras columnares 3D. El detector consiste en un conjunto de microsensores cilíndricos 3D independientes delimitados por un electrodo 3D grabado en el silicio activo. Cada volumen sensible del microsensor tiene dimensiones en el rango de las células humanas, por lo que quieren ser utilizados como microdosimetros en campos tales como la protección radiológica y la planificación del tratamiento en radioterapia.

Estos detectores se han caracterizado en el CNA mediante la técnica de IBIC, lo cual ha permitido conocer experimentalmente el voltaje mínimo necesario para obtener una eficiencia de carga del 100%, así como el tamaño efectivo de cada celda. Por otro lado, se ha podido comprobar mediante los mapas de IBIC que todas las celdas del conjunto de microdosimetros están activas.



Figura 4.2: Izquierda: Imagen SEM de una matriz de microdosímetros con paso de 200 μm. Derecha: 1x1 mm² Mapa IBIC en la región de energía completa. Las células desaparecidas se irradiaron a una gran fluencia iónica y mostraron un menor CCE / Left: SEM image of an array of microdosimeters with 200 μm pitch. Right: 1x1 mm² IBIC map in the full energy region. The missing cells were irradiated to a large ion fluence and show a lower CCE

4. Investigación / Research

Charge collection efficiency in 3D cylindrical silicon microdosimeters. The Institute of Microelectronics of Barcelona (IMB-CNM) has recently developed a new type of threedimensional diode on ultrathin SOI silicon wafers with 3D columnar structures. The detector consists of an array of independent 3D cylindrical microsensors delimited by a 3D trench electrode etched in the active silicon. Each sensitive volume has micrometric dimensions in the range of the size of human cells, so these detectors are to be used as microdosimeters in fields such as radiation protection and treatment planning in radiation therapy.

At CNA we have used the IBIC technique to find experimentally important information about the detector performance, as the minimum voltage needed to obtain full collection efficiency, the effective size of each cell and a 100% yield of active cells in a microdosimeter array.

Estudio experimental mediante IBIC del factor de multiplicación en dispositivos LGAD.

En el CNM-IMB Barcelona se ha desarrollado una nueva tecnología de detectores para física de altas energías con multiplicación intrínseca de la carga producida por la radiación. Estos detectores se llaman LGAD (Low Gain Avalanche Detectors) e implementan una región fuertemente dopada bajo la unión del diodo donde el campo eléctrico es elevado y da lugar a la multiplicación de las cargas mediante una avalancha controlada. Los detectores objeto de este experimento tienen estructura de micropistas. En la Figura 4.3, se muestra el corte transversal de dichos detectores, donde se puede ver el contacto (tipo n⁺⁺) y el implante de multiplicación (p⁺⁺) bajo la pista de aluminio. El tamaño total del dispositivo es 1x1 cm² y el pitch (paso entre pistas) es 80µm.



P⁺ anode Figura 4.3: Estructura del LGAD/ LGAD structure

En el CNA hemos llevado a cabo un estudio mediante IBIC de la colección de carga para averiguar la homogeneidad de la multiplicación en el dispositivo, y para estimar de forma precisa el factor de multiplicación en función de la tensión aplicada en el detector. Como se observa en la Figura 4.4, los mapas de IBIC indican que existen 3 zonas con distinta ganancia. Las partículas que atraviesan la capa de multiplicación muestran una ganancia g \approx 1.06, las que pasan por el borde de las micropistas tienen un factor de multiplicación g \approx 1.0 y las que inciden entre dos pistas poseen una g < 1. Puesto que el factor de multiplicación no es homogéneo a lo largo de la superficie del

4. Investigación / Research

dispositivo, el grupo CNM-IMB está considerando la fabricación de nuevos detectores, llamados iLGAD (inverse LGAD) cuya la capa de multiplicación se encuentra en la parte de inferior del dispositivo.



Figura 4.4: Mapas de IBIC de 100x100 μ m² del dispositivo LGAD. A la derecha, foto de la micropista / IBIC maps 100x100 μ m² of the LGAD device. At the right, photo of the microstrip

Experimental study by IBIC of the multiplication factor in LGAD devices. The CNM-IMB has recently developed a new technology of detectors for high energy physics with an intrinsic charge multiplication. These detectors, called LGAD (Low Gain Avalanche Detector), have a n-contact with a p-doped implant beneath (multiplication layer), creating a junction with high electric field where an avalanche mechanism takes place. The analyzed detectors have a microstrip structure (see Figure 4.3) with a total size of 1x1 cm² and a pitch of 80 μ m.

At the CNA we have carried out a Charge Collection Efficiency study by IBIC to check experimentally the homogeneity of the multiplication factor of the device and to determine the gain. As observed in Figure 4.4, the IBIC maps show that there are 3 regions with different gain factor. The particles crossing the multiplication layer have a gain $g \approx 1.06$, those particles passing at the edge of the strips have $g \approx 1.0$ and finally the charge collected in between the strip has g < 1. Since segmented LGAD do not present a homogeneous multiplication through all the surface, the CNM-IMB group has considered the fabrication of new detectors, called iLGAD (inverse LGAD), with the multiplication layer located at the backside of the device.

<u>Caracterización mediante IBIC de detectores de diamante.</u> En los últimos años se vienen desarrollando detectores de diamante monocristalinos (SDDs) como detectores de neutrones para aplicaciones en fusión nuclear y en fuentes de espalación. La mayor ventaja de los SDD es su dureza frente a la radiación, su resolución en energía, su insensibilidad frente a campos magnéticos y su tamaño compacto.

En colaboración con el Rutherford Appleton Laboratory y la Universidad de Milan-Bicocca hemos realizado un estudio por IBIC de las características de colección de carga de dos SDD desarrollados en el Istituto di Struttura della Materia, CNR (Italia) para su uso en espectroscopía de neutrones en diagnósticos de plasmas de fusión de

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

alta potencia. Uno de los detectores tiene un diseño tradicional, con un contacto grande (4.5x4.5 mm²) del mismo tamaño que el cristal. El otro posee un contacto (0.5x0.5 mm²) mucho menor que el tamaño del cristal (2.0x2.0 mm²) con el fin de desarrollar una tecnología de detectores pixelados sensibles a la posición.

La uniformidad lateral de colección de carga ha sido estudiada en la línea de microsonda utilizando protones de 1 y 3 MeV. Se observó que el detector con el contacto grande muestra una respuesta uniforme en la parte central y la CCE se degrada sólo en el borde, debido al menor campo eléctrico en esa zona. En el caso del detector pixelado, la CCE se degrada progresivamente a medida que nos alejamos del contacto central hacia el borde (ver Figura 4.5).



Figura 4.5: Mapas de SDD pixelado 2.5x2.5 mm². El CCE se degrada desde 100% (A) a 50% (F) / 2.5x2.5 mm² CCE maps of pixelated SDD. The CCE decreases from 100% (A) to 50% (F)

Los efectos de polarización se han medido para protones de 1 y 3 MeV y han sido estudiados en términos de la evolución temporal de la respuesta del detector. Se ha demostrado que esos efectos pueden ser recuperados mediante ciclos de polarización e irradiación. Asimismo, hemos producido un daño permanente irradiando con protones a alta fluencia, el cual cambia localmente la respuesta del detector y no puede ser recuperado.

<u>IBIC characterization of diamond detectors.</u> Single crystal Diamond Detectors (SDDs) have been developed in recent years as neutron detectors for application to nuclear fusion and neutron spallation sources. The main advantages of SDDs are their radiation hardness, high energy resolution, insensitivity to magnetic field and compact size.

In collaboration with the Rutherford Appleton Laboratory and the University of Milano-Bicocca, we have carried out an IBIC study to determine the charge collection characteristics of two different SDDs developed at the Istituto di Struttura della Materia, CNR (Italy) for neutron spectroscopy measurements in high power fusion plasmas diagnostics. One detector has a traditional design, and features a large contact (4.5x4.5 mm²) of the same size as the crystal. The other features a small contact (0.5x0.5 mm²) with respect to the crystal (2.0x2.0 mm²). The aim of this prototype is to develop a technology of pixelated position sensitive diamonds.

The lateral uniformity of charge collection was studied in the microbeam line using 1 and 3 MeV protons. It was observed that the diamond with large contact has a good uniformity of response in the central part of the detector and a degraded CCE at the

4. Investigación / Research

edge of the contact, due to the lower electric field in this zone. On the other hand, the active area of the pixelated detector shows a gradual decrease of the CCE as we move farther away from the central contact (see Figure 4.5).

Polarization effects have been measured for 1 MeV and 3 MeV protons and have been studied in terms of the time evolution of the detector response. We showed that these effects can be recovered with polarity cycles and irradiation. On the other hand, we were able to induce permanent damage by proton irradiation at high fluence, which can locally change the response of the detector, without possibility of recovery.

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

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

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

Measurement of the stoichiometry of Au, Pt, Si, SiOx, TiOx thin films prepared by glancing angle deposition by reactive magnetron sputtering to avoid hysteresis

4. Investigación / Research

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

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

In the reactive sputtering reactor of the Institute of Materials Science of Seville a line of research for the study of possible strategies to eliminate the effects of poisoning of the cathode is followed.

<u>Cálculo de la estequiometría de películas delgadas LiMn_{1.5}Ni_{0.5}O₄ (LMNO), Li₇La₃Zr₂O₁₂ (LLZO) para baterías de litio. Las baterías de iones de litio de estado sólido son una alternativa prometedora a los electrolitos líquidos, ofreciendo una operación intrínsecamente más segura y un voltaje de salida más alto debido a la ausencia de restricciones impuestas por los electrolitos líquidos.</u>

El grupo de capas delgadas Empa-Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA) realiza diferentes estudios sobre el cátodo (LMNO) y el electrolito sólido (LLZO) de este tipo de baterías. Estos materiales se depositaron como películas finas sobre obleas de silicio recubiertas por magnetron sputtering. Posteriormente se han recocido a altas temperaturas y se han caracterizado por difracción de Rayos-X. A pesar de obtener las fases deseadas, es crucial determinar con precisión la composición de litio en cada caso debido al hecho de que durante el proceso de deposición se produce pérdida de litio. Para compensar este factor, hemos se ha realizado un depósito simultáneo de Li₂O y se han estudiado los diagramas de XRD correspondientes. En el CNA, hemos combinado la espectroscopía de dispersión elástica de protones y PIXE con un haz de protones de 3 MeV con el fin de determinar con precisión el contenido de diferentes elementos (Li, O, Cr, Mn, Ni, Ga, Zr).

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

<u>Calculation of stoichiometry of $LiMn_{1.5}Ni_{0.5}O_4$ (LMNO), $Li_7La_3Zr_2O_{12}$ (LLZO) thin films for <u>Lithium batteries</u>. All-solid state lithium ion batteries are promising alternative to liquid electrolyte ones, offering an instrinsically safer operation and higher output voltage due to the absence of restrictions imposed by liquid electrolytes.</u>

Among the primary elements of a lithium-ion battery, the centre of our research at this stage is focus on the cathode (LMNO) and solid electrolyte (LLZO. These materials were deposited as thin films on coated silicon wafers by magnetron sputtering, post annealed at high temperatures and characterized by X-Ray diffraction. Despite obtaining the desired phases in each case, it is crucial to determine accurately the lithium composition in each case due to the fact that lithium loss occurs during the deposition process. To compensate for this factor, we have cosputtered Li_2O and studied the corresponding XRD diagrams. We have combined proton Elastic backscattering and PIXE with a proton beam of 3 MeV in order to determine precisely de content of different elements (Li, O, Cr, Mn, Ni, Ga, Zr).

<u>Caracterización del contenido de ³He en muestras de W nanoestructurado.</u> Debido a sus propiedades, el tungsteno se considera hoy en día el mejor candidato para aplicaciones de materiales de revestimiento de plasma, tanto en reactores de fusión nuclear de confinamiento magnético como de confinamiento inercial. Sin embargo, se han identificado algunas dificultades en el W masivo con tamaño de grano en el orden de la micra (CGW) que tienen que ser superadas para cumplir con las especificaciones. En particular, se debe prestar especial atención a la alta capacidad de retención de especies ligeras. Las especies ligeras en CGW tienden a nuclearse en los racimos de vacantes formando burbujas sobrepresurizadas que conducen, entre otros efectos, a la formación de ampollas y exfoliación superficiales.

Una alternativa para retrasar la aparición de ampollas y efectos de exfoliación es el uso de materiales con un tamaño de grano en el rango de nanómetros, los llamados materiales nanoestructurados. El comportamiento de estos materiales bajo irradiación está dominado por la gran densidad de los límites de grano, que a la temperatura ambiente actúan como (i) centros de aniquilación para los pares de Frenkel (comportamiento de auto-curación) y (ii) centros de fijación para especies ligeras.

Hemos realizado medidas de la concentración de ³He en diferentes muestras de W nanoestructuradas preparadas por el Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid mediante implantación iónica doble (³He y C) y triple (³He, H y C) en "Joint Accelerators for Nano-science and Nuclear Simulation" (CEA-CNRS-Univ. Paris-Sud), con el fin de investigar la influencia de los efectos sinérgicos sobre el comportamiento de las especies ligeras para muestras W nanoestructuradas.

<u>Characterization of ³He content in samples of nanostructured W.</u> Due to its properties tungsten is considered nowadays the best candidate for plasma facing materials applications, in both magnetic and inertial confinement nuclear fusion reactors. However, some difficulties have been identified in coarse grained W (CGW) which has

4. Investigación / Research

to be overcome in order to fulfil specifications. In particular, special attention should be paid to the high capacity for light species retention. Light species in CGW tend to nucleate in vacancy clusters forming over-pressurized bubbles that lead, among other effects, to surface blistering and exfoliation.

One alternative to delay the appearance of blistering and exfoliation effects is the use of materials with a grain size in the nanometer range, so called nanostructured materials. The behavior of these materials under irradiation is dominated by the large density of grain boundaries, which at room temperature act as (i) annihilation centers for Frenkel pairs (self-healing behavior) and (ii) pinning centers for light species.

We performed measurements of ³He concentration on different nanostructured W samples prepared by the group Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid by double (³He and C) and triple (³He, H and C) ion implantation at "Joint Accelerators for Nano-science and Nuclear Simulation" (CEA-CNRS-Univ. Paris-Sud), in order to investigate the influence of synergistic effects on the behavior of light species for nanostructured W samples.

<u>Caracterización de la densidad de recubrimientos de TiAIN.</u> El nitruro de titanio de aluminio (AlTiN) como recubrimiento en película fina que ofrece una alta resistencia a la oxidación a 800°C, así como una dureza ligeramente superior y especialmente una dureza en caliente más alta (es decir, la dureza a altas temperaturas) que la del TiN. Se utiliza principalmente en entornos de alta temperatura por encima de los límites de uso de TiN. Se ha descrito que los recubrimientos a base de TiAIN presentan una mayor resistencia a la oxidación que los de TiN ya que tanto el titanio como el aluminio pueden formar óxidos protectores que suprimen la difusión de oxígeno formando una fina capa superficial de alúmina (Al₂O₃) o cerámica de óxido de aluminio. Muchos informes recientes han demostrado la mejora en el tiempo de corte y perforación frente al rendimiento de velocidad, desgaste y reducción de fricción y resistencia a la corrosión cuando estos materiales se utilizan en el revestimiento de herramientas de corte.

Hemos medido un conjunto de muestras depositadas por magnetrón sputtering reactivo bajo diferentes condiciones por el grupo Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición elemental de las películas delgadas de aleación de Al-Ti-N. Las medidas de RBS en condiciones no Rutherford se llevaron a cabo usando un haz de He a la energía de resonancia del nitrógeno (3.7 MeV), para tener un conocimiento exacto sobre la composición del nitrógeno. Para evitar el solapamiento de picos de Al y Ti se realizaron también medidas a más alta energía.

<u>Characterization of the density of TiAIN coatings.</u> Aluminum Titanium Nitride (AlTiN) is a thin film coating that offers high temperature oxidation resistance up to 800°C, as well as slightly higher hardness and especially higher hot hardness (i.e. the hardness at high temperatures). It is primarily used in high temperature environments above the

4. Investigación / Research

limits of TiN usage. TiAlN-based coatings have been reported exhibiting higher oxidation resistance, than TiN as both the titanium and aluminum could form protective oxides which suppressed oxygen diffusion by forming a thin surface layer of Alumina (Al_2O_3), or Aluminum Oxide ceramic. Many recent reports have shown the improvement made on cutting and drilling lifetime versus speed performance, wear and friction reduction and corrosion resistance when these materials are used in the coating of the tools.

We have measured a set of samples deposited by reactive magnetron sputtering under different conditions by the group Instituto de Fusión Nuclear at Universidad Politécnica de Madrid. The aim of this work was to characterize the elemental composition of Al-Ti-N alloy thin films. Non-RBS measurements were carried out by using a He beam at the resonance energy of nitrogen (3.7 MeV), in order to have an accurate knowledge about the nitrogen composition. To avoid overlapping of Al and Ti peaks, measurements were also made at higher energy.

Caracterización de la composición elemental de películas delgadas de InZnO en función de los parámetros de depósito mediante pulverización catódica. Las películas delgadas de óxido conductor transparente (TCO) se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo los electrodos transparentes de pantallas planas (FPDs) y células solares, dispositivos optoelectrónicos, paneles táctiles y detectores infrarrojos IR. Películas de óxido de indio dopado con estaño (ITO), han sido ampliamente utilizada en FPDs, incluyendo pantallas de cristal líquido (LCD), paneles de pantallas de plasma (PDP) y dispositivos orgánicos emisores de luz (OLED). Las películas delgadas de ITO tienen la menor resistividad disponible (< 10^{-4} Ω -cm) cuando se depositan a temperaturas elevadas (250-350°C), sin embargo, para aplicaciones específicas como pantallas flexibles y OLED, la película TCO debe depositarse a temperaturas inferiores a 200°C. Cuando una película fina de ITO se deposita a baja temperatura aparecen algunos problemas, incluyendo menor resistencia al calor y a la humedad, aumento de resistividad e inestabilidad química, surgen. Además, las películas de ITO se transforman fácilmente de una forma amorfa a una forma cristalina a aproximadamente 150°C y la tensión interna de la forma cristalina conduce a un agrietamiento severo. Los defectos superficiales, tales como spikes o pinholes, en las películas de TCO causan degradación del rendimiento en los OLED, que aparecen como manchas oscuras y resultan en vidas más cortas. Para mejorar su rendimiento, la morfología superficial de las películas TCO debe ser extremadamente plana. Por lo tanto, la necesidad de desarrollar un sustituto de la película ITO se ha convertido cada vez más urgente. Se pueden preparar fácilmente películas de óxido de indio dopado con zinc amorfo (IZO) con baja resistividad, alta transmitancia, alta velocidad de decapado y excelente suavidad superficial a una temperatura de depósito baja. Una superficie lisa también ofrece la posibilidad de mejorar el rendimiento del transporte de electrones, sin dispersión de rugosidad de interfaz o límites de grano. Por lo tanto, una película amorfa IZO es el mejor candidato para la producción de electrodos conductores transparentes de alta calidad para OLEDs y pantallas flexibles.

4. Investigación / Research

Hemos medido un conjunto de muestras depositadas por pulverización catódica reactiva bajo diferentes condiciones por el grupo Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición elemental de películas delgadas de IZO. Esta caracterización, unida a la resistividad ya las mediciones ópticas, permitirá determinar la dependencia de las propiedades ópticas y eléctricas de las películas delgadas IZO en función de su composición.

Compositional characterization of InZnO thin films as a function of sputtering parameters. Transparent conductive oxide (TCO) thin films are used in a wide variety of applications, including the transparent electrodes of flat panel displays (FPDs) and solar cells, optoelectronic devices, touch panels and IR red detectors. One TCO film, tin-doped indium oxide (ITO) film, has been widely used in FPDs, including liquid crystal displays (LCDs), plasma displays panels (PDPs) and organic light-emitting devices (OLEDs). ITO thin films have the lowest available resistivity (< $10^{-4} \Omega$ -cm) when they are deposited at elevated temperatures (250-350°C), yet for specific applications like flexible displays and OLEDs, the TCO film must be deposited at temperatures below 200°C. However, some problems, including reduced resistance to moisture and heat, increased resistivity and chemical instability, arise when an ITO thin film is deposited at a low temperature. Furthermore, ITO films are easily transformed from an amorphous to a crystalline form at about 150°C and the internal stress of the crystalline form leads to severe cracking. Surface defects, such as spikes or pinholes, in TCO films cause performance degradation in OLEDs, showing up as dark-spots and resulting in shorter lifetimes. In order to improve their performance, the surface morphology of TCO films must be extremely flat. Therefore, the need to develop a substitute for ITO film has become increasingly urgent. Amorphous indium zinc oxide (IZO) films with low resistivity, high transmittance, high etching rate and excellent surface smoothness can easily be prepared at a low deposition temperature. A smooth surface also offers the possibility of improved electron transport performance, without interface roughness scattering or grain boundaries. Therefore, an amorphous IZO film is the best candidate for the production of high-quality transparent conducting electrodes for OLEDs and flexible displays.

We have measured a set of samples deposited by reactive magnetron sputtering under different conditions by the group Instituto de Fusión Nuclear at Universidad Politécnica de Madrid. The aim of this work was to characterize the elemental composition of IZO film thin films. This characterization, coupled with resistivity and optical measurements, will allow determining the dependence of the optical and electrical properties of IZO thin films a function of its composition.

<u>Caracterización de la composición elemental de Li_2TiO_3 en función de las condiciones</u> <u>de fabricación.</u> Las cerámicas con base de litio tales como Li_2O , Li_4SiO_4 , $LiAIO_3$ o Li_2TiO_3 están consideradas como prometedoras materias primas en el manto reproductor en reactores de fusión termonuclear, debido a su razonable densidad de átomos de litio, sus características de baja activación del Li a bajas temperaturas (entre 200°C y

400°C), bajo coeficiente de dilatación térmica, alta conductividad térmica. En estos materiales el tritio (T) se origina a partir de las siguientes reacciones nucleares ⁶Li(n, α)T o ⁷Li(n, $n\alpha$)D que tienen lugar cuando las cerámicas son irradiadas con neutrones.

Para la recuperación del tritio se requieren muestras con un 85-90% de densidad verdadera con porosidad abierta (alrededor del 5%). Es preferible una distribución uniforme del tamaño del grano pequeño (con un diámetro entre 2-4 μ m), ya que la energía de activación para la difusión del tritio a través del grano es mayor en comparación con el límite del grano.

Las formas más comunes de los blancos de tritio son los guijarros o pellets. La cerámica utilizada en forma de pellets se procesa a través de técnicas cerámicas estándar a partir de un polvo. Existen varios métodos para la preparación de polvo tales como: reacción en estado sólido, combustión de gel y proceso sol-gel. Uno de los factores asociados con la fabricación de gránulos es la pérdida de litio durante la síntesis cuando la temperatura de síntesis es demasiado alta.

Hemos medido un conjunto de muestras de polvo de Li₂TiO₃ sintetizado por medio de una molienda mecánica en atmósfera de aire a temperatura ambiente por el grupo Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición elemental de Li₂TiO₃. El objetivo principal del trabajo ha sido determinar la composición química elemental de las muestras de Li₂TiO₃ en función de las condiciones de fabricación. Para ello hemos utilizado RBS para determinar la concentración de Ti y O y NRA (⁷Li(p, α)⁴He) para caracterizar el litio. Además, el análisis PIXE se llevó a cabo simultáneamente para estudiar la presencia de posibles impurezas tales como Na y Fe.

<u>Characterization of the elemental composition of Li_2TiO_3 as a function of the fabrication</u> <u>conditions.</u> Lithium-based ceramics such as such as Li_2O , Li_4SiO_4 , $LiAIO_3$ or Li_2TiO_3 are being considered as promising solid breeder materials in the tritium breeding blanket of thermonuclear fusion reactors, because of its reasonable lithium atom density, prominent tritium release rate at low temperatures between 200°C and 400°C, its low activation characteristics, low thermal expansion coefficient, high thermal conductivity. In these materials the Tritium originates from the following nuclear reactions ⁶Li(n, α)T or ⁷Li(n, $n\alpha$)D taking place when the ceramics are irradiated with neutrons.

For tritium recovery purpose samples having 85-90% of true density with open porosity (around 5%) is required. Uniform small grain size distribution (having diameter between 2-4 μ m) is preferable as activation energy for tritium diffusion through grain is higher compared to grain boundary.

The most common shapes of the tritium breeders are pebbles or pellets. The ceramic used in the form of pellets is processed through standard ceramic techniques starting from a powder. There are various methods for the powder preparation such as: solidstate reaction, gel combustion and sol-gel process. One of the factors associated with

4. Investigación / Research

the pellet fabrication is loss of lithium during sintering when the sintering temperature is too high.

We have measured a set of samples of Li_2TiO_3 powder synthesized by means of a mechanical milling in air atmosphere at room temperature by the group Instituto de Fusión Nuclear at Universidad Politécnica de Madrid. The aim of this work was to characterize the elemental composition of of Li_2TiO_3 . The main objective of the work has been to determine the elemental chemical composition of the Li_2TiO_3 samples as a function of the fabrication conditions. For this purpose we have used RBS to determine the Ti and O concentration and NRA ($^7Li(p,\alpha)^4He$) to characterize lithium. Moreover, PIXE analysis was carried out simultaneously to study the presence of possible impurities such as Na and Fe.

Implantación iónica de cerámicas de Li₂TiO₃. Las cerámicas a base de litio tales como Li₂O, Li₄SiO₄, LiAlO₃ o Li₂TiO₃ están consideradas como prometedoras materias primas en las capas fértiles de producción de tritio en reactores de fusión termonuclear, debido a su razonable densidad de átomos de litio, sus características de baja activación del Li a bajas temperaturas (entre 200°C y 400°C), bajo coeficiente de dilatación térmica, alta conductividad térmica. En estos materiales el tritio (T) se origina a partir de las siguientes reacciones nucleares ⁶Li(n, α)T o ⁷Li(n,n α)D que tienen lugar cuando las cerámicas son irradiadas con neutrones.

Para la recuperación del tritio se requieren muestras con un 85-90% de densidad verdadera con porosidad abierta (alrededor del 5%). Es preferible una distribución uniforme del tamaño del grano pequeño (con un diámetro entre 2-4 μ m), ya que la energía de activación para la difusión del tritio a través del grano es mayor en comparación con el límite del grano.

La pérdida de T de la cerámica de litio irradiada por neutrones implica su movimiento difusivo dentro del sólido y su posterior liberación de la superficie cerámica. La comprensión del comportamiento de T (retención y liberación) en la masa y en la superficie de estos materiales porosos es crucial para lograr un reactor de operación autosostenible. Resultados previos, experimentales y simulados, evidencian que tanto el transporte como la liberación de T en cerámicas a base de Li son procesos complejos que implican, entre otros, el límite de grano y la difusión intergranular, la absorción y desorción en las interfaces gas/sólido y reacciones superficiales. Por otra parte un factor adicional, que tiene que ser considerado al estudiar el comportamiento de T en materiales irradiados, es la evolución de la microestructura durante la irradiación con iones energéticos, neutrones y electrones. Se ha realizado un buen número de experimentos de liberación T in situ para ensayar diferentes materiales irradiados en diferentes laboratorios, concluyendo que los procesos implicados en la aniquilación de defectos de radiación parecen desempeñar un papel importante para establecer el sistema de recuperación T y el comportamiento de liberación. Debido a la alta actividad de T, su carácter volátil y su largo tiempo de descomposición que conduce a procedimientos de seguridad complejos y rígidos, para analizar el comportamiento de

4. Investigación / Research

T, las pruebas de irradiación del reactor son tradicionalmente simuladas por implantación iónica de otras especies ligeras como H, D o ³He que son más fáciles de manejar.

En este trabajo el grupo Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid ha sintetizado el polvo de Li₂TiO₃ por medio de una molienda mecánica en atmósfera de aire a temperatura ambiente obteniendo pellets densos. Se ha implantado D, He y O a diferentes energías (para obtener un rango de \approx 10 µm) en diferentes muestras para estudiar (a) el efecto del daño inducido por radiación en la microestructura de la muestra, (b) el comportamiento D en función de la microestructura en muestras dañadas, y (c) el comportamiento de He en función de la microestructura en muestras dañadas.

<u>Ionic implantation of Li_2TiO_3 ceramics.</u> Lithium-based ceramics such as such as Li_2O , Li_4SiO_4 , $LiAIO_3$ or Li_2TiO_3 are being considered as promising solid breeder materials in the tritium breeding blanket of thermonuclear fusion reactors, because of its reasonable lithium atom density, prominent tritium release rate at low temperatures between 200°C and 400°C, its low activation characteristics, low thermal expansion coefficient, high thermal conductivity. In these materials the Tritium originates from the following nuclear reactions ⁶Li(n, α) T or ⁷Li(n,n α)D taking place when the ceramics are irradiated with neutrons.

For tritium recovery purpose samples having 85-90% of true density with open porosity (around 5%) is required. Uniform small grain size distribution (having diameter between 2-4 μ m) is preferable as activation energy for tritium diffusion through grain is higher compared to grain boundary.

The loss of T from neutron-irradiated lithium ceramics involves its diffusive motion within the solid and its subsequent release from the ceramic surface. The understanding of T behavior (retention and release) in the bulk and at the surface of these porous materials is crucial in order to achieve a reactor self-sustainable operation. Previous experimental and simulated results evidence that both Tritium transport and release in Li-based ceramics are complex processes involving, among others: grain boundary and inter-granular diffusion, absorption and desorption at the gas/solid interfaces, diffusion along the interconnected porous, and surface reactions. Moreover an additional factor, which has to be considered when studying T behavior in irradiated materials, is the evolution of the microstructure during irradiation with energetic ions, neutrons and electrons. A good number of in situ T release experiments testing several different irradiated materials have been carried out at different laboratories, the conclusions being that processes involved in the annihilation of radiation defects seem to play an important role to establish the T recovering system and the release behavior. Because of the high T activity, its volatile character and its long decay time which lead to complex and rigid safety procedures, in order to analyze T behavior, reactor irradiation tests are traditionally simulated by ion implantation of other light species such as H, D or ³He which are easier to handle.

4. Investigación / Research

In this work the group Instituto de Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid has synthesized the Li_2TiO_3 powder by means of a mechanical grinding in air atmosphere at room temperature obtaining dense pellets. We have implanted D, He and O at different energies (in order to obtain a range of $\approx 10 \ \mu$ m) in different samples to study (a) the effect of radiation-induced damage on the sample microstructure, (b) the D behavior as a function of the microstructure in damaged samples, and (c) the He behavior as a function of the microstructure in damaged samples.

Medidas de composición de láminas delgadas de silicio amorfo hidrogenado depositadas sobre sustrato de silicio cristalino. En el Grupo de Láminas Delgadas y Microelectrónica 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/cm²) en Si, Ar, N, H y así poder relacionar estos datos con la caracterización óptica de los dispositivos.

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 substrate the surface of attachment. Thus hydrogenated amorphous silicon layers has been deposited using the technique HPS (high pressure sputtering).

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

The thickness of the deposited layers and their concentrations (at/cm²) 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.

<u>Blancos sólidos de He para estudio de reacciones nucleares.</u> El estudio de las propiedades de los núcleos alejados de la línea de estabilidad (halos de neutrones, excitaciones colectivas a baja energía, y la desaparición de los números mágicos) es, actualmente, el área de más interés en física nuclear.

Una de las herramientas experimentales más potentes para la investigación de estos núcleos exóticos es la medida de reacciones nucleares con distintos blancos, inducidas por haces de iones exóticos. Nótese que los núcleos exóticos no pueden usarse como blanco, debido a su vida corta. Por ello, estos experimentos, en los que el objeto de estudio es el proyectil, y no el blanco, se denominan de "cinemática inversa".

El estudio de reacciones nucleares de núcleos exóticos con blancos de He, resultaría muy útil para obtener información de los núcleos exóticos complementaria a la obtenida con blancos de hidrógeno. En particular, podría estudiarse la dispersión elástica (⁴He,⁴He), la transferencia de dos neutrones (⁴He,⁶He) e incluso la transferencia de cuatro neutrones (⁴He,⁸He).

El uso de blancos de He es difícil ya que el He es gas, y no forma moléculas sólidas como en el caso del H. A pesar de ello, se han hecho experimentos con blancos gaseosos. Los blancos de gaseosos estáticos, que consisten la introducción de gas en una en una cámaras de vacío, tienen un alcance de rango angular limitado debido a su geometría. Además, la ventana que separa la cámara del blanco de la línea de haz produce pérdidas de energía en el haz y puede introducir reacciones de fondo Blancos gaseosos sin ventanas no presentan los problemas antes mencionados; Sin embargo, existe una fuerte limitación en el espesor de helio (es decir, en la cantidad de at/cm²), y se requieren estaciones de bombeo costosas para mantener la presión necesaria.

El desarrollo de blancos sólidos de helio, resultaría muy útil, ya que permitiría realizar experimentos de dispersión nuclear, utilizando los mismos sistemas de detección que se utilizan para los blancos de hidrógeno (polietileno).

El grupo de Materiales Nanoestructurados y Microestructura (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla) ha desarrollado capas delgadas Si amorfo con He acumulado en poros cerrados en las que la relación He/Si puede alcanzar valores entorno al 50%.

Se ha llevado a cabo en el CNA la validación dichas capas como blancos sólidos de He para el estudio de reacciones nucleares obteniendo con estos blancos de manera experimental la sección eficaz diferencial de la dispersión elástica del protón-helio en el rango de energía de 0.6 a 3.0 MeV y de ángulos 110° a 165°, demostrando que los blancos de Si:He fabricados son robustos y soportan un alto número de irradiaciones (con protones en el caso que hemos medido en el CNA) sin pérdida significativa de He.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

<u>He solid targets for the study of nuclear reactions.</u> The study of the properties of nuclei far from stability line (neutron halos, collective excitations at low energy, and the disappearance of magic numbers) is currently the area of the most interest in nuclear physics.

One of the most powerful experimental tools for the investigation of these exotic nuclei is the measurement of nuclear reactions with different targets, induced by exotic ion beams. Note that exotic nuclei cannot be used as a target due to their short life. Therefore, these experiments, in which the object of study is the projectile, and not the target, are called "inverse kinematics".

The study of nuclear reactions of exotic nuclei with He targets would be very useful to obtain information of exotic nuclei complementary to that obtained with targets of hydrogen. In particular, elastic scattering (⁴He,⁴He), the transfer of two neutrons (⁴He,⁶He) and even the transfer of four neutrons (⁴He,⁸He) could be studied.

The use of He targets is difficult since He is gas, and does not form solid molecules as in the case of H. In spite of this, experiments have been made with gaseous targets. Static gas targets, consisting of gas chambers, limit the accessible angular range due to their geometry, and the windows of the gas cell interfere with the beam losing energy and therefore introducing background reactions. Windowless gas targets do not present the above-mentioned problems; however, there is a strong limitation in helium thickness (i.e., atoms/cm²), and expensive pumping stations are required to maintain the necessary pressure.

The development of solid targets of helium would be very useful, since it would allow conducting nuclear scattering experiments using the same detection systems that are used for hydrogen targets (polyethylene).

The group of Nanostructured Materials and Microstructure (Institute of Materials Science of Seville) has developed thin layers Si amorphous with I accumulated in closed pores in which the He / Si ratio can reach values around 50%.

It has been carried out in the ANC the validation said layers as He solid targets for the study of nuclear reactions obtaining with these targets experimentally the differential effective section of the elastic proton-helium dispersion in the energy range of 0.6 a 3.0 MeV and angles from 110° to 165°, demonstrating that the Si:He manufactured targets are robust and withstand a high number of irradiations (with protons in the case we have measured in the CNA) without significant loss of He.

<u>Medidas de He en capas amorfas porosas de Co y Cu depositadas por magnetron</u> <u>sputtering.</u> Durante la última década, la investigación de materiales nanoporosos ha sido un campo en expansión para hacer frente a una amplia gama de retos tecnológicos. Los continuos avances en materiales basados en el silicio para dispositivos fotónicos, microelectrónica y conversión de energía solar, han puesto la

4. Investigación / Research

atención de nuevo en el silicio poroso, un material descubierto para el primera vez en 1956. Siendo totalmente compatible con la tecnología microelectrónica establecida, una de los características más atractivas del silicio poroso es la posibilidad de índice de refracción "a medida" según la porosidad de la capa.

El grupo de Materiales Nanoestructurados y Microestructura (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla) ha desarrollado capas delgadas crecidas por magnetrón sputtering de Si, Cu, Co, W (metal M) amorfo con He acumulado en poros cerrados en las que la relación He/M variable a voluntad. Se han realizado medidas de p-EBS para determinar la composición de las muestras así como la homogeneidad en profundidad en las muestras más gruesas.

<u>Measuremnts of He in amorphous Si, Cu, Co, W thin films deposited by magnetron</u> <u>sputtering.</u> During the last decade, research into nanoporous materials has been an expanding field to address a wide range of technological challenges. Continued advances in silicon-based materials for photonic devices, microelectronics and solar energy conversion have again focused on porous silicon, a material discovered for the first time in 1956. Being fully compatible with established microelectronic technology, one of the most attractive features of porous silicon is the possibility of refractive index "tailored" depending on the porosity of the layer.

The group of Nanostructured Materials and Microstructure (Institute of Materials Science of Seville) has developed thin layers Si, Cu, Co, W (metal M) with I accumulated in closed pores, growth by magnetron sputtering, in which the ratio He/M variable at will. Measurements of p-EBS have been made to determine the composition of the samples as well as the homogeneity in depth in the thicker samples.

<u>Estudio de los efectos producidos por protones de 18 MeV en SRAMs nanométricas.</u> En este trabajo hemos obtenido resultados experimentales de lo que se conoce como "Soft errors" producidos por un haz de protones que interacciona con memorias SRAM implementadas con una tecnología CMOS de 65 nm, para ello se han utilizado los protones de 18 MeV de nuestro ciclotrón.

La reducción de las dimensiones y del voltaje de polarización que supone el escalado tecnológico en microelectrónica ha provocado que los circuitos actuales sean más sensibles a errores inducidos por la radiación ionizante. Uno de los componentes más sensibles a los eventos transitorios inducidos por la radiación son las memorias SRAM. El análisis de este tipo de errores es importante porque la Asociación de la Industria de Semiconductores (SIA por sus siglas en inglés) predice que en los próximos 15 años hasta el 95% del área de los chips estará ocupada por bloques de memorias. Por consiguiente, el rendimiento de las memorias dominará el conjunto del rendimiento de la próxima generación de circuitos integrados.

Los tests para medir las tasas de "soft errors" en tiempo real (SER por sus siglas en inglés) requieres de técnicas complicadas y caras. Una caracterización experimental del

4. Investigación / Research

SER implica tiempos de exposición muy elevados o analizar un número elevado de dispositivos para obtener resultados con un cierto nivel de precisión. Por ello, el método más frecuente para la caracterización del SER consiste en realizar experimentos acelerados consistentes en utilizar fuentes artificiales que aseguren un flujo mucho más elevado para irradiar los dispositivos a caracterizar y efectuarla calibración pertinente. En este caso se puede completar un test de SER en horas o minutos dependiendo del flujo de la fuente. Los datos obtenidos pueden después extrapolarse a las condiciones normales de uso de los dispositivos irradiados. En este caso como fuente de partículas se ha utilizado el haz de protones de 18 MeV de nuestro ciclotrón.

Un resultado importante es que se han detectado SEUs generados por protones de 18 MeV in memorias SRAM de la tecnología antes mencionada.

<u>Radiation Effects in nanometric SRAMs induced by 18 MeV Protons.</u> In this work we have obtained experimental results of Soft errors produced by proton interaction in SRAM memories implemented with a 65 nm CMOS technology using our 18 MeV proton facility.

As a result of the decrease in the dimensions of microelectronic devices together with the supply voltage reduction in successive technology generations, SRAM design faces major susceptibility to radiation-induced transient events. The analysis of this kind of errors is important because the Semiconductor Industry Association (SIA) forecasts that in the next 15 years up to 95% of the entire chip area will be occupied by memory blocks. Consequently, memory yield will dominate the overall yield of next generation integrated circuits.

Real-time soft error rate (SER) testing is a complicated and expensive technique performed at nominal working conditions, requiring several hundreds or even thousands of devices to be tested to get a statistically significant result. Moreover, the duration of a typical real-time SER experiment runs from several months to multiple years. One alternative to this approach is accelerated testing where intense radiation sources, with a particle flux (protons in our case) that is generally more than larger than the flux under nominal conditions, is applied. Therefore, accelerated SER tests can be completed within hours or even minutes depending on the source flux. The obtained data is then extrapolated to normal conditions.

One important result is that we have produced and detected single event upsets in SRAM devices generated by 18 MeV protons.

<u>Calibración de la respuesta a la radiación de los fotodiodos S5106 utilizados en uno de los instrumentos a bordo de la expedición ExoMars'16.</u> Se han realizado pruebas de irradiación con protones de 16.6 MeV y de 10 MeV para evaluar el comportamiento del fotodiodo S5106. Este dispositivo es parte del sensor del Displacement Damage Dose (DDD) que se embarcó en el Sensor de Irradiancia Solar (SIS) de la estación

4. Investigación / Research

meteorológica DREAMS que pertenece a la misión Exomars 2016. Este sensor medirá la fluencia total haciendo uso de la degradación del fotodiodo. Por esto, es necesario hacer pruebas de irradiación con protones para determinar (calibrar) los efectos producidos por la radiación en el voltaje inverso de polarización y la temperatura. Además, se han caracterizado el comportamiento de otros fotodiodos que pueden ser utilizados en futuros proyectos. Algunos de los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.6.

<u>Calibration under radiation of the S5106 photodiodes for the SIS for DREAMS ExoMars</u> <u>'16.</u> Radiation tests with 16.6 MeV and 10 MeV protons have been performed to evaluate the behavior of S5106 photodiode. This device is part of the Displacement Damage Dose (DDD) sensor on-board DREAMS-SIS instrument of Exomars 2016 mission. Sensor will measure the total fluence using the degradation of this photodiode. Thus, the radiation tests may be analyzed with proton irradiations to determinate the effects of sensitivity to reverse bias voltage and temperature. Also, other photodiodes have been analyzed to characterize their behavior for future projects. Some of the results are shown in the Figure 4.6.





<u>Caracterización con un sistema espectrométrico de esferas Bonner del campo de</u> <u>neutrones producidos al hacer incidir un haz de protones de 18 MeV en una muestra</u> <u>de grafito.</u> El objetivo de este trabajo era estudiar la producción de neutrones en la línea externa del ciclotrón del Centro Nacional de Aceleradores (CNA). Caracterizar el fondo de neutrones en esta línea es importante para muchos de los trabajos realizados en distintas áreas de investigación distintas al uso principal del acelerador, que es la

4. Investigación / Research

producción de radionúclidos. Los experimentos realizados consistieron en hacer incidir el haz de protones 18 MeV sobre un blanco de grafito. Las irradiaciones fueron llevadas a cabo con dos configuraciones distintas para poder evaluar separadamente la contribución al campo de neutrones de los provenientes del blanco de los que se generan en los colimadores y blindajes de la línea. La primera configuración elegida fue la de un haz desfocalizado que era cortado parcialmente por los colimadores de la línea y en la segunda configuración se focalizó el haz y se redujo su tamaño para evitar todas las interacciones posibles de éste con las distintas partes de la línea.

Las medidas se realizaron un Sistema Espectrómetrico de Esferas Bonner (BSS, por sus siglas en inglés) del Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants of Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). El espectrómetro de la UAB tiene como detector un Contador proporcional cilíndrico relleno de ³He que se coloca en el centro de cada esfera. Las esferas están hechas de polietileno y los diámetros varía desde 2.5" hasta 12" (9 esferas en total). Para aumentar la precisión en la medida de la parte térmica del espectro, tres de las esferas se metieron dentro de otras esferas huecas de Cd de 1.5 mm de espesor. Se realizaron experimentos con las dos configuraciones de haz en distintas posiciones del detector. En concreto, se midió detrás del blanco de grafito (86 cm), y en posición paralela a la línea para dos ángulos diferentes respecto a la dirección de incidencia del haz: 45° y 90°.

<u>Characterization of the neutron field produced by a 18 MeV proton beam impinging on</u> <u>a graphite target using a Bonner sphere spectrometer.</u> The aim of this work was to study the production of neutrons in the external line of the cyclotron of the Centro Nacional de Aceleradores (CNA). This line is dedicated to different purposes than radionuclide production and the contribution of the neutrons must be assessed. During the experimental campaign, 18 MeV protons impinged on a graphite target. Two beam configurations were selected in order to evaluate separately the production of neutrons in the target itself from the production in the collimators and shielding material. The first configuration consists in a wide beam that interacts with the collimators in the line (defocused beam) and, conversely, in the second configuration, the beam is so narrow that avoids such interaction (focused beam).

Measurements were performed using the Bonner spheres spectrometer (BSS) of the Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants of Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). The UAB spectrometer is based on a cylindrical ³He filled proportional counter as a central detector inside each sphere. The spheres are made from polyethylene with an increasing diameter from 2.5" to 12" (9 spheres in total). In order to increase the accuracy of the thermal part of the spectrum, three spheres were additionally irradiated inserted inside a 1.5 mm Cd shell. Both focused and defocused beam configurations were studied in a location at 86 cm behind the graphite target. Besides, two other points at different angles (45° and 90°) from incident direction were selected for the defocused configuration.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.7: Posición del Sistema Espectrómetrico de Esferas Bonner en la cámara / BSS position in the vault

4.1.2 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facilities

El área de Irradiación del CNA se encarga de coordinar toda la investigación relacionada con los ensayos de fiabilidad en dispositivos y materiales susceptibles de ser utilizados en ambientes críticos de radiación, como es el entorno espacial o los experimentos de física nuclear de altas energías. Así como la irradiación de materiales biológicos que conlleve una modificación para aplicaciones específicas en agricultura o medicina. Este tipo de ensayos, ya sea en modo estático o dinámico, se realizan en RadLab empleando fotones gamma y en los laboratorios de los aceleradores de partículas Tándem y Ciclotrón; siendo las líneas de trabajo habitual la microsonda de vacío, la línea de irradiación e implantación y la de haz externo del Ciclotrón.

The irradiation area of the CNA coordinates all the research related to reliability testing on devices and materials that could be used in critical environments of radiation, such as the space environment or high energy Physics experiments. As well as irradiation of biological materials, involving their internal modification for particular applications in agriculture and medicine. This type of test, in static and/or dynamic mode, is performed in RadLab using gamma photons and in the laboratories of Tandem and Cyclotron particle accelerators; using the vacuum microprobe line, the irradiation and implantation line and the external beamline of the Cyclotron.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

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



Figura 4.8: Vista general de la Línea de Irradiación e Implantación durante un ensayo de irradiación en dispositivos electrónicos / General view of the irradiation and implantation beam line during electronic devices testing

Empleando la línea de Irradiación e Implantación iónica, instalada en el acelerador Tándem 3 MV, se ha llevado a cabo la irradiación, en modo dinámico, de varios sensores de imagen con tecnología CMOS (CMOS Image Sensors) pertenecientes al grupo CIMI-ISAE-SUPAERO (Toulouse, Francia). En la Figura 4.8, puede verse uno de los montajes experimentales, perteneciente a una de las campañas realizadas por este grupo en colaboración con CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). Los sensores de

4. Investigación / Research

imagen de tecnología CMOS, han sido estudiados mediante DCS (Dark Current Spectroscopy). Para ello se han utilizado las partículas ideales para estos ensayos, iones muy ligeros (protones, deuterio, alfas) con fluencia suficiente pero sin degradar el pixel, o bien iones un poco más pesados (litio, carbono, oxígeno, aluminio) que producen varios defectos por pixel con mucha menos fluencia. Se ha trabajado con valores comprendidos entre 10^6 y 10^{10} p/cm² y diferentes rangos de energías; por ejemplo 0.6 y 6 MeV para protones y deuterio, 6 y 10 MeV para carbono, 8 y 11 MeV para oxígeno y aluminio. El estudio se ha complementado además con un ensayo en modo estático de algunos de los sensores con protones de 16.5 MeV empleando la línea de Haz Externo del Ciclotrón llegando a fluencia máxima de $5x10^{11}$ p/cm². Los resultados experimentales se analizan en el marco de una tesis doctoral que estudia los defectos producidos por radiación responsables del incremento de la corriente oscura en estos sensores. Como objetivo general, se trabaja en incrementar la dureza frente a radiación de este tipo de dispositivos, tratando de disminuir la corriente oscura inducida por la radiación en la matriz de pixeles.

Por otro lado, a través de empresas como la francesa TRAD-Tests & Radiation, o las italianas A.R.T.E y MAPRAD, se han realizado ensayos de irradiación en modo estático sobre celdas solares y otras muestras ópticas de uso espacial que son objeto de estudio en proyectos financiados por la ESA (European Space Agency). En estos ensayos para evaluar la sensibilidad de las celdas y lentes se utilizan haces de protones, habitualmente con energías de 1, 2 y/o 10 MeV. Por lo tanto, los de más baja energía se realizan en vacío en la línea de Irradiación e Implantación iónica, y los de alta energía en la línea de Haz Externo del Ciclotrón. Es muy habitual trabajar con flujos del orden de 10⁸ p/cm²s y llegar a fluencias máximas de 5-10x10¹¹ p/cm². 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.

Junto a la empresa Alter Technology (Departamento de Optoelectrónica y Nuevas Tecnologías), se ha realizado el plan de ensayos para estudiar la sensibilidad a Latch-Up y otros Single Events del sensor de imagen con tecnología CMOS (EV76C560). Estos sensores y su viabilidad de uso están siendo estudiados dentro del proyecto ExoMars de la ESA (European Space Agency). Los ensavos se han realizado con protones de 10 y 15 MeV en el Haz Externo del ciclotrón, y complementan los realizados en las instalaciones de la UCL (Université Catholique de Louvain) con protones de 60 MeV. Los dispositivos fueron monitorizados online mediante corrientes de consumo de las entradas analógicas y digitales de cada sensor independiente y mediante un set-up de grabación de imágenes. Del mismo modo, utilizando protones a 15 MeV ha sido evaluada la calidad del "underfill" en MCM-Flip-Chips, dentro del proyecto de la ESA para la calificación de soldaduras de estos dispositivos. Así como unos dispositivos integrados en un dado de fosfuro de Indio pertenecientes al Proyecto FP7 BRITESPACE, constituidos por "DFL Laser + Mod + Amplifier". Toda esta serie de dispositivos han sido irradiados en varios pasos de fluencia comprendidos entre 0.1-10x10¹² p/cm² manteniendo un flujo del orden de 10⁸ p/cm²s. Los resultados que derivan de estos

4. Investigación / Research

experimentos serán incluidos por la empresa en los correspondientes informes finales de proyecto.

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

The Irradiation and Implantation Beamline, installed in the 3 MV Tandem accelerator, has been used for irradiation testing, in dynamic mode, on several CMOS image sensors belonging to the group CIMI-ISAE-SUPAERO (Toulouse, Francia). Figure 4.6 shows one experimental set-up, corresponding to one of the campaigns carried out by this group in collaboration with CNES (Centre National d'Etudes Spatiales). The CMOS image sensors have been studied by DCS (Dark Current Spectroscopy). The ideal particles for this kind of test have been used, light ions (protons, deuterons, alphas) with enough fluence without pixel full degradation, or slightly heavier ions (lithium, carbon, oxygen, aluminium) which produce several defects per pixel with much lower fluence. Values of 10^{6} y 10^{10} p/cm² have been used and different energy ranges; for example 0.6 and 6 MeV for protons and deuterons, 6 and 10 MeV for carbon, 8 and 11 MeV for oxygen and aluminum. Moreover, the study was complemented with the test in static mode of several sensors using 16.5 MeV protons in the External Beam Line of the cyclotron with maximum fluence of 5x10¹¹ p/cm². The experimental results are analyzed in the frame of a doctoral thesis work, where is studied the radiation-induced defects responsible for the dark current increase on these sensors. The main goal is the enhancement of the radiation hardness in this kind of devices, trying to diminish the dark current increase induced by the radiation in the pixel matrix.

On the other hand, by means of companies such as the French TRAD-Tests & Radiation, or the Italian ARTE and MAPRAD, static irradiation tests have been carried out on solar cells and other optical samples for space use, which are object of study in projects Funded by ESA (European Space Agency). In these tests to evaluate the sensitivity of cells and lenses, proton beams are used, usually with energies of 1, 2 and / or 10 MeV. Therefore, the lower energy ones are made in vacuum in the Irradiation and Implantation Beamline, and the ones of high energy in the External Beamline of the Cyclotron. It is very common to work with fluxes in the order of 10^8 p/cm^2 s and reach maximum fluences of $5-10 \times 10^{11} \text{ p/cm}^2$. For reasons of confidentiality with the customer, no further data can be provided from subsequent analyzes of the samples made by the company.

4. Investigación / Research

Together with the company Alter Technology (Department of Optoelectronics and New Technologies), the test plan to study the sensitivity to Latch-Up and other Single Events of the image sensor with CMOS technology (EV76C560) has been carried out. These sensors and their feasibility of use are being studied within the ExoMars project of the European Space Agency (ESA). The tests were carried out with protons of 10 and 15 MeV in the External Beamline of the cyclotron, and complement those performed in the facilities of the UCL (Université Catholique de Louvain) with 60 MeV protons. The devices were monitored online by consumption currents of the analog and digital inputs for each independent sensor and by a set-up of recording of images. In the same way, has been evaluated the quality of the underfill in MCM-Flip-Chips using 15 MeV protons, within the ESA project for the welding qualification of these devices. Alike test have been performed on the devices integrated in an Indian phosphide die, belonging to the FP7 BRITESPACE Project, consisting of "DFL Laser + Mod + Amplifier". All this series of devices have been irradiated in several fluence steps ranging from 0.1- $10 \times 10^{12} \text{ p/cm}^2$ while maintaining a flux in the order of 10^8 p/cm^2 s. The results derived from these experiments will be included by the company in the corresponding final report of the projects.

Campaña de irradiación de Sistemas Electrónicos Distribuidos. El Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III, en el marco del proyecto RENASER+, uno de cuyos subproyectos lidera también el CNA, ha continuado estudiando la efectividad de las técnicas de robustecimiento desarrolladas para sistemas electrónicos sometidos a entornos hostiles de radiación. Uno de los objetivos es validar las técnicas de tolerancia a fallos en sistemas distribuidos, donde las tareas críticas se realicen en paralelo en los distintos nodos (endurecimiento colaborativo). Se comprueba la robustez tanto del sistema completo como de los posibles nodos nocomerciales, especialmente fabricados con técnicas de robustez propuestas en el proyecto. Empleando la línea de Haz Externo del Ciclotrón (Figura 4.9), se ha llevado a cabo la irradiación, en modo dinámico, de diversos dispositivos programables FPGAs, con memorias Flash y SRAM con tecnologías CMOS de 130 y 65 nm. Los dispositivos han sido irradiados con protones de 17 MeV, trabajando con flujos de 0.7-7x10⁸ p/cm²s y parando en pasos de fluencia en el rango de 0.5-40x10¹¹ p/cm², en función de la tasa de errores que se iban registrando. Con esta última campaña se ha comprobado la mejora en la observabilidad de fallos en sistemas completos y no sólo a nivel nodo; detectar las partes más sensibles del sistema; tener la posibilidad de distinguir fallos tipo SE (soft error) de posibles errores en el protocolo de comunicación; y chequear la eficiencia del endurecimiento aplicado a nivel sistema.

<u>Campaign of irradiation on Distributed Electronic Systems.</u> The Department of Electronic Technology of the Carlos III University, within the framework of the RENASER + project, one of whose subprojects also leads the CNA, study the effectiveness of the hardening techniques developed for electronic systems under hostile radiation environments. One of the objectives is to validate fault tolerance techniques in distributed systems, where the critical tasks are performed in parallel in the different nodes (collaborative hardening). It is checked the robustness of both the complete

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

system and the possible non-commercial nodes, especially made with the hardening techniques proposed in the project. Using the External Beamline of the Cyclotron (Figure 4.9), the dynamic irradiation has been performed on various FPGAs with Flash and SRAM memories, made in 130 and 65 nm CMOS technologies. The devices have been irradiated with 17 MeV protons, working with fluxes of 0.7-7x10⁸ p/cm²s and stopping for fluences in the range of 0.5-40x10¹¹ p/cm², depending on the obtained error rate. With this last campaign it has been verified the improvement in the observability of failures in whole systems and not only at node level; Detect the most sensitive parts of the system; Have the possibility of distinguishing soft errors from possible errors in the communication protocol; And check the hardening efficiency applied at the system level.



Figura 4.9: Ejemplo de set-up experimental para ensayos de irradiación en la línea de haz externo del ciclotrón / Example of experimental set-up for irradiation testing in cyclotron external beam line

<u>Estudio de la degradación óptica de los Etalones del intrumento Solar Orbiter/PHI bajo</u> <u>condiciones de irradiación espacial.</u> El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) tiene la responsabilidad de realizar la cualificación de componentes para instrumentos que han sido o serán embarcados en misiones de la ESA. Uno de ellos es el Solar Orbiter/PHI (Polarimetric and Helioseismic Imager), estado del arte de este tipo de instrumentos que consta de dos telescopios. Para el análisis espectral, el PHI contiene un etalón que funciona como filtro variable localizado dentro de un horno con temperatura estabilizada. Está basado en un cristal de niobato de litio (LiNbO₃),

4. Investigación / Research

que debido al ambiente de radiación puede sufrir defectos puntuales e incluso amorfización, que afectan significativamente a sus propiedades ópticas. Cambios en el ensanchamiento del espectro transmitido por el etalón puede resultar catastrófico para el fin de la misión. Dentro de los estudios que se están llevando a cabo, en la línea de Haz Externo del ciclotrón (Figura 4.10), se ha realizado la irradiación con protones de 16 MeV. Se han irradiado diferentes puntos de un mismo etalón montado en un horno, con diferentes condiciones (flujos: 0.5-16x10⁸ p/cm²s; fluencias 0.1-16x10¹¹ p/cm²) aplicando en algún caso alto voltaje. Tras cada irradiación se desmontó el etalón para realizar las medidas ópticas pertinentes en un laboratorio anexo. El proyecto continua en vigor.

Study of the optical degradation of the Etalons of the Solar Orbiter / PHI instrument under spatial irradiation conditions. The National Institute of Aerospace Technology (INTA) is responsible for the qualification of components for instruments that have been or will be on-board ESA flagship missions. One of them is the Solar Orbiter / PHI (Polarimetric and Helioseismic Imager), state of the art of this type of instruments consisting of two telescopes. For spectral analysis, the PHI contains an etalon as tunable spectral filter located inside a temperature stabilized oven. This is based on a Lithium Niobate (LiNbO₃) crystal, which due to the radiation environment can suffer point defects and even amorphization, so that significantly affect its optical properties. Changes in the broadening of the spectrum transmitted by the etalon can be catastrophic for the purpose of the mission. Within these studies, irradiation with 16 MeV protons has been performed in the External Beamline of the cyclotron (Figure 4.10). Different points of the same etalon, placed in the oven, have been irradiated with different conditions (fluxes: 0.5-16x10⁸ p/cm²s, fluences 0.1-16x10¹¹ p/cm²) applying in some case high voltage. After each irradiation the etalon was disassembled to perform the relevant optical measurements in an attached laboratory. The project is still dynamic.



Figura 4.10: Set-up experimental para el ensayo de irradiación del etalón en la línea de haz externo del ciclotrón / Experimental set-up for the etalon irradiation testing in cyclotron external beam line

4. Investigación / Research

<u>Caracterización de la respuesta luminiscente a la radiación gamma de materiales</u> <u>centelleadores.</u> En el CNA, en el marco de proyectos de investigación, se está estudiando el uso de materiales luminiscentes en detectores de pérdida de iones rápidos en dispositivos de fusión nuclear mediante plasmas. Se realizó una campaña de irradiación gamma en el laboratorio RadLab de varios materiales centelleadores, TG-Green (SrGa₂S₄:Eu²⁺) y P56 (Y₂O₃:Eu³⁺), bajo diferentes condiciones de tasa de dosis. El ensayo con fotones complementa el estudio del rendimiento ionoluminiscente que se está llevando a cabo mediante irradiación con iones ligeros en el acelerador tándem. Este trabajo forma parte del estudio de viabilidad de este tipo de materiales para ser utilizados en detectores para la siguiente generación de reactores de fusión (ITER), donde los flujos de radiación gamma previsiblemente llegarán a valores del orden de 10^{12} ph/cm²s.

En estos dos años, en el laboratorio de radiación gamma (RadLab) se han realizado campañas de irradiación TID en el sensor solar SSOC-D60 para la empresa española Solar MEMS. La familia de sensores Sun Sensor on a Chip (SSOC) proporciona de manera precisa los ángulos de incidencia del vector solar en dos ejes empleando tecnología de microsistemas (MEMS). Aunque el sensor objeto de estudio (SSOC-D60, versión digital) se encuentra operativo en un satélite volando en órbita baja (LEO) desde 2009, posee un microcontrolador interno COTS que no está calificado para espacio. De cara a futuras misiones, se pretende estudiar en particular el comportamiento de dicho microcontrolador y ensayarlo a los niveles de radiación esperados en LEO. Para ello se hicieron campañas a 220 rad(Si)/h, acumulando hasta un máximo de 50 Krad(Si), cumpliendo las condiciones del estándar europeo ESCC22900.

También en el laboratorio RadLab, es habitual colaborar con el Departamento de Optoelectrónica y Nuevas Tecnologías de la empresa Alter Technology. Se llevan a cabo ensayos de TID en diferentes dispositivos electrónicos de uso espacial que son objeto de estudio en proyectos europeos como pueden ser EDA ROVER o BRITESPACE. En este ámbito es habitual trabajar con fibra óptica, fotodiodos, LEDs, sensores de imagen, optodiodos, sistemas LVDS. Aunque la naturaleza de los dispositivos es variable y por tanto su caracterización, desde el punto de vista de la irradiación se suele trabajar en dos ventanas de tasa de dosis. Correspondientes a muy baja y baja tasa (36 rad(Si)/h y 220 rad(Si)/h) variando la dosis acumulada según el caso, en el orden de 10, 20, 50, 100, 300 o 500 Krad(Si) en general. Se suelen emplear unos contenedores de acuerdo a la normativa para espacio (ESCC, MIL), y en caso de dispositivos ópticos se cubre con cinta negra para evitar la luz directa sobre el dispositivo a irradiar (DUT, Device under test).

<u>Characterization of the luminescent response to qamma radiation of scintillator</u> <u>materials.</u> In the CNA, in the framework of research projects, the use of luminescent materials in detectors of rapid ion loss is being studied to be used in nuclear fusion devices. A gamma irradiation campaign was performed in the RadLab laboratory of several scintillator materials, TG-Green (SrGa₂S₄: Eu²⁺) and P56 (Y₂O₃: Eu³⁺), under

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

different dose rate conditions. The photon test complements the study of the ionoluminescent yield that is being carried out by irradiation with light ions in the tandem accelerator. This work is part of the viability study of this type of materials to be used in detectors for the next generation of fusion reactors (ITER), where the fluxes of gamma radiation are expected to reach values of the order of 10¹² ph/cm²s.

In the last two years, TID irradiation campaigns were carried out in the gamma radiation laboratory (RadLab) on the solar sensor SSOC-D60 for the Spanish company Solar MEMS. The Sun Sensor on a Chip (SSOC) sensor family accurately provides the incident angles of the two-axis solar vector using microsystem (MEMS) technology. Although the sensor under study (SSOC-D60, digital version) has been operating in a low-orbiting satellite (LEO) since 2009, it has a COTS internal microcontroller that is not qualified for space. For future missions, it is intended to study in particular the behavior of this microcontroller and test it at the expected radiation levels in LEO. Campaigns were carried out at 220 rad(Si)/h, accumulating up to a maximum of 50 Krad(Si), fulfilling the conditions of the European standard ESCC22900.



Figura 4.11: Ejemplos de set-up experimental para ensayos de irradiación TID en RadLab / Examples of experimental set-up for TID irradiation testing in RadLab

Moreover in the RadLab laboratory, it is common to collaborate with the Department of Optoelectronics and New Technologies of the company Alter Technology. TID tests are carried out on different electronic devices for space use that are being studied in European projects such as EDA ROVER or BRITESPACE for example. In this field, it is

4. Investigación / Research

usual to work with optic fibers, photodiodes, LEDs, image sensors, optodiodes, LVDS systems. Although the nature of the devices is variable and therefore their characterization, from the point of view of irradiation set-up is usual to work in two Dose rate windows. Corresponding to very low and low rate (36 rad(Si)/h and 220 rad(Si)/h) varying the accumulated dose according to the case, in the order of 10, 20, 50, 100, 300 or 500 Krad(Si) in general. Usually, containers are used according to the standards for space use (ESCC, MIL), and in case of optical devices black tape is covering to avoid the direct light on the DUT.

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.

Nuevo equipo confocal de micro-fluorescencia de rayos X (CXRF) portátil en el CNA para estudios no destructivos in situ sobre el Patrimonio Cultural. El equipo que se ha diseñado en el Centro Nacional de Aceleradores para el análisis de obras de arte se llama µXRF-CONCHA, es decir, micro-fluorescencia de Rayos-X confocal para el análisis del Patrimonio Cultural (Micro X-Ray Fluorescence Confocal for Cultural Heritage Analysis), y hace posible la obtención de resultados sobre la composición química con la calidad e información propia de técnicas invasivas pero sin la necesidad de tomar muestras. Antes de aplicar esta técnica al estudio de obras de arte, se decidió crear y analizar una serie de muestras pictóricas hechas al estilo de los pintores del siglo XVI. Este trabajo ha demostrado que el µXRF-CONCHA cumple las expectativas que se tenían, así que posteriormente se procedió al análisis de pinturas in situ, del artista Alonso Vázquez (†1607), en el Museo de Bellas Artes de Sevilla.

Toda la información que aporta esta técnica puede ayudar a especificar o comparar la técnica del artista, detectar la presencia de capas de pintura originales con las intervenciones o evaluar su estado de conservación. Se trata del primer equipo de micro-fluorescencia de Rayos-X confocal de España, el segundo en el mundo en ser enteramente dedicado al estudio del Patrimonio Cultural (después del LouX3D del C2RMF, Museo del Louvre) y, posiblemente, el primer equipo CXRF con la capacidad de funcionar in situ del mundo.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.12: Análisis de pintura del artista Alonso Vázquez / Alonso Vázquez picture's analysis

New mobile confocal micro X-ray fluorescence (CXRF) system for in situ non-destructive <u>Cultural Heritage analysis at the CNA</u>. The equipment designed at the Centro Nacional de Aceleradores for analysis of artworks is called μ XRF-CONCHA, Micro X-Ray Fluorescence Confocal for Cultural Heritage Analysis, which makes possible to obtain results about their chemical composition with the quality and precision proper of invasive techniques, but without sample extraction. Before applying this technique to the study of artworks, a series of painting samples following the style of 16th Century artists were prepared. This work confirmed that the μ XRF-CONCHA fulfils the expectations, so next, it was possible to apply it in situ for the analysis of several paintings by the artist Alonso Vázquez (†1607) in the Fine Arts Museum of Seville.

All the information offered by this technique can help at the characterization and comparison of the artist's painting technique, detect the presence of original painting layers with later interventions or evaluate its conservation state. It is the first confocal micro X-Ray fluorescence system in Spain, the second in the world dedicated entirely to the study of Cultural Heritage (after the LouX3D of C2RMF, Louvre Museum) and, probably, the first CXRF equipment capable of in situ measurements in the world.

<u>Análisis no-destructivo de "Cristo Crucificado" de Juan de Espinal.</u> Juan de Espinal, considerado uno de los pintores más importantes de la segunda mitad del siglo XVIII en Sevilla, es el autor de quince cuadros realizados para la escalera del Palacio Arzobispal de esta ciudad. En la primavera del 2015 se decidió restaurar al más dañado de los pocos que todavía se conservan en el palacio, "Cristo Crucificado". Durante la intervención se le hizo un estudio completo con técnicas no destructivas para conocer
4. Investigación / Research

los materiales empleados por el artista (pigmentos, preparación, imprimación), los posibles dibujos subyacentes y los repintes posteriores que sufrió el cuadro a lo largo de su historia. Para realizar este estudio se han elegido las siguientes técnicas: (1) luz UV para evidenciar intervenciones posteriores; (2) reflectografía infrarroja (IRR) para revelar posibles dibujos subyacentes, que generalmente están realizados por el artista principal; y (3) fluorescencia de Rayos-X (XRF) para identificar pigmentos e imprimaciones inorgánicas. El presente estudio sirvió de apoyo en el proceso de la restauración del cuadro, sobre todo con las imágenes UV e IRR. El análisis por XRF identificó la paleta del pintor: albayalde (identificado con picos característicos de Pb), ocres amarillo y rojo (Fe), bermellón (Hg), un verde a base de cobre (Cu), sombra (Mn,Fe) y negro de huesos (Ca). La preparación está hecha con yeso o creta (Ca). El uso de blancos de titanio (Ti) y zinc (Zn) confirman las intervenciones posteriores en los siglos XIX y XX.



Figura 4.13: "Cristo Crucificado" de Juan de Espinal / Christ Crucified" By Juan de Espinal

<u>Non-destructive analysis of "Christ Crucified" By Juan de Espinal.</u> Juan de Espinal, considered one of the most important painters of the second half of the 18th Century in Seville, is the author of fifteen paintings carried out for the Staircase of the Archbishop's Palace in this town. In the spring of 2015 it was decided that the most damaged one still conserved in the Palace, "Christ Crucified", should be restored. During the intervention, a complete study based on non-destructive techniques was applied, in order to know materials used by the artist (pigments, preparation and priming), possible under-drawings and later interventions suffered by the artwork through the history. For the study different techniques were applied (1) UV light to

4. Investigación / Research

observe later interventions; (2) Infrared Reflectography (IRR) to reveal possible underdrawings, generally carried out by the principal artist; and (3) X-Ray Fluorescence (XRF) for identifying inorganic pigments and preparation. The research helped at the restoration process especially with UV and IRR images. Besides, the XRF results identified the painter's palette: lead white (identified with characteristic Pb peaks), yellow and red ochres (Fe), vermilion (Hg), a copper based green pigment (Cu), umber (Mn,Fe) and bone black (Ca). The preparation was made by gypsum or chalk (Ca). The use of titanium (Ti) and zinc (Zn) whites confirm later interventions during the 19th and 20th Centuries.

<u>Análisis no destructivo de objetos arqueológicos.</u> En el campo de la arqueometría, la investigación desarrollada por el personal científico del CNA se centra principalmente en los objetos antiguos de metales preciosos, aunque otros materiales arqueológicos también se estudian. Se han seleccionado algunos trabajos como ejemplos.

Recientemente se han publicado los primeros resultados de un detallado estudio realizado sobre el tesoro de El Carambolo. Este trabajo se ha podido realizar gracias al desarrollo de un nuevo equipo portátil de micro-fluorescencia de Rayos-X, que ha probado ser una herramienta adecuada para el análisis químico, capaz de sustituir a técnicas analíticas con haces de iones, como PIXE, cuando los objetos no pueden trasladarse al laboratorio. El estudio determinó la presencia de dos tecnologías diferentes de distintas culturas, aunque al mismo tiempo es posible asumir de los resultados un mismo taller de producción para las 11 piezas del Grupo 1 (el tesoro consta de 21). La coexistencia de técnicas de manufactura atlántica y fenicia puede ser la evidencia de una colaboración existente entre orfebres de distintos ámbitos tecnológicos.

Gracias a la combinación de análisis microestructural, volumétrico y superficial se ha podido establecer la adecuación del método de corrección por GRT (Gamma Ray Transmission) de la composición superficial de técnicas no destructivas de análisis en monedas antiguas de plata y cobre. Tras los resultados se determinó realizar los cálculos de corrección sobre el cobre como elemento principal. El método ha demostrado ser útil para la determinación no destructiva de la pureza de monedas de plata, tanto si la superficie está enriquecida en plata como si no, y por lo tanto puede distinguir entre las monedas de plata de alta pureza y las devaluadas.

<u>Non-destructive analysis of archaeological objects.</u> In the archaeometry field, the research developed by the CNA scientific personnel is mainly focused on precious metal ancient artefacts but other type of archaeological materials are also studied. Some works have been selected as examples.

First results obtained from an in depth study of "El Carambolo" gold Treasure have been published recently. This study was done thanks to a new developed portable micro-X Ray Fluorescence setup, proven to be a suitable tool for chemical analysis, able to substitute other ion beam analytical techniques, such as PIXE, especially when

4. Investigación / Research

objects cannot be brought to a laboratory. The study revealed the presence of technological knowledge from two different cultures although it is possible to assume from the study that all the jewels of Group1 (11 pieces out of 21) were manufactured in the same workshop. The coexistence of Atlantic and Phoenician manufacturing techniques could be an evidence of a collaboration of several goldsmiths with different technological knowledge.

The applicability of the GRT (Gamma Ray Transmission) correction method to ancient silver-copper coins analyzed by non-destructive surface techniques has been established with a combination of surface, volume and microstructural analyses. After the obtained results, GRT correction calculations were based on considering copper as the main element. The method has proven useful in the nondestructive assessment of the fineness of silver coins, either silver surface enriched or not, and hence to distinguish high fineness silver coins from debased coins.

4.1.4 Ciencia del Plasma y Tecnología de Fusión / Plasma Science and Fusion Technology

El progresivo aumento del consumo energético mundial está provocando una aceleración del desarrollo de fuentes de energía alternativas a las actuales. La fusión nuclear se presenta como una de las pocas opciones energéticas virtualmente inagotable y respetuosa con el medio ambiente. La viabilidad de los reactores de fusión comerciales es uno de los principales programas de investigación de la UE. Para llegar a la producción de energía eléctrica de forma comercial mediante fusión habrán de solventarse importantes desafíos tecnológicos. El reactor de fusión experimental, ITER (International Termonuclear Experimental Reactor), actualmente en construcción en Cadarache (Francia), debe demostrar la viabilidad tanto científica como tecnológica de la fusión nuclear por confinamiento magnético. Uno de los principales objetivos de los reactores de fusión por confinamiento magnético es mantener controlada la posición del fuel en estado de plasma mediante campos magnéticos. Sin embargo, este confinamiento no es perfecto, existen iones que escapan de éste, chocando con la pared del reactor. Los iones rápidos (aquellos cuya energía es mayor que la energía térmica del plasma) son especialmente importantes ya que representan una fuente de energía indispensable para el auto-mantenimiento del plasma en ignición. Por esto, las pérdidas de iones rápidos juegan un papel esencial en el rendimiento del plasma. Estas pérdidas pueden, si aparecen muy localizadas e intensas, además, provocar daños en las paredes del reactor. La caracterización experimental de las pérdidas de iones rápidos es imprescindible para analizar y conocer los fenómenos de transporte responsables de las mismas.

En el periodo 2015-2016, el grupo de Ciencia del Plasma y Tecnología de Fusión (PSFT) ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo y caracterización de detectores de pérdidas de partículas rápidas (Fast-Ion Loss Detectors, FILD) para diferentes rectores experimentales de fusión. En el marco de un proyecto financiado por EUROfusion, el grupo ha diseñado e instalado detectores FILD en el reactor ASDEX Upgrade (AUG) del instituto Max-Planck para Física del Plasma (IPP) y MAST-U del Culham Center for

Fusion Energy (CCFE). La experiencia del grupo PSFT del CNA le ha llevado a cerrar un contrato importante con ITER para el desarrollo del detector FILD de ITER.

Los detectores FILD son ampliamente utilizados para el estudio de pérdidas de iones rápidos inducidas por fluctuaciones magnetohidrodinámicas (MHD), permitiendo caracterizar el espacio de velocidades de dichas pérdidas con una resolución temporal Alfvenica. Esta información es crucial para identificar las fluctuaciones MHD responsables de las mismas y comprender los fenómenos de interacción onda-partícula asociados a los diferentes mecanismos de transporte de las partículas en el plasma. Dado que se trata de espectrómetros de partículas cargadas, los detectores FILD deben posicionarse en las proximidades del plasma, estando sometidos a cargas térmicas relativamente elevadas que limitan tanto su diseño como su operación. El diseño de detectores FILD es una tarea de gran complejidad que involucra diferentes disciplinas como son la Ingeniería Mecánica y Automática y la Física del Plasma teórica y experimental. A continuación se describen algunas de las principales actividades desarrolladas por el grupo PSFT durante los años 2015 y 2016.

The increasing global energy consumption is accelerating the development of alternative energy sources. Nuclear fusion is one of the few options that is virtually inexhaustible and environment-friendly. Assessing the feasibility of commercial fusion reactors is one of the priority research programs in the UE. In order to commercially produce electricity by means of fusion, important technological challenges will have to be solved, notably the design and construction of the ITER (International Termonuclear Experimental Reactor), JT-60SA y DEMO (DEMOstration Power Plant) projects.

One of the main objectives of the magnetic confinement fusion is to control the position of the plasma by means of magnetic fields. However, this confinement is not perfect, existing escaping ions that can eventually hit the reactor walls. Fast ions (with higher energy than the plasma thermalisation energy) are essential for self-burned plasmas. Thus, fast-ion losses play a very important role in the reactor performance. Furthermore, those losses can cause serious damage to the wall. Experimental characterization of fast-ion losses is mandatory to better understand the underlying transport mechanisms.

In 2015-2016, the CNA Plasma Science and Fusion Technology (PSFT) group has focused its efforts in the development and characterization of scintillator based Fast-Ion Loss Detectors (FILD) for different fusion reactors. In the framework of a EUROfusion project, the CNA PSFT group has installed advanced FILD systems in the reactors ASDEX Upgrade (AUG) of the Max-Planck Institute for Plasma Physics (IPP) and MAST-U of the Culham Center for Fusion Energy (CCFE). In collaboration with AVS, we have also upgraded the electronics of the JET FILD system enabling MHz sampling of FILD signals. The experience of the CNA PSFT group has allowed us to get a contract to develop a FILD system for ITER.

4. Investigación / Research

FILD detectors are extensively used to study the fast-ion losses induced by magnetohydrodynamic (MHD) fluctuations, providing velocity-space measurements of these losses with alfvenic temporal resolution. This information allows to identify the MHD fluctuations responsible for the actual fast-ion losses and to understand the wave-particle interaction underlying the transport mechanism. As a charged particle collector FILD systems must work in the scrape-off layer and are, therefore, exposed to a relatively high thermal heat load that limits the detector operational window. Designing FILD detectors is a complex task involving different disciplines such as Mechanical and Control Engineering as well as Theoretical and Experimental Plasma Physics. Below, the main tasks carried out by the PSFT Group during the period 2015-2016 are described in some detail.

Diseño conceptual de un detector de pérdidas de iones rápidos (FILD) para ITER y JT-60SA. Durante los años 2015 y 2016 el Grupo PSFT ha colaborado con la Organización ITER en el desarrollo del diseño conceptual de un detector FILD para ITER. ITER constituye actualmente uno de los proyectos de investigación internacionales más ambiciosos que existen, agrupando a más de 30 países con el objetivo de demostrar la viabilidad técnica de la fusión nuclear y representa el paso previo a las futuras plantas comerciales de energía de fusión.

El diseño conceptual del FILD para ITER ha supuesto un gran desafío para el Grupo PSFT desde distintos puntos de vista, debido a las extremas condiciones que se esperan durante su operación. Por un lado ha sido necesaria la realización de numerosas simulaciones con avanzados códigos informáticos, imprescindibles para determinar la posición óptima del detector y estimar la calidad de las medidas que proporcionará. Igualmente se han estimado tanto las cargas de origen térmico como mecánico, lo que ha permitido la obtención de un diseño conceptual en el que la integridad estructural del detector no se ve comprometida. En la Figura 4.14 se puede observar el diseño conceptual del ITER FILD. Este detector, que se aproxima al plasma para medir y se retrae para protegerse de la carga térmica, se mueve gracias a un mecanismo que hace uso del campo magnético en el interior del tokamak. En dicho mecanismo, el movimiento se genera haciendo pasar una corriente por una bobina que gira para orientarse según las líneas de campo existentes. Dicho giro es transformado en una traslación para hacer que el detector se acerque o se retire del plasma según sea necesario.

A mediados del año 2016, este diseño conceptual fue presentado por PSFT en la sede central de ITER dónde fue sometido a una exhaustiva revisión por un comité de expertos internacionales. El resultado de dicha revisión fue satisfactorio y permitió extender la colaboración de nuestro grupo con ITER para avanzar hacia las siguientes fases del diseño (diseño preliminar y diseño final) del ITER FILD. Diferentes aspectos de este diseño han sido publicados en revistas internacionales y presentados en dos conferencias durante el año 2016: la 21ª conferencia High Temperature Plasma Diagnostics (HTPD 2016) celebrada en Madison (EEUU) y el 29º Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016) celebrado en Praga (Chequia).

Memoria de Investigación 2015-2016 / Research Report 2015-2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.12: Diseño conceptual de un detector de pérdidas de iones rápidos (FILD) para ITER / Conceptual design of a fast-ion loss detector (FILD) for ITER

Igualmente, el desarrollo del diseño conceptual del ITER FILD ha permitido establecer un marco de colaboración entre la Organización ITER y el consorcio EUROfusion a través de la propuesta de diseño de un detector FILD para JT-60SA. JT-60SA es un tokamak que está siendo construido en Japón y cuyas características lo hacen similar a ITER en muchos aspectos tratándose, por tanto, de un excelente banco de pruebas para ITER. En los próximos años, el diseño y construcción por parte del grupo PSFT de un prototipo del ITER FILD para JT-60SA permitirá ensayar, analizar y validar sus principales características y servirá como respaldo durante las exigentes revisiones técnicas que ITER impone a cualquiera de sus sistemas.

<u>Conceptual design of a fast-ion loss detector (FILD) for ITER and JT-60SA.</u> During 2015 and 2016, the PSFT group has developed a conceptual design of a FILD detector for ITER in close collaboration with the ITER Organization (IO). The ITER project is one of the most ambitious research projects nowadays, involving more than 30 countries in order to prove the viability of nuclear fusion from a technical point of view. It is the previous step to the upcoming commercial fusion power plants.

The conceptual design of the ITER FILD was challenging for the PSFT group from several points of view, due to the extreme working conditions expected. On the one hand, advanced numerical simulations were performed to determine the optimal position for the detector and to estimate the quality of the measurements. At the same time, both the mechanical and thermal load were characterised in order to assess the detector structural integrity. In Figure 4.14, the conceptual design of the ITER FILD is shown. This detector approaches the plasma to measure and fast retracts to avoid overheating. The motion is magnetically driven by an energised coil that rotates to align its magnetic axis to the magnetic field lines in the tokamak. This rotation is converted into a linear motion allowing the probe head to adapt its radial position relative to the plasma.

4. Investigación / Research

In June 2016, this conceptual design was presented by the PSFT group at the IO for its review by an international committee of experts. The successful outcome of this review process allowed to extend the collaboration between both groups to face further design phases (preliminary design and final design) for the ITER FILD. Different aspects of this design have been published in international peer-reviewed journals and presented in two international conferences during 2016: The 21st High Temperature Plasma Diagnostics Conference (HTPD 2016) held in Madison (USA) and the 29th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2016) in Prague (Czech Republic).

At the same time, the development of the conceptual design of the ITER FILD allowed to establish a collaboration framework between the ITER Organization and EUROfusion consortium by means of the proposal for the design of an ITER FILD prototype for JT-60SA. Indeed, the JT-60SA tokamak offers a unique opportunity to test ITER features since their designs share relevant similarities. In the upcoming years, the PSFT group will be involved in the design and manufacturing of an ITER FILD prototype for JT-60SA where to test, analyze and validate its main features. This will enhance and support the ITER FILD design trough the demanding technical reviews requested for any ITER device.

Diseño, fabricación e instalación de dos detectores de pérdidas de iones rápidos (FILD) para ASDEX Upgrade (AUG). En el periodo 2015-2016 el grupo PSFT ha diseñado e instalado dos detectores FILD en ASDEX Upgrade. Actualmente nuestro grupo se encuentra implementando los sistemas de posicionamiento de ambos detectores y la puesta en marcha de los mismos tendrá lugar durante la campaña experimental de este tokamak del año 2017. Estos dos nuevos detectores (FILD4 y FILD5, mostrados en la Figura 4.15), junto con los ya existentes, permitirán obtener una distribución de pérdidas de iones rápidos por primera vez en una sección poloidal completa de un tokamak. Esto abrirá la puerta al estudio de las fluctuaciones Magnetohidrodinámicas (MHD) en plasmas desde un prisma sin precedentes.



Figura 4.15: Imagen de FILD4 (izquierda) y FILD5 (derecha) diseñados por PSFT para ASDEX Upgrade / FILD4 (left) and FILD5 (right) designed by the PSFT group for ASDEX Upgrade

4. Investigación / Research

El diseño de FILD4 resulta de especial interés por sus similitudes con el detector FILD que el grupo PSFT se encuentra diseñando actualmente para ITER. Se trata de un sistema con un actuador magnético que permite realizar movimientos rápidos. Este modo de funcionamiento es imprescindible para la implementación de sistemas de control adaptativos que protejan la integridad del detector en caso de detectarse sobrecargas térmicas. FILD4 será utilizado como banco de pruebas para ensayar distintas características de funcionamiento que en el futuro serán implementadas en el detector FILD de ITER. Igualmente, es importante destacar que el diseño de FILD4 fue presentado en la 21ª conferencia High Temperature Plasma Diagnostics (HTPD 2016) celebrada en Madison (EEUU) y publicado como artículo en la revista Review of Scientific Instruments.

Design, manufacturing and implementation of two fast ion loss detectors (FILDs) for the ASDEX Upgrade (AUG) tokamak. Two FILD detectors have been designed and installed in the ASDEX Upgrade tokamak by the PSFT group during the period 2015-2016. Currently, our group is implementing the position control systems in both detectors to be commissioned during the 2017 campaign. These two new detectors (FILD4 and FILD5 in Figure 4.15), together with those already installed in AUG, will allow to obtain a poloidal distribution of fast-ion losses in a tokamak for the very first time. This will open the door to an unprecedented approach to the study of the Magnetohidrodynamic (MHD) fluctuations in plasmas.

The design of FILD4 is especially interesting due to its similarity to the detector that the PSFT group is currently developing for ITER. This detector is magnetically driven and can perform fast movements. This is mandatory in order to implement adaptive control systems to protect the detector integrity in case of overheating. FILD4 will be used as a test bench for different features to be implemented in the ITER FILD. It is important to highlight that this design was presented in the 21st High Temperature Plasma Diagnostics Conference (HTPD 2016) held in Madison (USA) and published as an article in the peer-reviewed Review of Scientific Instruments journal.

<u>Diseño de detalle de un detector de pérdidas de iones rápidos (FILD) para MAST</u> <u>Upgrade (MAST-U).</u> El grupo PSFT, durante los años 2015 y 2016, ha diseñado el primer detector FILD que será instalado en un tokamak esférico, en concreto en MAST-U (Reino Unido). Su uso permitirá arrojar luz sobre las posibles inestabilidades y pérdidas de iones rápidos asociadas a este tipo de configuración. Dicho detector se encuentra actualmente en la fase de fabricación y será instalado durante los primeros meses del 2017. Su puesta en funcionamiento y la obtención de las primeras mediciones está planificada para la campaña experimental de 2017.

El diseño del MAST-U FILD resulta especialmente interesante ya que permitirá ajustar no solo la posición radial del detector, sino también su orientación con respecto a las líneas de campo en el tokamak, como se ilustra en la Figura 4.16, donde puede observarse su diseño de fabricación. El hecho de que este FILD pueda rotar la cabeza permitirá realizar barridos angulares de pérdidas de iones rápidos, algo que no se ha

4. Investigación / Research

llevado a cabo anteriormente, y ampliar capacidad de operación de este detector. Esto resulta especialmente interesante en MAST-U, un tokamak que, dadas sus características, es capaz de generar plasmas con formas muy variadas y de operar con configuraciones (valores de q95) muy diferentes.



Figura 4.16: Diseño final del detector MAST-U FILD / MAST-U FILD final design

Design of a fast-ion loss detector (FILD for the MAST Upgrade (MAST-U) tokamak. The first FILD detector for a spherical tokamak has been designed by the PSFT group during 2015 and 2016. This detector will be installed in the MAST Upgrade tokamak (UK) and will allow shedding light on the instabilities and fast ion losses regarding this type of configuration. The MAST-U FILD is currently in the manufacturing phase and will be installed in the tokamak by the beginning of 2017. Its commissioning and first measurements are planned for the 2017 experimental campaign.

The MAST-U FILD design is remarkable since it is able to rotate the probe head, as illustrated in Figure 4.16. This is an unprecedented feature in this type of detectors and will allow FILD not only to perform angular scanning of fast-ions losses but to extend its operational window to a wider range of plasma scenarios. This is especially interesting in a tokamak like MAST-U since, due to its characteristics, it is able to operate with very different plasma shapes and configurations (q95).

<u>Diseño conceptual de una sonda de iones pesados basada en centelleadores para el</u> <u>tokamak ASDEX Upgrade.</u> Las fluctuaciones magnetohidrodinámicas así como la turbulencia juegan un papel fundamental en el rendimiento global de dispositivos de fusión por confinamiento magnético como los tokamaks. Una completa caracterización de la fenomenología requiere medidas espacio-temporales de las magnitudes que fluctúan como la densidad, la temperatura o el potencial entre otras.

4. Investigación / Research

En el marco de esta actividad, se ha propuesto un nuevo concepto de diagnóstico para el tokamak ASDEX Upgrade: el i-HIBP (por sus siglas en inglés), que combina las técnicas de detección de las sondas de iones pesados estándar, con las de los detectores de pérdidas de iones rápidos basados en centelleadores para la medida simultánea de la densidad del plasma, su potencial y la componente poloidal del campo magnético. El insólito uso del centelleador mejora drásticamente las capacidades del diagnóstico en términos de resolución, lo cual puede ayudar en la investigación de fenómenos fundamentales como la transición del modo de bajo confinamiento (L) al modo de alto confinamiento (H), o la dinámica de los modos localizados en el borde del plasma (ELM).



Figura 4.17: Principio operacional de la sonda i-HIBP / I-HIBP operational principle

Se plantea para el futuro la caracterización de la respuesta de centelleadores al bombardeo con iones pesados, que son los previstos para el i-HIBP, usando el acelerador tándem de nuestro centro. Cabe destacar que este trabajo conceptual ha dado lugar a una publicación en Review of Scientific Instruments.

<u>Conceptual design of a scintillator based heavy ion beam probe for the ASDEX Upgrade</u> <u>tokamak.</u> Magnetohydrodynamic (MHD) and turbulent fluctuations play a crucial role in the overall performance of magnetically confined fusion plasma devices such as tokamaks. A complete characterization of the phenomena requires space and time resolved measurements of the fluctuating quantities such as density, temperature or potential among others.

Within this activity a new diagnostic concept has been proposed for the ASDEX Upgrade tokamak: the i-HIBP (imaging Heavy Ion Beam Probe), that combines the detection technique of a standard HIBP and scintillator based fast-ion loss detectors (FILD) for the simultaneous measurement of plasma density, potential and poloidal magnetic field. The novel use of the scintillator largely improves the capabilities of the diagnostic in terms of resolution, which could help in the investigation of fundamental phenomena such as the transition from low (L) to high (H) confinement mode or the edge localized mode (ELM) dynamics.

4. Investigación / Research

Future plans include the characterization of the scintillator response to heavy species which are envisaged to be used in the i-HIBP, using the tandem accelerator available in our facility. It is also important to highlight that this conceptual work led to a publication in Review of Scientific Instruments.

Desarrollo de un código para el diagnóstico virtual de pérdidas de iones rápidos. Se ha desarrollado un nuevo código que proporciona una completa caracterización de los detectores de pérdidas de iones rápidos (FILD) en términos de factor de colimación y resolución, tanto en energía como en ángulo de ataque. El código, escrito en Fortran90, simula la trayectoria de partículas cargadas en presencia de un campo magnético constante y homogéneo, y geometrías tridimensionales realistas. Con este código, podemos simular las trayectorias de los iones rápidos a través de la geometría del detector FILD para así calcular su respuesta frente a diferentes diseños, permitiendo también su optimización.

Usando esta caracterización somos capaces de reproducir la medida experimental esperada en el centelleador para una distribución de iones rápidos en el detector simulada. Esto permite una comparación directa entre experimentos y teoría o modelaje, lo cual es de gran utilidad para la puesta a punto de códigos avanzados de seguimiento de órbitas en tokamaks.

El código también es útil en el diseño de las cabezas de las sondas de nuevos detectores FILD para diferentes máquinas como MAST-U (Reino Unido), JT-60SA (Japón) o ITER (Francia), en los que el grupo está involucrado. En este sentido se hizo una contribución en la 1st European Conference on Plasma Diagnostics (Frascati, 2015).

<u>Development of synthetic fast-ion loss detector code.</u> A new code has been developed which provides a full characterization of scintillator based fast-ion loss detectors (FILD) in terms of collimating factor and resolution in both, energy and pitch angle. The code has been written in Fortran90 and simulates trajectories of charged particles in the presence of a constant homogeneous magnetic field and realistic 3D geometries. With this code, we are able to simulate the trajectories of fast-ions through the geometry of the FILD detector to calculate its response for different designs, allowing its optimization.

Using this characterization, we are then able to reproduce the expected signal at the scintillator for a simulated fast ion distribution reaching the detector. This permits a direct comparison between experiments and modeling, which is useful for the benchmarking of advanced orbit following codes in tokamaks.

The code is also useful in the design of the probe heads of new FILD detectors for different machines such as MAST-U (United Kingdom), JT-60SA (Japan) or ITER (France) among others, in which the group is involved. A contribution was made with this regard to the 1st European Conference on Plasma Diagnostics (Frascati, 2015).

4. Investigación / Research

Efecto de perturbaciones magnéticas resonantes externas en el confinamiento de iones rápidos. En los tokamaks actuales la operación del plasma se lleva a cabo en el llamado modo de alto confinamiento (H), el cual se espera sea también el escenario de operación de los futuros reactores con plasma en ignición. Intrínsecas al modo H aparecen perturbaciones periódicas en el borde del plasma (ELMs) que expulsan partículas a las paredes de la vasija degradando el confinamiento. Las cargas térmicas provocadas por estas perturbaciones en las paredes de futuras máquinas como ITER son intolerables. Es por esto que se investigan mecanismos de mitigación y supresión de ELMs. Uno de los más extendidos es la aplicación externa de perturbaciones magnéticas resonantes (RMPs) tridimensionales. Sin embargo, se ha observado que éstas tienen un impacto en el confinamiento de los iones rápidos a través de resonancias geométricas entre la estructura tridimensional de la perturbación y las órbitas de los mismos.

En el marco de esta actividad se llevan a cabo experimentos en el tokamak ASDEX Upgrade con el objetivo de caracterizar el efecto que tienen las distintas configuraciones de RMPs en el confinamiento de los iones rápidos en distintos escenarios. Se llevan a cabo simulaciones con códigos de seguimiento de órbitas para identificar las resonancias relevantes que subyacen tras el mecanismo de transporte radial. Las simulaciones incluyen una reconstrucción precisa del equilibrio magnético perturbado y, en algunos casos, la respuesta del plasma. El papel que juega la respuesta del plasma a las RMPs aplicadas externamente también se ha investigado experimentalmente. La investigación y entendimiento de los mecanismos físicos detrás de esta fenomenología es importante para la eventual búsqueda de un escenario en el que la mitigación de ELMs sea factible minimizando el impacto en el confinamiento de los iones rápidos.

En este campo es importante destacar las contribución a la 26th IAEA Fusion Energy Conference (Kyoto, 2016) y a la 43rd Conference on Plasma Physics (Leuven, 2016).

Effect of externally applied resonant magnetic perturbations on fast ion confinement. In present day tokamaks, the plasma operation is carried out in the so called high confinement mode (H-mode), which is also expected to be the scenario for future burning plasma machines. Intrinsic to the H-mode, periodic perturbations localized in the edge (ELMs) take place expelling particles to the vessel walls, thus degrading confinement. The expected heat loads provoked by such perturbations in the walls of future machines like ITER are intolerable. Therefore, mechanisms of ELM mitigation and suppression are investigated. One of the most extended is the external application of 3D resonant magnetic perturbations (RMPs). However, these have been observed to have an impact on the confinement of fast-ions via geometrical resonances between the 3D structure of the perturbation and the fast-ion orbits.

Within this activity, experiments are carried out in the ASDEX Upgrade tokamak aiming to characterize the effect of different RMPs configuration on the fast-ion confinement in different scenarios. Modelling efforts to identify the relevant resonances underlying

4. Investigación / Research

the radial transport mechanism are carried out with advanced orbit following codes. The simulations include precise reconstruction of the perturbed magnetic equilibrium and, in some cases, the plasma response. The role of the plasma response to the externally applied RMPs has also been investigated experimentally. The investigation and understanding of the physical mechanisms behind this phenomenology is important to eventually seek for a scenario in which ELMs mitigation is achieved minimizing the impact on the fast-ion confinement.

In this field, it is important to highlight the contributions that were made to the 26th IAEA Fusion Energy Conference (Kyoto, 2016) and to the 43rd Conference on Plasma Physics (Leuven, 2016)



Figura 4.18: Pérdidas de iones rápidos debido a perturbaciones resonantes aplicadas exteriormente / Measured fast-ion losses induced by externally applied resonant magnetic perturbations (RMPs)

Pérdidas de iones rápidos inducidas por inestabilidades magnetohidrodinámicas. Un buen confinamiento de los iones rápidos es de vital importancia para el correcto funcionamiento de los reactores de fusión, afectando a la eficiencia del calentamiento del plasma así como a la corriente inducida por los mismos. Además, si son lo suficientemente intensas y localizadas, las pérdidas de iones rápidos pueden provocar daños en los componentes de la vasija frente al plasma y amenazar así la integridad de la máquina. Estos efectos pueden ser intolerables los dispositivos de siguiente generación como ITER. Por lo tanto, es importante investigar los mecanismos que subyacen tras estas pérdidas de iones rápidos. Se ha observado que hay una gran variedad de fluctuaciones magnetohidrodinámicas que tiene el potencial de interaccionar con la población de iones rápidos dando lugar a un incremento de las pérdidas de iones rápidos hacia la pared de la vasija.

Memoria de Investigación 2015-2016 / Research Report 2015-2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.19: Pérdidas de iones rápidos debido a perturbaciones MHD / Measured fastion losses induced by MHD fluctuations

Se ha llevado a cabo el análisis de experimentos en el tokamak ASDEX Upgrade, en los que se observó que iones rápidos acelerados mediante calentamiento ciclotrónico interaccionaron con islas magnéticas presentes en el plasma, dando lugar a un aumento de las pérdidas de iones rápidos y, eventualmente, dañando la cabeza de la sonda del detector de iones rápidos (FILD). Un análisis detallado de la potencia depositada sobre la cabeza del detector se ha llevado a cabo para encontrar el origen del fenómeno. El análisis incluye medidas de la potencia depositada en la cabeza del detector con una cámara de infrarrojos, la estimación de la potencia depositada por los iones rápidos a través de las medidas del detector FILD completamente calibrado, un análisis de Fourier de la señal de FILD para revelar la naturaleza coherente de las pérdidas y la tomografía de rayos-X para reproducir la estructura de las islas magnéticas. Se llevaron a cabo simulaciones con el objetivo de identificar las resonancias onda-partícula subyacentes y de reproducir el espacio de velocidades de la distribución de iones rápidos sobre FILD así como la potencia depositada. En la realización de las simulaciones fue necesario el acoplamiento de distintos códigos para calcular en primer lugar la distribución de iones rápidos en el plasma acelerados por calentamiento ciclotrónico, y en segundo lugar el cálculo de la potencia depositada en las paredes del reactor usando códigos de seguimiento de órbitas.

Este trabajo dio lugar a una contribución en el 14th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement systems (Vienna, 2015).

<u>Fast ion losses induced by magnetohydrodynamic instabilities.</u> A good confinement of the fast-ions in tokamaks is of paramount importance for the performance of fusion machines, affecting the plasma heating efficiency and the current drive. Furthermore, if

4. Investigación / Research

sufficiently intense and localized, fast-ion losses may provoke damage to plasma facing components and threat the integrity of the device. Such effects might be intolerable in next generation devices like ITER. Therefore, it is important to investigate the underlying mechanisms behind these fast-ion losses. It has been observed that a great variety of magnetohydrodynamic (MHD) fluctuations may potentially interact with the fast-ion population leading to increased losses in the machine first wall.

Experiments in the ASDEX Upgrade tokamak were analyzed in which ICRH heated fastions were found to interact with magnetic islands in the plasma leading to increased fast-ion losses and eventually damaging the fast-ion loss detector (FILD) head probe. Detailed analysis of the power deposited in the detector head has been carried out to find its origin. The analysis included infra-red camera measurements of the heat load in the probe head, an estimation of the fast-ion heat load via the fully calibrated FILD detector, FFT analysis of the FILD signal to reveal the coherent nature of the losses and soft X-ray tomography to reproduce the structure of the magnetic islands. Modelling efforts were carried out to identify the possible underlying wave-particle resonances and to reproduce the fast-ion velocity space distribution and heat load on the FILD. The coupling of different simulation codes was necessary for the calculation of the ICRH fast-ion distribution in the plasma in the first place, and then the calculation of the heat loads in the first wall using an orbit following code.

This work lead to a contribution to the 14th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement systems (Vienna, 2015).

<u>Control activo de modos alfvénicos mediante calentamiento ciclotrónico de electrones</u> <u>y su corriente inducida.</u> Los dispositivos de fusión de siguiente generación, como ITER y DEMO, pueden estar sujetos a la aparición de modos alfvénicos (AEs) inducidos por partículas rápidas. Estas inestabilidades del plasma tienen el potencial de causar una significante redistribución de iones rápidos y eventual pérdida debida a una interacción directa onda-partícula, dando así lugar a una reducción en la eficiencia del calentamiento y la corriente inducida, y por lo tanto degradando el rendimiento de la fusión. Es más, si son lo suficientemente intensas y localizadas, las pérdidas de iones rápidos pueden causar daños a los componentes de la pared del reactor, lo cual puede ser intolerable.

En el marco de esta actividad se exploran mecanismos de control y supresión de AEs. Experimentos recientes han demostrado el impacto que tiene sobre la estabilidad de los AEs la aplicación localizada calentamiento ciclotrónico de electrones y la corriente que se induce. Sin embargo, aún no ha sido propuesta una explicación sólida para este fenómeno. En este sentido se están haciendo esfuerzos teóricos apoyados por simulaciones numéricas que incluyen el cálculo de la estabilidad de los AEs así como la interacción onda-partícula entre éstos y la población de iones rápidos. Los experimentos futuros serán diseñados para poner de manifiesto observaciones que permitan poner a prueba la universalidad de algunos modelos teóricos.

Memoria de Investigación 2015-2016 / Research Report 2015-2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research



Figura 4.20: Actividad Alfvénica medida en el tokamak AUG del IPP por medio de bobinas magnéticas pick-up / Alfvénic activity measured in the AUG tokamak measured by means of magnetic pick-up coils

En este campo de investigación el grupo participa de forma activa en experimentos coordinados entre distintas máquinas llevados a cabo en el marco de la campaña MST1 de EUROFUSION. En este sentido, es importante destacar la contribución que se hizo al 14th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement systems (Vienna, 2015).

Active control of Alfven Eigenmodes via electron cyclotron resonance heating and electron cyclotron current drive. Next generation fusion devices, such as ITER and DEMO, may be subject to the appearance of fast-particle driven Alfven Eigenmodes (AEs). These plasma instabilities have the potential to cause significant fast-ion redistribution and eventually loss due to a direct wave-particle interaction, leading to a reduction of the heating and current drive efficiency, and therefore a degradation of fusion performance. Furthermore, if sufficiently intense and localized, fast-ion losses may cause damage to plasma facing components, which is likely to be intolerable.

Within this activity, mechanisms of control and suppression of AEs are explored. Recent experiments have shown the impact that localized electron cyclotron resonance heating (ECRH) and electron cyclotron current drive (ECCD) have on the stability of AEs, leading to their mitigation under some circumstances. However, no solid explanation has been yet proposed. Theoretical efforts are being made in this sense supported by numerical simulations accounting for the AEs stability and the wave-particle interaction between these and the fast-ion population. Future experiments will be design to highlight observations that may help testing the universality of some theoretical models.

In this research field, the group actively participates in dedicated and coordinated experiments between different machines which are carried out under the EUROFUSION MST1 campaign. With this regard, it is important to highlight that a contribution was

4. Investigación / Research

made to the 14th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement systems (Vienna, 2015).

Obtención de la eficiencia absoluta de materiales centelladores y flujo absoluto de pérdidas de iones rápidos en AUG. En los dispositivos de plasmas de fusión, las pérdidas de iones rápidos producidas por diferentes mecanismos representan un doble problema para el rendimiento del reactor. Por una parte, no contribuyen al calentamiento del plasma, lo cual conduce a una disminución de la potencia del plasma y, por otro lado, la primera pared del reactor puede ser dañada por las partículas que chocan. El principal diagnóstico (instalado en la mayoría de los grandes dispositivos de fusión ASDEX Upgrade, JET...) para obtener información acerca de la interacción onda-partícula en un reactor de fusión magnético es el detector de pérdida de iones rápidos basado en materiales centelladores (FILD). La innovación de este diagnóstico es la respuesta rápida de su material centellador (SrGa₂S₄:Eu²⁺ llamado TG-Green). Esto lo hace adecuado para seguir las frecuencias de las fluctuaciones magnetohidrodinámica (elms, TAES, etc), pero las medidas absolutas de los iones que escapan no están, sin embargo, disponibles debido a la compleja dependencia de la eficiencia de centelleo a altas temperaturas y en entornos duros de radiación. La luminiscencia inducida por iones se ha utilizado para estudiar la respuesta de las pantallas de centelleo Y_2O_3 :Eu³⁺ (P56) y SrGa₂S₄:Eu²⁺ (TG-Green) cuando se irradian con iones ligeros (protones, deuterio y partículas de helio). La eficiencia absoluta de las muestras ha sido estudiada en función de la energía de los iones (con energías de hasta 3.5 MeV), la corriente de iones, así como la temperatura de operación. Para este propósito, una nueva cámara de vacío con revestimiento negro (para evitar reflexiones sobre la pared de la cámara) y equipada con un calentador de muestras (resistencia de cerámica), un monitor de control de temperaturas (termopar) para cubrir el rango de temperatura de operación esperado en los dispositivos de fusión y una sistema de diagnóstico fotónico se ha instalado en CNA en una línea de haz dedicada. La evolución del rendimiento de centelleo con la fluencia de iones se ha llevado a cabo para todos los centelladores para estimar el daño por radiación causada por grandes flujos de iones en función de la temperatura. Finalmente, medidas de la respuesta temporal (decay time) de estos materiales se ha llevado a cabo usando un sistema de haz pulsado de partículas aceleradas.

Entre las pantallas bajo estudio, el TG-Green es el material más adecuado, en términos de eficiencia absoluta, respuesta temporal y degradación con dosis de iones, para los detectores de pérdida de iones rápidos en los dispositivos de fusión.

Medias absolutas de las pérdidas de iones rápidos se han obtenido por primera vez en el tokamak ASDEX Upgrade por medio de la calibración absoluta del detector de pérdidas de iones rápidos basados en materiales centelleadores. La calibración del sistema de adquisición de luz, del rendimiento absoluto del centelleador y de la geometría del colimador del AUG-FILD ha sido utilizada para desarrollar una función instrumental que convierte la señal experimental de pérdida de iones rápido en flujos

Memoria de Investigación 2015-2016 / Research Report 2015-2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

absolutos. La función instrumental obtenida ha sido aplicada a señales de NBI prompt loss obtenidas en experimentos dedicados en el tokamak AUG.



Figura 4.21: Eficiencia normalizada como función de la fluencia de iones para los dos fósforos bajo estudio (TG-Green y P56) y diferentes temperaturas de operación. Las muestras se irradiaron con iones He⁺⁺ a una energía E = 3.5 MeV / Normalized efficiency for TG-Green y P56 and different temperatures. Irradiation with He⁺⁺ (3.5 MeV)

Absolute efficiency of scintillating materials and absolute flux of fast-ion losses in AUG. In plasma fusion devices, fast ion losses produced due to different mechanisms 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 (installed in in most of the large fusion devices (ASDEX Upgrade (AUG), JET ...) to obtain information about the wave-particle interaction in a magnetic fusion reactor is the scintillator based fast-ion loss detector (FILD). The innovation of this diagnostic is its fast response scintillator material (e.g. $SrGa_2S_4$: Eu^{2+} named TG-Green). This makes it suitable to follow the frequency of the magnetohydrodynamics fluctuations (ELMs, TAEs, etc) but absolute measurements of the escaping ions are, however, not available due to the complex dependence of the detector response on the scintillator efficiency at high temperature and hard radiation environment. Ion beam induced luminescence has been used to study the response of scintillator screens of Y₂O₃:Eu³⁺ (P56) and SrGa₂S₄:Eu²⁺ (TG-Green) when irradiated with light ions (protons, deuterium and helium particles). The absolute efficiency of the samples has been studied as a function of the ion energy (with energies up to 3.5 MeV), the ion current and as well as the operation temperature. For this purpose, a new vacuum chamber with black coating (to avoid reflections on the chamber wall) and equipped with a sample heater (ceramic resistance), a temperature control monitor (thermocouple) to cover the operation temperature range expected in fusion devices

4. Investigación / Research

and a photonic diagnostic system have been installed at CNA in one dedicated beam line. The evolution of the scintillator yield with ion fluence has been carried out for all the scintillators to estimate radiation damage caused by large ion fluxes as a function of the temperature. Finally, measurements of the temporal response (decay time) of these materials using a system of pulsed beam accelerated particles have been done.



Figura 4.22: Evolución temporal de las pérdidas absolutas de prompt loss medidas con FILD / Temporal evolution of absolute losses measured with FILD

Among the screens under study, the TG-Green is the best suited material, in terms of absolute efficiency, temporal response and degradation with ion dose, for fast-ion loss detectors in fusion devices.

Absolute measurements of fast-ion losses have been obtained for the first time in the ASDEX Upgrade tokamak by means of absolutely calibrated scintillator based fast ion loss detector. The calibration of the light acquisition system, the absolute yield of the scintillator and the collimator geometry of AUG-FILD has been used to develop an instrument function that converts the experimental fast ion loss signals into absolute fluxes. The instrument function obtained here has been applied to NBI prompt loss signals obtained in dedicated experiments at the AUG tokamak.

$$\Gamma_{pinhole} = \frac{1}{\varepsilon \times f_{col} \times \Delta t} \iint_{\Omega(E,\Lambda)} \frac{I(p,q)}{\xi(p,q)} d\Omega$$

4. Investigación / Research

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

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

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

4.2.1 Desarrollo de detectores y electrónica asociada para el trazado de haces de núcleos exóticos / Novel detector development for beam tracking of exotic nuclei Las nuevas instalaciones que se están construyendo en Europa para la producción de núcleos exóticos tales como SPIRAL-2 y FAIR, prevén la producción de haces muy exóticos. Estos haces presentarán una resolución angular y energética muy pobre para las necesidades en espectroscopía nuclear, debido a los métodos de producción. Es necesario el uso de detectores para el trazado del haz, que nos permitirán obtener la posición y la señal temporal de los haces exóticos, núcleo a núcleo, sin provocar una perturbación significativa en el haz. Diferentes tipos de detectores se han utilizado con este propósito. El interés científico de nuestro grupo, nos lleva a investigar las distintas opciones para el trazado de haces de núcleos exóticos de baja energía (unos pocos MeV por nucleón). Para este caso, una buena opción son los Detectores de electrones Secundarios (SeD). Cuando un ion pasa a través de una fina hoja emisora (0.9 µm de mylar aluminizado), algunos electrones salen de ella, sin afectar al ion. Estos electrones son entonces acelerados y focalizados gracias a un campo eléctrico y magnético, hacia un detector que se localiza fuera de la línea del haz y que presenta una muy buena resolución temporal y espacial. En el caso del grupo FNB, durante los últimos años, nos hemos involucrado en el estudio y producción de distintos prototipos SeD (detectores de baja presión) en colaboración con grupos de GANIL y Saclay.

Durante el periodo 2015-2016 se ha diseñado un nuevo colimador para la entrada de la cámara de trazado de la línea de haz FNB, para la mejora de las pruebas con haces de iones de los detectores SeD en el CNA. Hemos realizado un test con fuente alfa directa incidiendo sobre el detector miniSeD para medidas de caracterización de los preamplificadores SEDA, obteniéndose la resolución espacial para distintas condiciones de ganancia. Asimismo hemos probado nuevas hojas emisoras para ser acopladas a los detectores SeD, y hemos estudiado la ganancia y resolución del prototipo SeD con hojas de mylar aluminizado y con hojas de mylar+CsI. Se ha modificado el diseño de la strongback del prototipo SeD de área activa grande. Por último, se ha medido la resolución espacial y su homogeneidad a lo largo del área activa del detector.

4. Investigación / Research

The new facilities planned for the production of exotic nuclei in Europe, SPIRAL-2 and FAIR, foresee the production of beams of very exotic nuclei. However, the characteristics of these beams are such that angular and energy resolution will be poor, for the requirements of nuclear spectroscopy. It is necessary to use beam tracking detectors that will get the position and time signal of the exotic beam, one nuclei by one, without affecting significantly the beam. Several detector technologies have been applied for this purpose, which depend on the properties, mostly on the scattering energy, of the beam. The scientific interest of our group leads us to investigate the beam tracking options for the very difficult case of low energy (a few MeV per nucleon) exotic beams. For this case, a convenient option is the Secondary electron Detectors (SeD), which are based on the fact that when the ions pass through a very thin emissive foil (0.9 µm aluminized mylar foil), some electrons are ejected, without affecting the ion. These electrons are then accelerated and focused thanks to an electric and magnetic field, towards a detector with a very good spatial and time resolution, placed out of the beam. In the case of our group at CNA, during the last few years, we have been involved in the production and study of SeD prototypes (low pressure gaseous detectors), in very close collaboration with groups at Saclay and GANIL.

During 2015-2016, a new collimator has been designed, to be placed at the entrance of the tracking chamber installed in the -30° beamline of the 3 MV Tandem; this will improve the conditions for SeD tests with ion beams. We have performed a test with a source of alpha particles and a miniSeD in order to characterize SEDA amplifiers, obtaining the spatial resolution for different gain conditions. We have also tested new emissive foils to be coupled to the SeD detectors and have studied the gain and resolution of the SeD prototype with aluminized mylar and with mylar+CsI foils. A new, modified design has been obtained for the strongback of the large active area SeD prototype. Finally, we have measured its spatial resolution and its homogeneity along the detector active area.

4.2.2 Estudio de núcleos exóticos / Study of exotic nuclei

La motivación de nuestro grupo por el desarrollo de instrumentación para el trazado de haces, viene de nuestro interés científico por el estudio de los núcleos exóticos. Los núcleos exóticos tienen más protones o neutrones que los núcleos estables, y este hecho afecta fuertemente a sus propiedades. Hemos investigado la mayoría de núcleos estables ricos en neutrones, los cuales forman estructuras en las que uno o dos neutrones están débilmente ligados, y por tanto presentan una densidad neutrónica difusa. Son los llamados "núcleos halo". Algunos ejemplos de estos núcleos son ⁶He, ⁸He, ¹¹Li y ¹¹Be. En particular hemos estudiado el efecto de la fuerza Coulombiana Dipolar. Se conoce como "Polarizabilidad Dipolar". Durante los últimos 20 años, hemos estudiado teóricamente este efecto en la dispersión de los núcleos halo. Al mejorar las instalaciones que proporcionan haces exóticos, fue posible, en colaboración con el IEM-CSIC y la Universidad de Huelva, proponer, planificar y desarrollar experimentos donde diferentes núcleos exóticos fueron dispersados por blancos pesados, a energías en torno a la barrera de Coulomb.

4. Investigación / Research

Hemos continuado con el análisis de los experimentos de dispersión de los núcleos exóticos ¹¹Li y ¹¹Be, en los que nuestro grupo participó en años anteriores. Las medidas de las secciones eficaces elásticas y de ruptura, descritas mediante sofisticados cálculos mecánico-cuánticos que incluyen el efecto del continuo, permiten conocer las propiedades de estructura de estos núcleos halo. Tenemos prevista la participación en un nuevo experimento aprobado en TRIUMF (Canadá) para medir la dispersión de ¹¹Li en ⁶⁴Zn.

The motivation of our group for developing beam tracking instrumentation comes from our scientific interest in the study of exotic nuclei. Exotic nuclei have more protons or neutrons than stable nuclei, and this affects strongly its properties. We have investigated most neutron rich nuclei, which form structures in which the last one or two neutrons are very weakly bound, and so they have a very diffuse neutron density. Hence, they are called "halo nuclei". Examples of these nuclei are ⁶He, ⁸He, ¹¹Li and ¹¹Be. We have, in particular, studied the effect of the Dipole Coulomb force on these nuclei. This is known as "Dipole Polarizability". During the last 20 years, we have investigated theoretically the effect of the dipole polarizability on the scattering of halo nuclei. As exotic beam facilities improved, we were able, in close collaboration with the IEM-CSIC and the University of Huelva, to propose, plan and perform experiments in which different exotic nuclei were scattered from very heavy targets, at energies around the Coulomb barrier.

We have continued the analysis of previous scattering experiments of ¹¹Li and ¹¹Be exotic nuclei, experiments performed with participation of our group. Elastic and breakup cross section measurements, described by means of sophisticated quantummechanical calculations including the effect of the continuum, provide insight into the structure of these halo nuclei. We plan to participate in a new, approved experiment in TRIUMF (Canada) to study ¹¹Li and ⁶⁴Zn scattering.

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

El aumento en la complejidad de los tratamientos de radioterapia hace necesarios nuevos sistemas para verificar que el proceso planeado coincide con el tratamiento que debe ser aplicado al paciente. En el pasado nuestro grupo participó en los proyectos RADIA y RADIA2, "Diseño y desarrollo de un sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)", una colaboración entre la Universidad de Sevilla (Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear y Departamento de Ingeniería Electrónica), la compañía Inabensa, el Centro Nacional de Aceleradores y el Hospital Universitario Virgen Macarena. Se desarrolló y caracterizó un sistema para obtener mapas de dosis para verificación de tratamientos complejos, basado en un detector comercial de silicio de 16 tiras segmentado por una cara (SSSSD), un maniquí plano y uno cilíndrico, y una electrónica específica para el control y adquisición de datos. Posteriormente desarrollamos un nuevo prototipo en el cual seguimos trabajando, que incluye las siguientes mejoras: a)

4. Investigación / Research

un nuevo detector diseñado y fabricado siguiendo nuestros requerimientos para verificación de tratamientos de radioterapia; consta de dos SSSSDs de 32 tiras, cuyas tiras son perpendiculares entre sí, en una configuración especial para reducir las perturbaciones a la radiación incidente; b) una nueva electrónica más sensible y un nuevo software para el control de la rotación del maniquí y para la adquisición y análisis de datos; c) un nuevo maniquí cilíndrico, más versátil que el anterior y con mejor control de la posición angular; d) un nuevo algoritmo de reconstrucción para obtener mapas de dosis. Durante 2015-2016 hemos completado la construcción del sistema y una primera caracterización del mismo en el maniquí plano. Los siguientes pasos, ya en 2017, serán la caracterización dosimétrica en el maniquí cilíndrico en condiciones de tratamiento y la obtención de mapas de dosis, objetivo final del proyecto.

The increasing complexity of radiotherapy treatments demands new, reliable systems to verify that the planned process coincides with the real treatment that should be applied to the patient. In recent years our group participated in the projects RADIA and RADIA2, "Diseño y desarrollo de un sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)", a collaboration involving the University of Seville (Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics and Department of Electronical Engineering), the company Inabensa, the National Accelerator Centre (CNA) and the Virgen Macarena University Hospital. We developed and fully characterized a system to obtain dose maps for complex treatment verification, based on a commercial single sided silicon strip detector (SSSSD, with 16 strips), a slab and a cylindrical phantom, and specific electronics for control and data acquisition. Subsequently a new prototype was developed, on which we continue working, with these improvements: a) new detector, designed and built according to our requirements for radiotherapy treatment verification, consisting of two 32-strip SSSSDs, with detector strips perpendicular to each other, in a special configuration to reduce perturbations on incoming radiation; b) new, more sensitive electronics and software for phantom rotation control and for data acquisition and analysis; c) new cylindrical phantom, more versatile than the previous one and with a better control of angular position; d) new reconstruction algorithm to obtain the dose maps. During 2015-2016 we have finalized the system construction and its first characterization in the slab phantom. Next steps, already in 2017, will be the dosimetric characterization in the cylindrical phantom under treatment conditions and the obtaining of dose maps, final goal of the project.

4.2.4 Estudios de dosimetría y efectos radiobiológicos con protones de baja energía en el Tándem de 3 MV del CNA / Dosimetry and radiobiological studies with low energy protons at the 3 MV Tandem of CNA

En radiobiología, el daño relativo causado por diferentes tipos de radiación sobre las mismas entidades vivas se representa por la Eficacia Biológica Relativa (RBE). Para partículas cargadas como los protones, la RBE debería ser máxima a energías correspondientes al pico de Bragg, donde se transfiere la mayor parte de la energía al medio irradiado. El Acelerador Tándem de 3 MV del CNA proporciona protones con

4. Investigación / Research

energías adecuadas para estudiar efectos radiobiológicos en la región del pico de Bragg, así como propiedades físicas relacionadas con dichos efectos.

En el periodo 2015-2016 hemos completado las modificaciones, que iniciamos en años recientes, de la línea de Física Nuclear Básica (FNB) del Acelerador Tándem de 3 MV para poder irradiar muestras de células en aire con intensidad homogénea sobre toda la muestra. A lo largo de este periodo también se ha optimizado el procedimiento de preparación del haz y control de las condiciones de irradiación. Estos trabajos y los que indicamos a continuación se han desarrollado con colaboradores del GSI-Darmstadt, el Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Sevilla, la Universidad de Granada y los hospitales San Cecilio (Granada) y Virgen Macarena (Sevilla).

Hemos realizado nuevas irradiaciones de un conjunto de cultivos de células tumorales con protones a energías superiores a las del pico de Bragg, para completar datos obtenidos anteriormente en la misma línea FNB. Se ha llevado a cabo el análisis del daño producido en las células, en comparación con el efecto de irradiar el mismo tipo de células con fotones. Uno de los principales objetivos es estudiar el fenómeno de hipersensibilidad celular a bajas dosis.

Por otra parte hemos llevado a cabo varios experimentos, en la misma línea de haz FNB, irradiando películas radiocrómicas EBT3 con protones en distintas condiciones de energía (por encima de y en el pico de Bragg) y fluencia. Estas películas se vienen utilizando en dosimetría de fotones, pero no se tiene un conocimiento suficiente de su comportamiento al ser irradiadas con partículas cargadas. El objetivo de nuestros experimentos es un estudio exhaustivo de la respuesta de dichas películas a la irradiación con protones, incluyendo la comparación con su respuesta a la irradiación con fotones.

In radiobiology, the relative damage caused by different kinds of radiation on the same living entities is represented by the Relative Biological Effectiveness (RBE). For charged particles such as protons, the RBE should be maximum at energies in the Bragg peak, where most of the energy is transferred to the absorbing medium. The 3 MV Tandem at CNA provides protons with energies suitable to study radiobiological effects in the Bragg peak region, as well as physical properties related to such effects.

During 2015-2016 we have completed the modifications of the -30° beamline of the 3 MV tandem, started in recent years, in order to allow cell sample irradiations in air with homogeneous intensity over the whole sample. During this period we have also optimized the procedure for beam preparation and for control of irradiation conditions. These works and those reported hereafter were carried out with collaborators of GSI-Darmstadt (Germany), the Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics of University of Seville, University of Granada, San Cecilio Hospital (Granada) and Virgen Macarena Hospital (Seville).

4. Investigación / Research

We have performed new irradiations of a set of tumor cell cultures with protons at energies above the Bragg peak, thereby completing data previously obtained in the same beamline. The cell damage has been analyzed and compared with the effect of irradiating similar cell cultures with photons. One of the main objectives is to study the low-dose hypersensitivity effect.

We have also undertaken several experiments, in the same beamline of the 3 MV Tandem, irradiating radiochromic EBT3 films with protons of energies above and in the Bragg peak, for several fluence values. EBT3 films are routinely used in photon dosimetry, but their response to charged-particle irradiation is not sufficiently known. Our experiments aim to study in detail such response for the case of protons, including the comparison with the response to photon irradiation.

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

La física experimental de neutrones tiene un papel fundamental en numerosos campos tales como la física de materiales, tecnología nuclear, imagen y física médica. La unidad de investigación de Física Nuclear Básica del CNA ha desarrollado la primera fuente de neutrones en España basada en un acelerador, llamada HiSPANoS (HISPAlis NeutrOn Source).

En astrofísica nuclear se han realizado en el CNA diferentes experimentos y estudios de la sección eficaz estelar de la reacción 197 Au(n, γ) 198 Au, con la intención de conseguir que sea considerada un estándar en las medidas de neutrones en este campo; nuestro grupo ha encontrado la causa de las discrepancias entre diferentes medidas de dicha sección eficaz, que se debían a la dispersión de neutrones y a la necesidad de realizar una corrección por muestra plana propuesta por nuestro grupo. Además se ha iniciado, en colaboración con la Universidad de Islas Baleares, la irradiación de circuitos con neutrones de altas energías, similares a aquellos cósmicos, que pueden crear daños o errores de lectura en satélites.

Asimismo se ha adaptado la línea de haz FNB para la irradiación con neutrones térmicos (muy baja energía), de especial relevancia en física médica; aunque el flujo es bajo, la posibilidad de disponer de neutrones térmicos con acelerador es muy interesante ya que normalmente solo se dispone de ellos en reactores nucleares. La primera aplicación, en colaboración con el grupo de investigación de Física Médica de la Universidad de Sevilla, consistió en la caracterización de un dosímetro para medidas del flujo de neutrones rápidos en las salas de radioterapia con fotones. Los neutrones rápidos producidos en ciertas condiciones de tratamiento pueden provocar el desarrollo de cánceres secundarios.

La terapia por captura neutrónica (NCT) consiste en la inyección de un compuesto que porta ¹⁰B a las células tumorales y la irradiación del área tumoral con neutrones de baja energía. La reacción ¹⁰B(n, α)⁷Li libera una alta energía que adquieren la partícula α y el ⁷Li que destruyen la célula. Nuestro grupo estudia nuevas posibles dianas

4. Investigación / Research

adicionales al ¹⁰B, como el ³³S, que puedan mejorar la NCT. Se han realizado dos experimentos dirigidos al estudio de la reacción ³³S(n,α)³⁰Si: el primero de ellos en el reactor nuclear del Institut Laue-Langevin, para la medida de la sección eficaz de la reacción con neutrones térmicos; y el segundo en el CERN en la nueva sala experimental de n_TOF, donde por primera vez se podrá conocer la reacción para energías de neutrones desde el térmico hasta cientos de keV.

Experimental neutron physics plays a fundamental role in many fields such as material physics, nuclear technology, astrophysics, imaging and medical physics. The Basic Nuclear Physics Research Unit of CNA has developed the first accelerator-based neutron source in Spain, called HiSPANoS (HISPAlis NeutrOn Source).

In nuclear astrophysics new experiments have been carried out at CNA for studying the stellar cross-section of the ¹⁹⁷Au(n, γ)¹⁹⁸Au, in order to achieve that it is considered a standard in this field; our group has found the explanation for the discrepancies between different cross-section measurements, which were due to the neutron scattering and the need to perform a correction for flat sample proposed by our group. In addition to this, the neutron setup has been adapted for the irradiation of circuits with high-energy neutrons, which mimic cosmic neutrons that can create damages or readout errors in satellites. Such irradiation experiments have been carried out in collaboration with the University of the Balearic Islands.

Furthermore, the beamline has been adapted for the irradiation with thermal neutrons (very low energy), particularly relevant in medical physics; although the flux is low the possibility of having thermal neutrons with accelerator is very interesting since normally they are only available in nuclear reactors. The first application, in collaboration with the Medical Physics research group of the University of Seville, consisted of the characterization of a dosimeter for the study of the fast neutrons in photon radiotherapy treatment rooms. The fast neutrons produced in certain treatment conditions can cause the development of secondary cancers.

Neutron capture therapy (NCT) consists of the injection of a compound that carries ¹⁰B to tumor cells and the irradiation of the tumor area with low energy neutrons. The reaction ¹⁰B(n, α)⁷Li releases a high energy delivered to the α -particle and the ⁷Li, which destroy the cell. Our group studies new possibilities for additional ¹⁰B targets, such as ³³S, which can improve the NCT. Two experiments have been conducted to study the ³³S(n, α)³⁰Si reaction: the first one in the nuclear reactor of the Institut Laue-Langevin, for the measurement of the cross-section of the reaction with thermal neutrons; and the second of them at CERN in the new experimental hall of n_TOF where for the first time the reaction for neutron energies from the thermal up to hundreds of keV can be measured.

4. Investigación / Research

4.3 Unidad de Investigación Ciclotrón / Cyclotron Research Unit

4.3.1 Radiofarmacia / Radiopharmacy

Con el grupo de Microsistemas del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla se están desarrollando microchips para síntesis de radiofármacos, dentro del proyecto de excelencia TIC 2296 de la Junta de Andalucía "Microlab-on-chip para producción de radiofármacos de diagnóstico PET".

La producción microfluídica de radiofármacos presenta ventajas de la "dosis a demanda", entre ellas la síntesis de radiofármacos PET en centros que carecen de ciclotrón, no requiere la infraestructura de la clásica producción industrial de radiofármacos PET, requiere menores blindajes, además de un aumento en la eficiencia de los procesos.

En los marcajes con ¹⁸F por sustitución nucleofílica el primer paso es la preconcentración de flúor radiactivo. Este paso se ha llevado a cabo con microcartuchos de extracción en fase sólida (SPE) fabricados directamente en el material de fabricación del microchip, polidimetilsiloxano (PDMS), en el que se incluye resina de intercambio aniónico fuerte (SAX). Hasta ahora, otros grupos de investigación que trabajan con chips de PDMS conectan sus microcartuchos de retención de ¹⁸F de forma externa. Nuestro grupo ha conseguido integrar el cartucho de forma efectiva en el microchip, con retención y elución del ¹⁸F mayores al 95%.

El chip se fabricó en PDMS, un molde de SU-8 en PCB define los canales que conectan las entradas y salidas del cartucho. El molde se coloca en una superficie plana y se copia en una impresora 3D, dando la forma definitiva al chip. En el molde se incluye un rodillo que dejará el hueco en el que posteriormente se depositará la resina de intercambio aniónico. El molde se rellenó con PDMS que se curó a 65°C durante 45 minutos. Tras desmoldarlo se taladraron orificios de entrada y salida por los que se introdujeron 10 mg de resina QMA (Quaternary methyl ammonium) para la preconcentración del ¹⁸F. Para conseguir buena compactación de la resina, se aplicó un peso de 1kg durante un minuto. Se colocaron sendos frits a la entrada y salida del cartucho, y se colocó un pequeño tubo para cerrar el microcartucho.

Se realizaron pruebas de retención y elución de flúor radiactivo inyectando volúmenes de 100 μ L y actividad de 500 μ Ci tras una mampara plomada. Para evitar contaminantes de otros isótopos procedentes de la ventana de Havar, se utilizó el segundo aclarado del target bombardeado, diluyendo con agua ultrapura a una concentración final de 5mCi/mL. Tras inyección de la muestra se recogió el agua a la salida del cartucho y se midió en activímetro. La retención conseguida tras varias repeticiones fue del 91–100%. Posteriormente se eluyó el ¹⁸F con una solución de K₂CO₃ 0.5M, cuya actividad a la salida del cartucho también se midió en activímetro. La

4. Investigación / Research

La integración del cartucho de intercambio aniónico fuerte en el chip de PDMS abre la puerta a la fabricación de microchips para producción de radiofármacos más pequeños, más compactos y con buena eficiencia en la retención y elución de ¹⁸F.



Figura 4.23: La vista general del cartucho (izquierda). Configuración para la carga del cartucho con la solución radiactiva (derecha) / The general view of the cartridge (left). Setup for charging of the cartridge with radioactive solution (right)

In collaboration with the group of Microsystems at the Electronic Engeneering Department of Univertity of Seville we are developing microchips for radiopharmaceuticals synthesis, on the contex of the excellence project TIC 2296 of Junta de Adalucía "Microlab-on-chip for production of radiopharmaceutical products of diagnostic PET".

Microfluidic production of radiopharmaceuticals has the advantages of "dose on demand", between them, radiotracer's production at centres with no cyclotron, no need of industrial infrastructures, lower shielding and more efficient processes.

At ¹⁸F labelling by nucleophilic substitution, first step is radioactive fluorine preconcentration. This step has been developed with solid phase extraction (SPE) microcartridges, performed inside the same microchip material, polydimethylsiloxane (PDMS), inside of which we included the strong anion exchange (SAX) resin.

Until now, other research in PDMS microchips have the SPE cartridges connected externally. Our group has included the microcartridge into the chip, with retention and elution of ¹⁸F above 95%.

The chip is made of PDMS. A mold of SU-8 on PCB defines the channels that connect the inlets and outlets to the cartridge. This board is placed on a flat surface and covered with a 3D-printed enclosing box, which will define the final shape of the chip (Figure 4.23). The box contains a rod entering the enclosing, which will leave a hollow shape inside the chip. After being closed and secured with o-rings to avoid leakages, PDMS is poured into the enclosing and then cured at 65°C for 45 min in an oven. Then it is demolded and inlet and outlet orifices are drilled from the top side, through them 10 mg QMA (Quaternary methyl ammonium) resin were poured. To get good compactness

4. Investigación / Research

and uniformity of the resin, a weight of 1 kg is applied to the resin for 1 min. Another frit and small tube are placed, closing the cartridge. Two frits were put (inlet and outlet) and also a small tube to close the system.

Some assays of retention and elution of ¹⁸F were done, pumping dosis of 500 μ Ci in 100 μ L behind a shielding screen. To avoid any other isotope contamination from the Havar, we used the second target rinse after bombardment, diluting with ultrapure water to get a final concentration of 5 mCi/mL. After injection, water was collected at the outlet and measured at activimiter. ¹⁸F retention was 91-100%. ¹⁸F was eluted with 0.5M K₂CO₃ and the eluted activity was also measured at activimeter. It reached 94-97%. The SAX microcartridge insertion in the PDMS chip opens the door to smaller and more compact chips for radiopharmaceuticals with good efficiency in ¹⁸F retention and elution.

En colaboración con CNEURO y CENTIS de La Habana (Cuba) sintetizamos un nuevo radiofármaco PET para diagnóstico precoz de la Enfermedad de Alzheimer. Ahora se han llevado a cabo en el CNA los estudios de biodistribución en ratones sanos, y también se obtuvieron imágenes PET/CT de las placas β -amiloides en modelos transgénicos APPSwe/PS1dE9. Este estudio forma parte del proyecto i-link 0965 de CSIC "Diagnostico precoz de alzheimer mediante técnicas de imagen PET (DIPALPET)."

 $[^{18}F]$ -2-(3-fluoropropil)-6-metoxinaftaleno ($[^{18}F]$ Amylovis[®]) es un nuevo derivado de naftaleno para detectar placas β -amiloides en el diagnóstico precoz de la Enfermedad de Alzheimer.

Se sintetizó [¹⁸F]Amylovis[®] por sustitución nucleofílica del grupo tosilo de la molécula precursora. 35 ratones sanos Balb/C de 10-12 semanas de edad, se dividieron en 6 grupos de 5 animales cada uno, y se inyectaron con dosis similares de [¹⁸F]Amylovis[®] a través de la vena lateral de la cola. Se tomaron muestras de sangre y se sacrificaron los animales a 5, 15, 30, 45, 70 y 180 minutos de la inyección del radiofármaco. Se extrajeron los órganos y tejidos de interés y se lavaron con salino. Se midió la actividad en contador de pozo de muestras de orina, sangre, heces, cerebro, cerebelo, corazón, hígado, estómago, bazo, intestino delgado, intestino grueso, riñón izquierdo, músculo esquelético, hueso y cola. Para estudiar la unión a proteínas plasmáticas (upp) se obtuvieron muestras de plasma, que se trataron con acetonitrilo para precipitar proteínas y se centrifugaron a 4000 g. Los pellets de proteínas se separaron y su actividad se midió de nuevo en contador de pozo. Las muestras de sobrenadante se analizaron por radioTLC y radioHPLC. El radioTLC se llevó a cabo con silicagel 60 como fase estacionaria y fase móvil de Acetonitrilo/agua 95/5. 20 µL de sobrenadante se analizaron por radioHPLC de fase reversa, utilizando una columna analítica C-18 y fase móvil acetonitrilo/agua 75/25 para identificar metabolitos radiactivos. Los parámetros farmacocinéticos (AUC, t1/2, Cmax, Cl, Vss) se calcularon empleando el modelo no compartimental. Se hicieron estudios dinámicos obteniendo imágenes PET/CT de animales sanos y transgénicos durante 2.5 h. Se realizaron estudios de

4. Investigación / Research

inmunohistoquímica de los cerebros de ratones control y transgénicos para identificar placas β-amiloides.

[¹⁸F]Amylovis[®] atraviesa la barrera hematoencefálica. Las imágenes PET/CT (Figura 4.24) mostraron diferencias significativas de captación entre los ratones control y los transgénicos. Los estudios postmortem de inmunohistoquímica de los cerebros también demostraron diferencias significativas entre controles y transgénicos (amiloide positivos). La semivida plasmática, $T_{1/2}$, fue de 37 minutos. No se observó upp significativa. Las principales vías de excreción fueron hepática y renal. Se observó presencia de metabolitos radiactivos al cabo de hora después de la inyección.

Se concluye que el [¹⁸F]Amylovis[®] puede ser un buen radiofármaco para imagen PET de placas β -amiloides.



Figura 4.24: Estructura química de la ¹⁸F-Amylovis ([¹⁸F]-2-(3-fluoropropil)-6metoxinaftaleno) con fluor radioactivo marcados co * / Chemical structure of ¹⁸F-Amylovis ([¹⁸F]-2-(3-fluoropropyl)-6-methoxynaphtalene) with radioactive fluor marked with *.

In collaboration with CNEURO and CENTIS of Havana (Cuba) we have synthesized a new PET radiotracer, and now we have performed the biodistribution studies in healthy mice and also we obtained some PET/CT images of [¹⁸F]Amylovis[®] in transgenic APPSwe/PS1dE9 mice, with 6-amyloid plaques. Study has been done in the framework of collaborative project i-link 0965.

"Biodistribution of [¹⁸F]Amylovis[®], a new radiotracer for PET imaging of *β*-amyloid plaques".

 $[^{18}F]$ -2-(3-fluoropropyl)-6-methoxynaphtalene ($[^{18}F]$ Amylovis[®]) is a new naphthalenederivative for detecting β -amyloid plaques in Alzheimer's disease. The aim of the study is the assessment of the animal biodistribution of this new radiotracer.

[¹⁸F]Amylovis[®] was synthesized by nucleophilic substitution of the tosyl group of the precursor. Thirty five healthy male Balb/C mice of 10-12 weeks were divided into 6 groups of 5 animals each and injected with similar doses of [¹⁸F]Amylovis[®] through a lateral tail vein. Blood samples were collected and the animals were sacrificed at 5, 15, 30, 45, 70 and 180 minutes. Organs of interest were removed and washed with saline. Radioactivity of blood, plasma, urine, faeces, brain, cerebellum, heart, liver, stomach, spleen, bowel, colon, left kidney, muscle, bone and tail was measured in a well counter. To assess protein binding, plasma samples were diluted with acetonitrile and centrifuged at 4000 g. Pellets of proteins and supernatants were separated and their

4. Investigación / Research

radioactivity measured in a well counter. RadioTLC analysis of plasma were performed for the same purpose in silica gel 60 and mobile phase of acetonitrile/water (95/5). 20 μ L of each supernatant was analysed by HPLC-RP using a C-18 column and acetonitrile/water (75/25) as mobile phase to identify plasma metabolites. Pharmacokinetic parameters (AUC, T1/2, Cmax, Cl, Vss) were calculated using noncompartmental analysis (NCA). Dynamic PET/CT images of healthy and transgenic APPSwe/PS1dE9 mice were acquired for 2.5 h after i.v. administration. Immunohistochemistry of control and transgenic mice brains were performed to identify β -amyloid plaques.

[¹⁸F]Amylovis[®] crossed blood brain barrier. PET/CT images (Figure 4.24) showed significant differences between healthy and transgenic mice. Postmortem studies of immunohistochemistry showed also differences in healthy vs transgenic mice (amyloid positive). Plasma half-life, $T_{1/2}$, was 37 min. No significant protein binding was observed. Renal and hepatic pathways were the main excretion routes. Some amount of in vivo radioactive metabolites appeared in blood at 1 h post-administration.

[¹⁸F]Amylovis[®] may be a promising PET radiotracer for amyloid plaques visualization.

4.3.2 Imagen Molecular / Molecular Imaging

(Amylovis-¹⁸F) como potencial agente de la imagen PET de enfermedad de Alzheimer (EA). Estudios preclínicos. Como seguimiento de la síntesis y marcaje de (Amylovis-¹⁸F) se ha llevado a cabo un estudio preclínico de este radiofármaco realizado en colaboración con personal de CENTIS y CNEURO de Cuba. A tres ratones transgénicos APPSwe/ PS1dE9 con placas amiloideas y tres ratones tipo salvaje C57 control se inyectan el radiotrazador para estudios PET/CT.

Ratones de control fueron probados en la adquisición de PET estático y modelo de EA de adquisición dinámica. Para adquisición estática los animales de control primero fueron anestesiados e inyectada directamente desde la jeringa cargada de Amylovis 30 MBq en la vena de la cola. El radiofármaco llegó en solución de etanol y fue diluido 1:1 en solución salina. La exploración del cuerpo entero por CT fue realizado en NanoCT (Bioscan) 45 kVp, proyecciones de 240, 500 ms de exposición. Las imágenes fueron reconstruidas en un típico método FBP en tamaño de píxel de uniforme 0,2 mm. A 20 min de Amylovis incorporación cuerpo entero microPET 10min exploración fue tomada en la cama caliente en mosaico (Philips). Los sinogramas fueron reconstruidas en 3DRAMLA con decaimiento, dispersión y randoms corrección. No se aplicó ninguna corrección de atenuación. Actividad se expresó en SUV. Las imágenes tenían uniforme tamaño de pixel de 1 mm. Al final de la exploración se tomaron muestras de sangre de 5 μ l de concentración de actividad en sangre. Inmediatamente después los anestesiada animales fueron sacrificados y sus cerebros quitados para autoradiografía.

Para análisis dinámicos, el animal fue anestesiado y fue montado en un catéter en la vena de la cola. El animal fue colocado en una cama calientada y al principio de la exploración inyectado con Amylovis de 37 MBq a 137 MBq de actividad. 12 ventanas

4. Investigación / Research

de duración variable de 2 a 10 minutos sumaron en 54 min de estudio microPET total. Las imágenes fueron reconstruidas como dinámica, de la misma manera que los estáticos. Al final del estudio microPET una exploración del CT fue tomada de los mismo parámetros y tipo de reconstrucción como en un estudio estático.

La imagen de cuerpo entero microPET fue fusionada con el CT y almacenada en módulo PFUS de PMOD 3.7. Entonces una parte de cráneo de imagen de CT fue fusionada con plantilla predefinida T2 de cerebro de ratón en PMOD. La transformación fue almacenada y aplicada a imagen microPET dando por resultado la imagen CT y microPET fusionada a una plantilla. La plantilla está conectada con el atlas de Paxinos. A partir de ahí las estructuras del hipocampo (derecha e izquierda), corteza, Basal_Forebrain_Septum (Ganglios basales), cerebelo y tronco cerebral fueron utilizadas para el análisis. Actividad absoluta de SUV (concentración de la actividad en MBq/mL dividido por actividad inyectada en MBq y dividido por la masa del animal en gramos), SUV con respecto a cerebelo (SUVr) y SUV en relación con el bulbo raquideo (SUVr) se trazan como curvas de actividad tiempo (TAC) para estudios dinámicos. Las mismas regiones fueron utilizadas para adquisiciones estáticas. Para comparar SUV y SUVr el valor medio de octava y novena ventana de tiempo fue utilizado para el modelo de anuncio y comparado a los respectivos valores SUV en estudios estáticos para los animales de control.

Datos de PET de cuerpo entero fueron analizados para su incorporación en corazón, riñón hígado, izquierdo y derecho, sitio de la inyección cerca de la aguja, cola entera (para verificar la calidad de la inyección), de la médula espinal. Los TAC para el corazón fueron utilizados como función de entrada derivada de la imagen para el análisis cinético.

El uso de puente troncoencefálico (parte de tronco cerebral) en lugar del cerebelo como una región de referencia para SUVr cálculo se utilizó según la literatura publicada donde fue utilizado en el análisis del sujeto humano. La principal preocupación fue el tamaño pequeño de la región en ratones. Aquí hemos usado el tronco cerebral, que contiene puente troncoencefálico, pero es una región más grande. La región produjo visible, significante, diferencia en SUVr análisis para n = 5 animales (controles vs modelo).

(Amylovis-¹⁸F) as a potential agent of the PET image of Alzheimer's disease. Pre-clinical studies. As follow-up of the synthesis and marking of (Amylovis-¹⁸F) has led to a preclinical study of this radiopharmaceutical done in collaboration with personnel of CENTIS and CNEURO from Cuba. To three mice transgenic APPSwe / PS1dE9 with plaques amyloid and three mice type wild C57 control will inject the radiotracer for studies PET / CT.

Control mice were tested in static PET acquisition and AD model in dynamic acquisition. For static acquisition the control animals were first anesthetized and injected directly from the Amylovis-loaded 30 MBq syringe into the tail vein. The radiotracer arrived

4. Investigación / Research

from radiopharmacy in ethanol solution and was diluted 1:1 in saline. Whole body CT scan was performed in NanoCT (Bioscan) at 45 kVp, 240 projections, 500 ms of exposition. The images were reconstructed in a typical FBP method at uniform 0.2 mm pixel size. At 20 min of Amylovis incorporation whole body microPET 10min scan was taken in warmed bed in Mosaic (Philips). The sinograms were reconstructed in 3DRAMLA with decay, scatter and randoms correction. No attenuation correction was applied. Activity was expressed in SUV. The images had uniform 1 mm pixel size. At the end of the scan 5 μ L blood samples were taken for blood activity concentration. Immediately after the anaesthetised animals were sacrificed and their brains removed for autoradiography.



Figura 4.25: Comparación SUVr al bulbo raquídeo (Brain Stem) en partes de cerebro entre ratones C57BL/6 controles (n = 5) y enfermos Modelo EA APPswe/PS1dE9 (n = 5).
* p < 0,05 / Comparison SUVr to the (Brain Stem) in parts of brain between mice C57BL / 6 controls (n = 5) and disease model AD APPswe / PS1dE9 (n = 5) * p < 0.05

For dynamic scans, the animal was anesthetized and a catheter was mounted in the tail vein. The animal was placed in a warmed bed and at the beginning of the scan injected with Amylovis 37 MBq to 137 MBq of activity. 12 frames of variable duration from 2 to 10 min was taken summing in 54 min of total microPET study. The images were reconstructed as dynamic in the same manner as for static ones. At the end of microPET study a CT scan was taken of the same parameters and type of reconstruction as in a static study.

The whole body microPET image was fused with the CT one and stored in PFUS module of PMOD 3.7. Then a skull part of CT image was fused with predefined T2 weighted mouse brain template provided by PMOD. The transformation was stored and applied to microPET image resulting in CT and microPET image fused to a template. The

4. Investigación / Research

template is connected with the atlas of Paxinos. From there the structures of Hippocampus (right and left), Cortex, Basal_Forebrain_Septum (Ganglios basales), Cerebellum and Brain Stem (tronco cerebral) were used for analysis. Absolute SUV activity (concentration of activity in MBq/mL divided by injected activity in MBq and divided by animal's mass in grams), SUV relative to cerebellum (SUVr) and SUV relative to Brain Stem (SUVr) was plotted as Time Activity Curves (TAC) for dynamic studies. For static acquisitions same regions were used. To compare SUV and SUVr the average value of 8th and 9th time window was used for AD model and compared to respective SUV values in static studies for control animals.

The whole body PET data were analyzed for incorporation in heart, liver, left and right kidney, injection site close to the needle, whole tail (to check the quality of the injection), spinal cord. The TACs for the heart were used as image derived input function for kinetic analysis.

The use of pons rather than of cerebellum as a reference region for SUVr calculation was used according to published literature where it was used in human subject analysis. The principal concern was small size of the region in mice. Here we have used brain stem, which contains pons but is a larger region. The region yielded visible significant difference in SUVr analysis for n = 5 animals (controls vs. model).

Caracterización molecular de tumores productores de hormona de crecimiento en el modelo de rata de cáncer gástrico de la acromegalia. La acromegalia es un desorden resultando de la producción excesiva de hormona del crecimiento (GH) y el consecuente aumento del nivel de factor de crecimiento insulínico 1 (IGF-I), con más frecuencia causados por los adenomas pituitarios. Elevados niveles de GH y IGF resultan en amplia gama de morbilidad somática, cardiovascular, endocrino, metabólico y gastrointestinales. Implantación subcutánea de la línea de celulas de cáncer gástrico (CG) de secreción de GH en ratas provoca la formación de tumores. Las ratas con tumores de GC desarrollan características que se asemejan a acromegalia humana como gigantismo y visceromegalia. Sin embargo, tumores de GC permanecen pobremente caracterizados a nivel molecular. Presentamos la caracterización histológica y molecular de tumores GC utilizando inmunohistoguímica, biología molecular y técnicas de imagen. Tumores de GC muestran características histopatológicas y moleculares de GH-que producía los tumores humanos, incluyendo la producción de hormonas, arquitectura de la célula, activación de senescencia y alteraciones en la expresión de genes del ciclo celular. Además, las células de tumores de GC muestran sensibilidad a análogos de la somatostatina, medicamentos que se utilizan actualmente en el tratamiento de los adenomas productores de GH humanos así, validar el modelo de tumor de la GC como una herramienta aplicada para evaluar a agentes terapéuticos. La información obtenida contribuirá a maximizar la utilidad del modelo de rata de GC para la investigación y los estudios preclínicos en tumores secretando GH.

Memoria de Investigación 2015-2016 / Research Report 2015-2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

En la Figura 4.26 están imágenes representativas [¹⁸F] FDG-PET (transversal, sagital, lateral) de tumores establecidos de GC después de 7 (A), 14 (B) y 21 (C) días después de la inyección subcutánea de las células. También se muestra una sección longitudinal de la TC en los paneles de la parte inferior derecha. Puntas de flecha blancas marcan la localización del tumor. [¹⁸F] Absorción de FDG expresó como máxima absorción estándar valor (SUV) (D) y valor (E) de tumores GC establecidos medio de 7, 14 y 21



Figura 4.26: Estudio microPET/TAC de las ratas modelo de acormegalia. Publicado en Martín-Rodríguez, J.F., et al., Molecular Characterization of Growth Hormone-producing Tumors in the GC Rat Model of Acromegaly. Scientific Reports, 2015. 5: p. 16298, bajo licencia de Creative Commons, CC-BY.MicroPET/CT study of the rat model of acromegaly. Published in Martín-Rodríguez, J.F., et al., Molecular Characterization of Growth Hormone-producing Tumors in the GC Rat Model of Acromegaly. Scientific Reports, 2015. 5: p. 16298, under Creative Commons CC-BY license.

días después de la inyección subcutánea de las células. (F) volúmenes tumor derivan de datos SUV en tumor de GC. (G) imagen representativa [¹¹C] Met-PET [¹⁸F] (arriba) y FDG -PET (abajo), imágenes (transversal, sagital, lateral) de los tumores de GC 54 días después de la inyección subcutánea de las células. Asteriscos marcan las zonas actividad con metabólica reducida. (H) superior las а curvas de actividad gráfico tiempo de [¹¹C] Met-PET/CT: rojo - zona necrótica del tumor, área activa del azul del tumor, negro, muscular en la pierna contralateral. Gráfico de fondo. Curva de tiempo

de actividad de la zona activa y necrótica del tumor que muestra acumulación del

4. Investigación / Research

trazador en la primera unos 10 min, seguido por una fase de meseta (meseta valor: 559,7 kBq/cc; intervalo de confianza del 95% [479.4-640]). Los datos de la zona activa del tumor equipadas para un modelo de Asociación de fase (R2: 0,88; P < 0.05). (I) análisis cinético realizado por un modelo de compartimiento 2 parámetros, uno tejido estándar para los datos dinámicos de PET. K1 (transporte de plasma arterial al tejido); K2 (transporte de tejido a plasma arterial). Los valores de K1 son superiores en la parte activa de la parte activa del tumor y la necrótica y entre parte activa y el músculo. (J) mismos datos para Vt, volumen de distribución total. * P < 0.05.

Molecular Characterization of Growth Hormone-producing Tumors in the Gastric Cancer Rat Model of Acromegaly. Acromegaly is a disorder resulting from excessive production of growth hormone (GH) and consequent increase of the level of insulin-like growth factor 1 (IGF-I), most frequently caused by pituitary adenomas. Elevated GH and IGF-I levels result in wide range of somatic, cardiovascular, endocrine, metabolic, and gastrointestinal morbidities. Subcutaneous implantation of the GH-secreting gastric cancer (GC) cell line in rats leads to the formation of tumors. GC tumor-bearing rats develop characteristics that resemble human acromegaly including gigantism and visceromegaly. However, GC tumors remain poorly characterized at a molecular level. We present histological and molecular characterization of GC tumors using immunohistochemistry, molecular biology and imaging techniques. GC tumors display histopathological and molecular features of human GH-producing tumors, including hormone production, cell architecture, senescence activation and alterations in cell cycle gene expression. Furthermore, GC tumors cells displayed sensitivity to somatostatin analogues, drugs that are currently used in the treatment of human GHproducing adenomas thus, validating the GC tumor model as a translational tool to evaluate therapeutic agents. The information obtained would help to maximize the usefulness of the GC rat model for research and preclinical studies in GH-secreting tumors.

In Figure 4.26, we show representative [¹⁸F]FDG images (transverse, sagittal, lateral) of established GC tumors after 7 (A), 14 (B) and 21 (C) days after subcutaneous injection of the cells. A longitudinal CT section is also shown in right bottom panels. White arrowheads mark the localization of the tumor. [¹⁸F]FDG uptake expressed as maximum standard uptake value (SUV) (D) and mean value (E) of established GC tumors after 7, 14 and 21 days after subcutaneous injection of the cells. (F) Tumor volumes derived from SUV data in GC tumor. (G) Representative [11C]Met-PET (top) and [18F]FDG -PET (bottom) images (transverse, sagittal, lateral) of GC tumors 54 days after subcutaneous injection of the cells. Asterisks mark areas with reduced metabolic activity. (H) Top graph- Time activity curves of [¹¹C]Met-PET/CT: red- necrotic zone of the tumor, blue-active area of the tumor, black—muscle in contralateral hind leg. Bottom graph. Time-activity curve of the active and necrotic zone of the tumor showing tracer accumulation over the first approximately 10 min, followed by a plateau phase (plateau value: 559.7 kBq/cc; 95% confidence interval [479.4–640]). The data of the active area of the tumor fitted to a one phase association model (R2: 0.88; P < 0.05). (I) Kinetic analysis performed by fitting a standard 2-parameter, one-tissue compartment
4. Investigación / Research

model to the dynamic PET data. k1 (transport from arterial plasma to tissue); k2 (transport from tissue to arterial plasma). K1 values are higher in the active part of the tumor active part and the necrotic and between active part and the muscle. (J) Same data for Vt, total distribution volume. *P < 0.05.

Aplicación de protocolos de EARL (ResEARch 4 Life[®]) para estudios de [¹⁸F] FDG-PET/CT e investigación. Una hoja de ruta hacia el coeficiente de recuperación exacto. Valor de captación del tumor resulta crítica en [¹⁸F]FDG-PET/CT exploraciones cuantitativas ([¹⁸F]fluorodeoxygulucose) como la prescripción de la dosis de radioterapia. La cuantificación es altamente dependiente sobre el protocolo de adquisición y reconstrucción de la imagen, especialmente en tumores de baja actividad. Durante el ajuste de protocolos de adquisición y reconstrucción disponibles en nuestro escáner de Siemens Biograph mCT para EARL requisitos de acreditación (ResEARch 4 Life[®]) [¹⁸F]FDG-PET/CT, hemos desarrollado un protocolo de reconstrucción capaz de reducir inter-/ variabilidad intra-Instituto valor de captación estándar (SUV) resultados, o para maximizar el coeficiente de recuperación (RC) para maniquí NEMA-2007 de calidad de imagen que se utilizará en PET basados en planificación de radioterapia.

Utilizamos Siemens Biograph mCT scanner clínica de PET/CT con software de adquisición de Syngo V51C. El escáner y el software aparte de correcciones típicas permite corrección por tiempo de vuelo (TOF), reconstrucción OSEM iterativa y aplicación de la función extensión punto (PSF). El maniquí NEMA-2007 de calidad de imagen fue utilizado con seis esferas de diferentes tamaños, inmersas en una solución de 1/10 actividad de las esferas. Tumores primarios y secundarios de cuatro pacientes fueron evaluados por cuatro evaluadores independientes. Para todos los protocolos desarrollados se evaluaron las diferencias en la media y máxima SUV de pequeño diámetro y baja tasa metabólica tumores en varios casos clínicos. Además, se evaluaron las diferencias en otros parámetros de tumor derivados del volumen de interés (VOI) y delineación del ROI como dimensiones y volumen. Se toma especial atención en la evaluación de la malignidad de los tumores.

El protocolo cumpliendo con requisitos de EARL fue desarrollado y también el protocolo de investigación optimización de RC para SUV medio y SUV máximo como cercano a 1 como sea posible para ambos SUV tipos simultáneamente y maniquí NEMA-2007 esferas de 17 mm de diámetro y mayores.

El método para la evaluación precisa del SUV en estudios clínicos fue desarrollada para un escáner clínico. Se presentó la influencia de los protocolos de reconstrucción en evaluación clínica de tumor. Hemos propuesto la ruta de desarrollo para protocolos EARL acreditados que pueden ser desarrollados en las clases para aprovechar posibilidades de escáner.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research





Figura 4.27 Resultados de cumplimiento EARL para dos protocolos de reconstrucción de la mascota. a) Una imagen de CT (en escala de grises) NEMA 2007 de calidad de imagen fantasma y PET (escala de color frío). Ven tres vistas del plano y MIP (máxima intensidad de proyección). b) RC resultados para SUVave para el Conde aprobado protocolo y Protocolo de investigación. c) RC resultados para SUVmax para EARL aprobado protocolo y Protocolo de investigación / EARL compliance results for two PET reconstruction protocols. a) PET (cold colour scale) and CT (grayscale) image of NEMA 2007 image quality phantom. Three plane view and MIP (Maximum Intensity Projection) view. b) RC results for SUV_{ave} for EARL approved protocol and for Research protocol. c) RC results for SUV_{max} for EARL approved protocol and for Research protocol.

4. Investigación / Research

Application of EARL (ResEARch 4 Life[®]) protocols for [¹⁸F]FDG-PET/CT clinical and research studies. A roadmap towards exact recovery coefficient. Tumour uptake value is a critical result in [¹⁸F]FDG-PET/CT ([¹⁸F]fluorodeoxygulucose) quantitative scans such as the dose prescription for radiotherapy. The quantification is highly dependent on the protocol of acquisition and reconstruction of the image, especially in low activity tumours. During adjusting acquisition and reconstruction protocols available in our Siemens Biograph mCT scanner for EARL (ResEARch 4 Life[®]) [¹⁸F]FDG-PET/CT accreditation requirements, we developed a reconstruction protocol able to reduce inter-/intra-institute variability in Standard Uptake Value (SUV) results, or to maximise Recovery Coefficient (RC) for Image Quality NEMA 2007 phantom which will be used in PET based radiotherapy planning.

We used Siemens Biograph mCT PET/CT clinical scanner with Syngo V51C acquisition software. The scanner and software apart from typical corrections allows Time of Flight (TOF) correction, iterative OSEM reconstruction and application of Point Spread Function (PSF). Image Quality NEMA 2007 phantom was used with six different size spheres immersed in a solution of 1/10 activity of the spheres. Primary and secondary tumours from four patients were assessed by four independent evaluators. For all developed protocols we assessed the differences in mean and maximum SUV for small diameter and low metabolic rate tumours in several clinical cases. Additionally, we evaluated the differences in other tumour parameters derived from Volume of Interest (VOI) and ROI delineation like dimensions and volume. Special attention was taken in evaluation of malignancy of the tumours.

The protocol fulfilling EARL requirements was developed and also the research protocol optimizing RC for mean SUV and maximum SUV being as close to 1 as possible for both SUV types simultaneously and for NEMA 2007 phantom spheres of 17 mm diameter and larger.

Method for precise assessment of SUV in clinical trials and research was developed for a clinical scanner. The influence of reconstruction protocols on tumour clinical assessment was presented. We proposed the development route for EARL accredited protocols that they may be developed in classes to take advantage of scanner possibilities.

Estudio preliminar de la imagen funcional PET/CT para la planificación basada en *Dose Painting* de tratamientos radioterápicos. El objetivo de este estudio fue establecer un protocolo de actuación para realizar la adquisición de imágenes PET/CT para planificación radioterápica con ¹⁸F-FDG y ¹⁸F-FMISO. Se pretendió seguir el mismo procedimiento que se llevaría a cabo con un paciente real, con objeto de establecer en detalle las actuaciones, personal y materiales necesarios para aplicaciones clínicas posteriores dentro del mismo proyecto. El protocolo quedó establecido a partir de la experiencia sobre un maniquí antropomórfico de cabeza y cuello, en el que se simularon distintas localizaciones de tumores con diferente captación de ¹⁸F-FDG.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

Se evaluaron las posibilidades de la instalación para la localización con sistema láser, así como las características de la mesa para soportar los sistemas de inmovilización basados en mascarilla termoplástica. El estudio resultó positivo, a expensas de una sencilla adaptación del marco inmovilizador del Servicio de Radioterapia del Hospital Virgen Macarena de Sevilla, para su fijación en la mesa del PET/CT. Con este protocolo se abre la posibilidad de la implementación clínica de la planificación radioterápica basada exclusivamente en las imágenes de PET/CT adquiridas en el equipo instalado en el CNA.



Figura 4.28: Derecha: Maniquí antropomórfico colocado sobre el sistema de posicionamiento de radioterapia. Izquierda: Imágenes ¹⁸F-FDG PET/CT del maniquí, con un Criovial de 1,8 mL (57 kBq/mL) y Eppendorf de 0.3 mL con actividad (83 kBq/mL) / Right: Anthropomorphic phantom placed on radiotherapy positioning system. Left: Images ¹⁸F-FDG PET/CT of the phantom, with a Criovial of 1.8 mL (57 kBq/mL) and Eppendorf 0.3 mL with activity (83 kBq/mL)

<u>Preliminary study of the functional image PET / CT for planning based on Dose Painting</u> of radiotherapy treatments. The objective of this study was to establish an experimental protocol to perform the acquisition of images PET/CT for radiotherapy planning with ¹⁸F-FDG and ¹⁸F-FMISO. It is intended to follow the same procedure that would be carried out with a patient, in order to establish in detail, the activities, staff, and materials needed. The protocol was established from the experience on an anthropomorphic phantom of head and neck, in which there were simulated different locations of tumours with different uptake of ¹⁸F-FDG.

The possibilities of the facility for the location with laser system, as well as the characteristics of the table to support the immobilization systems based on thermoplastic mask, were evaluated. The study was positive, at the expense of a simple adaptation of the immobilizing system of the Radiotherapy Service of the Virgen Macarena Hospital of Seville, for its fixation in the PET / CT table. This protocol opens the possibility of the clinical implementation of radiotherapy planning based exclusively on the PET / CT images acquired in the equipment installed in the CNA.

Evaluación de la concentración de crioprotector dentro de un órgano voluminoso de criopreservación usando tomografía computada de Rayos-X. En octubre de 2016, se ha

4. Investigación / Research

concedido la patente con número ES2529265. La crioprotección de órganos voluminosos es crucial para su almacenamiento y posterior trasplante. En este trabajo demostramos la capacidad de la radiografía computarizada de tomografía (CT) como un método no invasivo para medir la concentración de (cpa) crioprotector dentro de un tejido u órgano, específicamente para el caso de dymethil sulfóxido (Me₂SO). Es notable que el uso de Me₂SO ha sido líder en técnicas de criopreservación de células y tejidos. Aunque tecnologías CT están basadas principalmente en diferencias de densidad, y muchos contadores públicos son alcoholes con densidad similar al agua, el uso de energías de muy baja tensión de aceleración (aproximadamente 70 kV) y el átomo de azufre en la molécula de Me₂SO hace posible la visualización de esta cpa dentro de los tejidos. Como resultado obtenemos una señal CT proporcional a la concentración de Me₂SO con una resolución espacial hasta 50 madre en el caso de nuestro dispositivo. El estudio se realizó en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. El estudio fue publicado en Cryobiology.

Assessment of the concentration of cryoprotectant within an organ voluminous of cryopreservation using tomography computed of X-Ray. In October 2016 a Spanish patent number ES2529265 has been granted. Cryoprotection of bulky organs is crucial for their storage and for subsequent transplantation. In this work we demonstrate the capability of the X-ray computed tomography (CT) as a non-invasive method to measure the cryoprotectant (cpa) concentration inside a tissue or an organ, specifically for the case of dimethyl sulfoxide (Me₂SO). It is remarkable that the use of Me₂SO has been leader in techniques of cells and tissues cryopreservation. Although CT technologies are mainly based in density differences, and many cpas are alcohols with densities similar to water, the use of very low energies as acceleration voltage (approximately 70 kV) and the sulphur atom in the molecule of Me2SO makes possible the visualization of this cpa inside tissues. As result we obtain a CT signal proportional to the Me₂SO concentration with a spatial resolution up to 50 mum in the case of our device. The study was done in collaboration with Escuela Técnica Superior de Ingeniería of Seville University. The study was published in Cryobiology.

<u>Vitrificación de muestras de tejido ovárico humano mediante el sistema de enfriamiento lento.</u> Criopreservación de tejido ovárico de mujeres tratadas por cáncer es en la mayoría de los casos la única manera de preservar su fertilidad. La tasa de supervivencia de la población del folículo está todavía alrededor de un pequeño porcentaje de casos exitosos, en su mayoría congelados por enfriamiento lento. Tomografía Computarizada (TAC) se ha aplicado a la monitorización de la concentración de crioprotector (cpa) y formación de hielo dentro de las muestras de tejido ovárico. El átomo del azufre de dimetil sulfóxido (Me₂SO) hace que la atenuación de rayos X proporcional a la concentración en este particular cpa.

Muestras de tejido ovárico humano y animal de un tamaño medio de 5x5 x1 mm³ han sido criopreservadas con protocolos convencionales congelación lentos y analizados con el CT a temperaturas inferiores a -140°C y a temperatura ambiente después de

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

calentar de nuevo y lavado. Los resultados revelan cómo las muestras de tejido concentraron para arriba al 80% v/v Me₂SO pero en forma no homogénea. Además, se observó formación de hielo en algunas partes de los tejidos.

La tecnología TAC es una herramienta muy útil que puede utilizarse para evaluar la concentración final de la cpa y la formación de hielo en una muestra criopreservada, permitiendo afinar los parámetros necesarios para lograr una criopreservación de tejido ovárico con una mayor tasa de supervivencia.

El estudio se realizó en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.



Figura 4.29: Imagen TAC de tejido ovárico humano criopreservado en -140 °C en 10% y 20% DMSO / CT image of ovarian tissue human cryopreserved at - 140 °C in 10% to 20% DMSO

Application of Computed Tomography to ovarian tissue cryopreservation by slow freezing. Ovarian tissue cryopreservation for women treated for cancer is in most cases the only way to preserve their fertility. The survival rate of the follicle population is still around a few percent in successful cases, mostly cryopreserved by slow freezing. Computed Tomography (CT) has been applied to monitor cryoprotectant (cpa) concentration and ice formation inside ovarian tissue samples. The sulfur atom of the dimethyl sulfoxide (Me₂SO) makes the X-ray attenuation proportional to concentration in this particular cpa.

Human and animal ovarian tissue samples of an average size of $5x5x1 \text{ mm}^3$ have been cryopreserved with slow freezing conventional protocols [1] and analyzed with the CT at temperatures below -140° C, and at room temperature after rewarming and washing. Results show how tissue samples concentrated up to $80\% \text{ v/v} \text{ Me}_2\text{SO}$ but in a non-homogeneous way. Moreover, ice formation was observed in some parts of the tissues.

4. Investigación / Research

CT technology is a very useful tool that can be used to assess the final cpa concentration and the ice formation in a cryopreserved sample, allowing to tune the necessary parameters to achieve an ovarian tissue cryopreservation with a higher rate of survival.

The study is performed in collaboration with the Escuela Técnica Superior de Ingeniería of Universidad de Sevilla.

Vitrificación de muestras de tejido ovárico bovino mediante el sistema de vitrificación por equilibrio. Criopreservación de tejido ovárico es, en la mayoría de los casos, la única opción de preservación de fertilidad para pacientes femeninas con cáncer. Las principales ventajas sobre otras alternativas son que pueden realizarse en cualquier momento del ciclo menstrual, en los pacientes pre-pubescentes o en casos de tumores sensibles a las hormonas, que requiere cirugía mínimamente invasiva. A pesar de que el número de casos de éxito es muy limitado, descongelación y el trasplante del tejido criopreservado pueden restablecer la función ovárica y la capacidad de lograr un embarazo. Entre los actuales procedimientos de criopreservación de tejido ovárico, vitrificación consiste en un método más rápido y asequible, sin embargo, se limita a pequeños fragmentos de tejidos y requiere mayor concentración de crioprotector (cpa). Se necesita más investigación en protocolos de vitrificación. Casos hasta ahora más exitosos de la criopreservación de tejido ovárico han sido alcanzados por el procedimiento tradicional de congelación lento.

Tomografía computarizada de Rayos-X ha demostrado para ser una excelente herramienta para evaluar la criopreservación de tejido. En un trabajo anterior que se describe en la sección antepuesta se analizaron tejido ovárico criopreservado por congelación lenta con esta tecnología. Aunque los resultados mostraron un equilibrado buen tejido global, las imágenes demostraron que la carga de cpa fue no homogénea y algunos cristales de hielo se han formado en regiones con menor concentración de cpa.

Como alternativa, hemos estudiado un método de vitrificación por enfriamiento lento que permite vitrificado muestras más grandes, evitando la formación de hielo extracelular y los niveles altos de toxicidad. El procedimiento consiste en el aumento de la concentración de cpa mientras disminuye la temperatura en pasos. Tejido ovárico bovino fue cortado en rodajas de 5x5 mm² y 1 mm de espesor. El tejido fue cargado con el aumento de las concentraciones Me₂SO (hasta 50% v/v) en la disminución de las temperaturas en un dispositivo de enfriamiento consistió en un baño de metanol con rampas programadas hasta -40°C. Después de eso, se enfría a-150°C en vapores de nitrógeno líquido y almacenadas a -196°C. Se estudiaron diferentes protocolos variando el tiempo de carga para cada concentración. Los tejidos bien equilibrados en Me₂SO realizó un estudio de inmunotinción para evaluar la viabilidad de los tejidos. Protocolos de Caspasa 3 y Ki-67 fueron utilizados para observar apoptosis y proliferación celular. Tejidos criopreservados de uno de los protocolos logra resultados

4. Investigación / Research

similares a los frescos, lo que significa que el proceso de enfriamiento no causó daños adicionales. De esta manera la tecnología CT permite el desarrollo de nuevos protocolos alternativos de criopreservación de tejido ovárico exitosa.

El estudio se realizó en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.



Figura 4.30 Imagen TAC de tejido ovárico bovino criopreservado en -140°C en 50% DMSO. Izquierda: Tejido equilibrado con el crioprotector. Derecha: Tejido no equilibrado con el crioprotector / CT image of bovine ovary tissue cryopreserved at -140°C in 50% DMSO. Left: Tissue equilibrated with the cryoprotectant. Right: Tissue not equilibrated with the cryoprotectant

<u>Vitrification of bovine ovarian tissue samples using the equilibrium vitrification system.</u> Cryopreservation of ovarian tissue is, in most cases, the only fertility preservation option for cancer female patients. The main advantages over other alternatives are that it can be performed at any time in the menstrual cycle, in pre-pubescent patients, or in cases of hormone-sensitive tumors, requiring minimally invasive surgery. Even though the number of successful cases is very limited, thawing and transplantation of the cryopreserved tissue can restore the ovarian function and the ability of achieving a pregnancy. Among the current cryopreservation procedures for ovarian tissue, vitrification involves a faster and affordable method, however it is limited to small fragments of tissues and requires higher cryoprotectant (cpa) concentration. Further research in vitrification protocols is still necessary. So far most successful cases of ovarian tissue cryopreservation have been achieved by the traditional slow freezing procedure.

X-Ray Computed Tomography has been proved to be an excellent tool to assess tissue cryopreservation. In a previous work described in the section above we analyzed ovarian tissue cryopreserved by slow freezing with this technology. Even though results showed a good global tissue equilibration, images showed that the cpa loading was

4. Investigación / Research

non-homogenous and some ice crystals have formed in regions with lower cpa concentration.

As an alternative, we have studied a vitrification method by slow cooling that allows vitrifying larger samples avoiding the formation of extracellular ice and high levels of toxicity. The procedure consists in increasing the cpa concentration while lowering the temperature in steps. Bovine ovarian tissue was cut in slices of $5x5 \text{ mm}^2$ and 1 mm thickness. The tissue was loaded with increasing Me₂SO concentrations (up to 50% v/v) at decreasing temperatures in a cooling device consisted of a methanol bath with programmed ramps until -40° C. After that, samples were cooled to -150° C in vapors of liquid nitrogen and stored at -196° C. Different protocols were studied by varying the loading time for each concentration. Tissues were then analyzed in a NanoCT device at low voltage (75 kV). For tissues well equilibrated in Me₂SO we performed an immunostaining study in order to assess tissues viability. Caspase 3 and Ki-67 protocols were used to observe apoptosis and cellular proliferation. Cryopreserved tissues of one of the protocols achieved similar results to the fresh ones, meaning that the cooling process did not cause extra damages. In this way CT technology allows developing new alternative protocols of successful ovarian tissue cryopreservation.

The study is performed in collaboration with the Escuela Técnica Superior de Ingeniería of Universidad de Sevilla.

<u>Visualización de la formación de fracturas durante el proceso de criopreservación.</u> Hoy en día, al igual que los bancos de tejidos y los bancos de sangre, se están tratando de sacar adelante los bancos de órganos. Una de las vías para conseguir esta ambiciosa meta es la vitrificación de los órganos a temperaturas criogénicas, las cuales se encuentran a -195,79°C. Sin embargo, este proceso conlleva una gran cantidad de problemas que se están tratando de solucionar actualmente. Desde la intoxicación, la isquemia y la muerte celular por efectos químicos hasta la fractura y deterioro por fenómenos físicos.

Este proyecto se centró en la reducción de las fracturas de la solución criopreservadora 7,05 M Me₂SO, en el proceso de enfriamiento hasta temperaturas criogénicas. La disminución de éstas se conseguró a través de la relajación de tensiones producidas en la solución. Después se procedió a la obtención de las imágenes por medio de la tomografía axial computarizada, la cual nos permite ver las grietas del material en su interior. Mediante un sistema de refrigeración se mantendrán las muestras a temperaturas inferiores a -140°C mientras se obtienen las imágenes. Una vez obtenidas se analizó a través de un programa y se cuantificarán las fracturas a través de él. Después de analizar con detalle todas las muestras se hace evidente que las macrofracturas se pueden paliar con protocolos térmicos como el annealing o very low coolin rate. Sin embargo, las microfracturas se presentan en todas las muestras con un patrón similar, sin importar el protocolo realizado.

4. Investigación / Research

Tanto el annealing como el very low cooling rate relajan las tensiones térmicas y reducen la cantidad de macrofracturas, aunque esto ocurre con mayor frecuencia en el very low cooling rate, donde se ha conseguido una zona limpia lo suficientemente grande como para vitrificar un riñón de conejo. Esta diferencia entre los dos procesos se debe en mayor medida a la manipulación más acusada en el annealing, ya que se han estado pasando las muestras de la cántara a la nevera y viceversa, proceso que compromete los experimentos.

En los procesos en los que se ha usado una orientación horizontal, el gradiente térmico ha sido menor a 15 grados mientras que los que mantenían una orientación vertical han llegado a tener gradientes de más de 60 grados. Se han tenido menores promedios de macrofracturas en las horizontales, pero éstas han estado más dispersas por las muestras. Además, las contracciones térmicas se dan en lugares no deseados y una vez introducido un riñón en el vial podría provocar una burbuja junto a éste y la pared del recipiente, por lo que los protocolos solo deben realizarse en vertical. Esta posición evita problemas de cambio de inclinación, que sí sucede en la horizontal, y puede provocar un desplazamiento de la solución vitrificante que aumente el nivel de tensión en ella y sea más propensa a la fractura.

El escudo térmico ha proporcionado unos enfriamientos más uniformes que disminuyen la posibilidad de fractura, y su colocación debe producirse al comienzo del protocolo para evitar posibles esfuerzos mecánicos en rangos de temperatura comprometidos (-110 a -135°C) o choques térmicos durante la vitrificación o tras ella. El almacenamiento en fase líquida o gas no ha tenido grandes diferencias siempre y cuando se llevara en fase gas hasta -196°C y después se introdujera en el LN. Sin embargo, las muestras que se almacenaban con el escudo térmico siempre fueron en fase gas, ya que no podían sumergirse en el LN por la flotabilidad del escudo.

El entorno creado por la cántara es más homogéneo que en la nevera, pues en esta última las muestras tienen gradientes mayores de temperatura entre la zona más cercana a la abertura superior y la pegada a la rejilla. En el slow freezing se ha mantenido una orientación vertical y en el interior de la cántara las muestras han sufrido un enfriamiento digno de analizar. En el registro de temperatura aportado por los termopares se ha visto un comportamiento diferente al resto, ya que la temperatura de la muestra al comienzo del protocolo es más baja en la zona inferior, después en la zona media, siendo la más caliente la superior. No obstante, a medida que vamos enfriando, este comportamiento cambia y la zona superior comienza a enfriarse más rápido que la media y se iguala a la zona inferior al llegar a -135°C, momento en el cual el sólido viscoso pasa a sólido. La zona media es la última en pasar a sólido, ya que el fluido tiene menos contacto con el exterior (solo las paredes del contenedor), mientras que la parte superior e inferior tienen el tapón y la base del vial respectivamente junto con las paredes en contacto con el frío.

Por lo tanto, el very low cooling rate con escudo térmico en posición vertical ha proporcionado los mejores resultados con una zona limpia de macrofracturas útil para

4. Investigación / Research

la vitrificación de un órgano. Las microfracturas no se han podido evitar y se presentan en todas las muestras, sea cual sea el protocolo.

El estudio se realizó en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Fue el Trabajo de Fin de Carrera de Pablo Acosta Merino.



Figura 4.31: Izquierda: Inmersión directa del maniquí del órgano (vial con 55% DMSO) en nitrógeno líquido. Se observa múltiples fracturas. Derecha: Muy baja velocidad de enfriamiento (0,8-1,6 K/min). Se observa falta de fracturas / Left: Direct immersion of the body mannequin) (vial with 55% DMSO) nitrogen liquid. It can be observed multiple fractures. Right: Very low speed of cooling)(0.8-1.6 K/min). It shows lack of fractures

<u>Visualization of the formation of fractures during the process of cryopreservation.</u> Today, like banks of tissue and blood banks, public is trying to push forward the banks of organs. One of the ways to achieve this ambitious goal is vitrification of the organs at cryogenic temperatures, which are at -195.79°C. However, this process involves a great amount of problems that were being solved currently. Since the poisoning, the ischemia and the death cell by chemical effects until fractures and deterioration by physical phenomena.

This project focused in the reduction of fractures of the cryopreserving solution of 7.05 M Me₂SO, in the process of cooling to temperatures cryogenic. The decline of these was achieved through the relaxation of tensions in the solution. Then is proced to the obtaining of the images by means of the axial tomography (CT), which us allows see them cracks of the material in its interior. Using a cooling system keep samples at temperatures lower than - 140 ° C while the images are obtained. A time obtained was tested through a program and fractures are quantified through it.

After analysing with detail all the samples it is evident that the macrofracturas can be alleviated with thermal protocols such as the annealing o very low cooling rate.

4. Investigación / Research

However, the microfractures occur in all the samples a similar pattern, regardless of the Protocol done.

Both the annealing as the very low cooling rate relax the thermal tensions and reduce the amount of macrofracturas, although this occurs with greater frequency in the very low cooling rate, where is has got a clean area it sufficiently large as to vitrify a kidney of rabbit. This difference between the two processes is must greater to the handling more accused in the annealing, since is have State passing them samples of the Chamber to the fridge and vice versa, process that engages them experiments.

In the processes in which we have used a horizontal orientation, the thermal gradient has been lower than 15 degrees while keeping an orientation vertical have arrived to have gradients of more than 60 degrees. We had lower averages of macrofracturas in the horizontal, but these have scattered more in the samples. Also, the thermal contractions are present in places not desired and at a time a kidney is introduced in the vial it could cause a bubble next to this and the wall of the container. Because of that protocols must be executed only in vertical position. This position avoids problems of change of inclination, which if happens in the horizontal, and can cause a shift of the vitrification solution that increases the level of tension in it and is more likely to fracture.

The heat shield has provided a few more uniform cooling that decrease the possibility of fracture, and placement should occur at the beginning of the Protocol to avoid possible mechanical stress on compromised temperature ranges (-110 to -135°C) or thermal shock during vitrification or behind it.

Storage in gas or liquid phase has not had major differences provided it was done in gas phase down to -196°C and was then introduced in the LN. However, samples that were stored with heat shield always were in gas phase, since they could not be submerged in LN by the buoyancy of the shield.

The environment created by the chamber is more consistent that in the fridge, as in the latter samples have major temperature gradients between the area closer to the top opening and the attached to the rack. In the slow freezing a vertical orientation has remained and inside the chamber samples have been worth analysing cooling. In the temperature record provided by thermocouples a behavior different from the rest, has been recorded, since the temperature of the sample at the beginning of the Protocol is lower at the bottom, then in the middle part, the top being the hottest. However, as we are cooling, this behaviour changes and the top part begins to cool off more quickly than the average and equal to the lower at -135°C, moment in which the viscous solid passes to solid. The middle zone is the latest in solidifying, fluid has less contact with the outside (only the walls of the container), while top and bottom have the cap and the base of the vial respectively along with the walls in contact with the cold.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

Therefore, the very low cooling rate with heat shield upright has provided the best results with a clean macrofracturas area useful for vitrification of a body. The microfractures could not be have been avoided and are presented in all samples, regardless of the Protocol.

The study was conducted in collaboration with the school technical top of engineering in the University of Seville. The work was Trabajo Fin de Carrera of Pablo Acosta Merino.

4. Investigación / Research

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

4.4.1 Medidas de actinidos / Actinides measurements

Optimización de la medida de actínidos con el sistema de AMS de 1 MV del CNA. Tras la implementación del stripper de He en febrero de 2015, ha sido necesaria una nueva puesta a punto del sistema para la óptima medida de actínidos por AMS. El estudio de la transmisión para el estado de carga 3+ a la salida del acelerador, reveló para el Uranio valores superiores en un factor 3 a los obtenidos con Ar (i.e. 38% con He frente a un 11% con Ar), mejorándose de forma significativa la eficiencia de recuento. Sin embargo, los niveles de fondo debido a procesos dispersivos demostraron ser superiores por dos razones: 1) la necesidad de usar presiones de He superiores a las de Ar en el proceso de stripping y, 2) la mayor presencia de gas residual en los tubos de aceleración, aumentándose el fondo asociado a masas cercanas por procesos dispersivos. En el caso del ²³⁶U, los niveles de fondo (i.e. relaciones isotópicas ²³⁶U/²³⁸U observadas en muestras blanco debido a esos procesos) resultaron ser un factor 3 superiores a los obtenidos con Ar (9x10⁻¹¹ en el caso del He y 3x10⁻¹¹ en el caso del Ar). La mejora en la eficiencia de recuento ha permitido trabajar con muestras de menor tamaño, fundamental para el desarrollo de aplicaciones en oceanografía, tal y como se detalla en el apartado siguiente. Los fondos ofrecidos por el sistema de AMS del CNA permiten afrontar la medida de un gran número de matrices ambientales.

<u>Optimization of the actinides measurements on the 1 MV CNA AMS system.</u> Since the implementation of He gas as stripper on the 1 MV CNA AMS system in February 2015, the new measurements parameters for actinides have been optimized. Transmission through the accelerator for the 3+ charged state has increased by a factor of 3 compared to the former Ar gas stripper (i.e. from 11% with Ar to 38% for He), improving significantly the counting efficiency. However, the background associated to neighboring masses due to scattering processes in the acceleration tubes, has got worse by a factor of 3, due to i) the higher working pressures with He gas and, ii) the presence of more residual gas in the acceleration tubes. The gain in the measurement efficiency has allowed us to work with smaller samples, which is especially relevant in the case of seawater samples, as it is explained in the next section. The current abundance sensitivity that can be achieved with the 1 MV AMS system (of about 9x10⁻¹¹ for the ²³⁶U/²³⁸U atom ratio) is still good enough to study the majority of the environmental samples.

Desarrollo de un método radioquímico para la medida de ²³⁶U, ²³⁷Np y ^{239,240}Pu por <u>AMS en agua de mar a partir de volúmenes inferiores a 10 l.</u> El ²³⁷Np ($T_{1/2} = 2.14 \times 10^6$ años) se encuentra en el medio ambiente fundamentalmente como resultado de las pruebas nucleares y los vertidos de las centrales de reprocesamiento de combustible nuclear. Este radionúclido tiene un gran potencial como trazador oceanográfico gracias a su comportamiento conservativo en los océanos y su largo periodo de

4. Investigación / Research

semidesintegración. Existen otros radionúclidos que pueden ser usados para este fin, fundamentalmente ¹³⁷Cs (T_{1/2} = 30.2 a), ¹²⁹I (T_{1/2} = 15.7x 0⁶ a) y, más recientemente, ²³⁶U (T_{1/2} = 23.4x10⁶ a). Sin embargo, el ²³⁷Np se ha estudiado poco debido a su complejo comportamiento químico y a la ausencia de un isótopo del mismo elemento que pueda usarse para controlar las pérdidas durante el procesado de las muestras en medidas rutinarias. Dentro del convenio de colaboración establecido entre el CNA y la IAEA, se ha desarrollado un método para la separación secuencial de Np, U y Pu a partir de una misma muestra de agua de mar con un volumen inferior a 10 l. Tales volúmenes son los recomendables en las campañas oceanográficas, en las que prima optimizar el número y el tamaño de las muestras recogidas. El método está basado en la separación conjunta de las fracciones de Pu y Np usando 242 Pu (sintético, T_{1/2} = 3,73x10⁵ a) como control. Tras la validación del mismo mediante el estudio de muestras de referencia usando técnicas de recuento de la actividad en las instalaciones de la IAEA en Mónaco, se tiene prevista su implementación en el CNA a lo largo del 2017 para la medida de ²³⁶U, ²³⁷Np y ^{239,240}Pu mediante AMS. Con ello, se hará posible el estudio de ²³⁷Np, además de los ya consolidados ²³⁶U y ^{239,240}Pu, en agua de mar en el CNA.

Development of a radiochemical method for the AMS determination of ²³⁶U, ²³⁷Np and 239,240 Pu in small volumen (below 10 l.) seawater samples. 237 Np ($T_{1/2}$ = 2.14x10⁶ y) is present in the environment mainly as a result of atmospheric weapon testing and discharges from nuclear fuel reprocessing facilities. The conservative behaviour of this radionuclide in the ocean and its long half-life suggests that ²³⁷Np has great potential as oceanic tracer. There are others radionuclides that have been studied for this purpose, mainly ¹³⁷Cs ($T_{1/2}$ = 30.2 y), ¹²⁹I ($T_{1/2}$ = 1.57x10⁷ y) and, more recently, ²³⁶U ($T_{1/2}$ = 2.34×10^7 y). However, ²³⁷Np has been hardly studied because of its complex chemical behaviour and the absence of a long-lived radionuclide of the same element that could be used to control the losses during the chemical procedure. In the frame of the existing collaboration between the CNA and the IAEA, it has been developed a radiochemical method to separate sequentially Np, U and Pu from the same seawater sample with volumes below 10 l, which are the optimum ones regarding sampling campaigns. The method is based on the use of ²⁴²Pu (synthetic, $T_{1/2} = 3.73 \times 10^5$ y) to control the chemical losses of both Np and Pu fractions. After its validation by radiometric counting techniques at the IAEA premises in Monaco, it will be implemented at the CNA during 2017 with the final aim of measuring 236 U, 237 Np and 239,240 Pu by AMS. That way, 237 Np will be added to the list of radionuclides of interest in oceanography that can be analysed at CNA.

<u>Medidas de ²³⁶U y de relaciones isotópicas ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu en el Atlántico Sur</u>. Dentro del convenio de colaboración que mantiene el CNA con la IAEA, se han realizado medidas de ²³⁶U en un conjunto de muestras de agua de mar procedentes de la costa de Namibia. El muestreo fue realizado por la IAEA en colaboración con el National Marine Information and Research Centre (NatMIRC), en Namibia, con el objetivo de establecer, por primera vez, una base de datos sobre la radiactividad ambiental en esta zona. Las muestras (150 l) fueron inicialmente procesadas por la IAEA para la medida

4. Investigación / Research

de ⁹⁰Sr (T_{1/2} = 29.78 a), ¹³⁷Cs (T_{1/2} = 30.07 a), ²⁴¹Am (T_{1/2} = 432.2 a) e isótopos del Pu (²³⁹⁺²⁴⁰Pu) mediante técnicas de recuento de la actividad. Para el análisis posterior del ²³⁶U por AMS en estas muestras, los residuos producidos durante su procesado fueron recuperados, tratados químicamente para la separación de la fracción de U, y analizados en el CNA. Tal y como se esperaba, estos resultados son más bajos que los registrados en el Hemisferio Norte, obteniéndose en agua superficial relaciones isotópicas ²³⁶U/²³⁸U inferiores a 10⁻⁹. Los inventarios obtenidos (ver Figura 4.32) indican que el fallout global es la principal fuente de ²³⁶U en esta región. Por otra parte, se ha determinado la relación isotópica ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu en las muestras preparadas en Mónaco para la determinación de ²³⁹⁺²⁴⁰Pu por espectrometría alfa, siguiendo un procedimiento similar al de ejercicios anteriores (i.e. digestión de planchetas). De nuevo, los valores obtenidos, del orden de 0.19, apuntan al fallout global como la principal fuente de radiactividad artificial en el Atlántico Sur Oriental.



Figura 4.32: Inventarios de ²³⁶U publicados en los océanos del mundo. El medido en este trabajo se encuadra en rojo / Reported ²³⁶U inventories in the world oceans. The one obtained in this work is presented in a red box

<u>Determination of ²³⁶U and ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios in the Southern Atlantic Ocean.</u> ²³⁶U has been analysed by AMS in a set of seawater samples from Namibia's coast. Sampling was done in the framework of the existing collaboration between the National Marine Information and Research Centre (NatMIRC), in Namibia, and the IAEA-NAEL. The aim of the project was to establish for the first time a baseline study of marine radioactivity and offshore trace elements levels in this area. Seawater samples (150 L) were collected for the determination of ($T_{1/2} = 29.78$ y), ¹³⁷Cs ($T_{1/2} = 30.07$ y), ²⁴¹Am ($T_{1/2} = 432.2$ y) and Pu isotopes (²³⁹⁺²⁴⁰Pu) and processed in the IAEA-NAEL. In order to determine ²³⁶U in those samples, the residues produced during the processing of the original 150 I aliquots, were recovered for this study, processed and measured by AMS at the CNA. As it was expected, these results are lower than the ones reported in

4. Investigación / Research

the North Hemisphere (i.e. ²³⁶U/²³⁸U atom ratios in surface seawater samples are below 10⁻⁹). The global fallout seems to be the main ²³⁶U source in this region. On the other hand, ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios were determined in the Pu alpha-spectrometry samples following a similar procedure as in previous studies (i.e. leaching of the planchets). The obtained ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios, of about 0.19 in every case, are also in agreement with global fallout. Therefore, it seems that there are no other sources of anthropogenic radioactivity than atmospheric weapon testing in the Eastern Southern Atlantic Ocean.

Medidas de ²³⁶U y ¹²⁹I en el Océano Pacífico. En el CNA se han determinado ²³⁶U y ¹²⁹I en una serie de muestras de agua de mar procedentes del denominado EPZT (del inglés East Pacific Zonal Transept), en el marco del proyecto Geotraces. Se trata de cuatro columnas de agua (100 muestras en total) tomadas en el 2013 entre Perú y Tahití (ver Figura 4.33). En el caso del ²³⁶U, el primer paso de preconcentración de actínidos de las matrices originales (4 l de agua de mar) se llevó a cabo en el Lamont Doherty Earth Observatory (Universidad de Columbia, USA), y las fases de separación cromatográfica del U y adaptación de las muestras para la determinación de ²³⁶U por AMS, en las instalaciones del CNA. Las muestras superficiales, por encima de los 400 m de profundidad, fueron analizadas con el sistema de AMS de 1 MV del CNA. Las restantes, para las que se esperaban cocientes isotópicos ²³⁶U/²³⁸U inferiores a la sensibilidad de la instalación de AMS (de 9x10⁻¹¹), fueron estudiadas con el sistema de 600 kV del Laboratorio de Haces del Iones del ETH de Zürich, Suiza. Los resultados obtenidos se presentan en la figura siguiente. En el caso del ¹²⁹I, el procesado y el análisis de las muestras se han llevado a cabo en las instalaciones del CNA. Ambos radionucleidos apuntan al fallout global como principal fuente de contaminación antropogénica en la Pacífico Ecuatorial. Los resultados obtenidos se usarán para aportar información adicional sobre la geoquímica de ambos trazadores oceanográficos y la evaluación de inventarios asociados a las pruebas nucleares atmosféricas. Con este trabajo, el CNA se consolida como centro colaborador del proyecto Geotraces, que aglutina a diversas instalaciones a nivel mundial alrededor del estudio de elementos traza y radionucleidos claves en procesos oceánicos y para los ecosistemas marinos.

Determination of ²³⁶U and ¹²⁹I in the Pacific Ocean.</sup> At the CNA, ²³⁶U and ¹²⁹I have been determined in a set of seawater samples from the so-called East Pacific Zonal Transept (EPZT), in the frame of the Geotraces project. Four seawater columns (100 samples) were sampled in 2013 between Peru and Tahiti (see figure). In the case of ²³⁶U, the first iron hydroxide coprecipitation from the original 4 I seawater samples was carried out at the Lamont Doherty Earth Observatory (University of Columbia, USA). The U purification and the AMS sample preparation were completed at the CNA. Surface samples (above 400 m depth) were measured on the 1 MV CNA AMS system. The rest of the samples, where the ²³⁶U/²³⁸U atom ratios were expected to be below the CNA abundance sensitivity (of about 9x10⁻¹¹) were measured at the 600 kV ETH facility in Zürich. The obtained ²³⁶U/²³⁸U atom ratios are presented in the Figure 4.33. ¹²⁹I samples were fully processed and measured at the CNA. The obtained results point out

4. Investigación / Research

to the global fallout as the main source of anthropogenic radioactivity in the studied area, and will be used to get further information about the inventories and the biogeochemistry of ²³⁶U and ¹²⁹I. With this work, the CNA has become part of the Geotraces project, which brings together different institutions with the final aim of getting information about the distribution of trace elements and their isotopes that play a role in the ocean processes and marine life.



Figura 4.33: Situación de las estaciones de muestreo estudiadas en el Pacífico Oriental y cocientes isotópicos ²³⁶U/²³⁸U medidos en los cuatro perfiles / Location of the four studied seawater columns from the East Pacific Zonal Transept and the obtained ²³⁶U/²³⁸U atom ratios

<u>Determinación de isótopos de Am</u>, ²⁴¹Am y ²⁴³Am y de isótopos de Pu, ²⁴⁰Pu y ²³⁹Pu, en residuos nucleares.</u> Los isótopos de Am, ²⁴¹Am (T_{1/2} = 432.2 a) y ²⁴³Am (T_{1/2} = 7370 a), se producen en los reactores nucleares como subproductos de la activación neutrónica del ²³⁸U y del ²³⁹Pu. Tradicionalmente, el ²⁴¹Am, el más abundante en el medio ambiente en general y en residuos nucleares en particular (i.e. se produce por decaimiento β^{-} del ²⁴¹Pu (T_{1/2} = 14 a)) se ha medido por espectrometría gamma o alfa. En este último caso, se usa el ²⁴³Am como trazador químico, cuya presencia puede despreciarse en muestras ambientales en general. En cambio, en el caso de los residuos nucleares de baja y media actividad gestionados por ENRESA, es interesante la determinación de ambos isótopos de cara a su almacenamiento a largo plazo. Dada su baja concentración en las mencionadas muestras y su relativamente largo período de semidesintegración, el ²⁴³Am sólo puede analizarse mediante técnicas de espectrometría de masas ultrasensibles como AMS. En el CNA, se ha puesto a punto un procedimiento para la determinación conjunta de ambos radionucleidos en residuos nucleares. Dicho método permite también la separación de la fracción de Pu, haciéndose posible la determinación adicional de la relación isotópica ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu, que ofrece información complementaria sobre la naturaleza de los residuos. Las relaciones isotópicas ²⁴³Am/²⁴¹Am obtenidas en las muestras analizadas (i.e. resinas y lodos) varían entre 0.04 y 0.16, mientras que los cocientes ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu entre 0.17 y 0.40 (ver Figura 4.34). Las concentraciones de ²⁴¹Am medidas por AMS reproducen los valores

4. Investigación / Research

de referencia dados por ENRESA. Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de un trabajo fin de grado.

Measurement of Am isotopes, ²⁴¹Am and ²⁴³Am, and Pu isotopes, ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu, in <u>nuclear residues</u>. Am isotopes, ²⁴¹Am ($T_{1/2} = 432.2$ y) and ²⁴³Am ($T_{1/2} = 7370$ y), are produced in nuclear reactors as derivatives from the multiple neutron activation of the fissile radionuclides, ²³⁹Pu and ²³⁸U. The major one, ²⁴¹Am, has been traditionally determined by gamma or alpha spectrometry, where ²⁴³Am, which is not present in the general environment, is used as a radiochemical tracer. In the case of the nuclear residues, both radionuclides are important as long as their long-term storage is concerned. Due to their low abundance and its relative long half-life, ²⁴³Am can only be determined by ultra sensible mass spectrometry techniques such as AMS. At the CNA, it has been set up a procedure to measure both ²⁴¹Am and ²⁴³Am in nuclear residues on the 1 MV AMS system. The method also allows the separation of the plutonium fraction, with the subsequent determination of the ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratio, which provides additional information about the nature of the residues. The obtained ²⁴³Am/²⁴¹Am and ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios in the studied samples (resins and mud) are presented in the Figure 4.34, and range from 0.04 to 0.16 and 0.17 to 0.40, respectively. The obtained AMS ²⁴¹Am concentrations are in agreement with the reference values given by ENRESA.



Figura 4.34: Relaciones isotópicas ²⁴³Am/²⁴¹Am y ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu obtenidas en una serie de residuos nucleares facilitados por ENRESA / Obtained ²⁴³Am/²⁴¹Am y ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratios in the nuclear residues given by ENRESA

4.4.2 Medidas de ²⁶Al y ¹⁰Be / ²⁶Al and ¹⁰Be measurements

La investigación científica relacionada con los iones ligeros ¹⁰Be y ²⁶Al en los años 2015-2016 ha sido orientada principalmente en la optimización de las medidas con el equipo AMS del CNA, después la instalación del stripper de helio y de una cámara a ionización diseñada por el grupo AMS del ETH.

4. Investigación / Research

El stripper de He no ha llevado relevantes mejorías en el caso de ¹⁰Be y ²⁶Al. En cambio, el nuevo detector ha mejorado notablemente la resolución de estos iones ligeros, teniendo un diseño compacto que minimiza el ruido electrónico asociado sobre todo a los preamplificadores.

La trasmisión y el fondo han sido estudiados para los dos isotopos para distintos estados de cargas en función de la energía del haz. El ¹⁰Be necesita específicas técnicas de medidas para suprimir su interferente isobárico ¹⁰B. Hasta ahora, la técnica de la ventana degradadora resulta ser la más eficaz para la medida de ¹⁰Be a las energías de SARA.

Las características del nuevo detector han permitido testar un nuevo método de supresión de ¹⁰B: el absorbente pasivo. Esta técnica es muy común en los equipos AMS que trabajan con energías más altas de SARA, pero no es normalmente usada en LE-AMS por la elevada resolución necesaria a obtener una suficiente separación de ¹⁰Be y ¹⁰B a energías inferiores a los 3 MeV. El método del absorbente pasivo ha sido aplicado también con el ²⁶Al para eliminar las interferencias producidas por el ¹³C.

Las pruebas han demostrado el potencial de esta técnica en equipo pequeños como lo de SARA.



Figura 4.35: Espectro de ¹⁰Be adquirido con la técnica del absorbente pasivo. La energía del haz es de 2.4 MeV. / ¹⁰Be spectrum acquired with the passive absorber technique at a beam energy of 2.4 MeV

The scientific research involving light ions such as ¹⁰Be and ²⁶Al during the years 2015-2016 had as a main purpose the optimization of their measurements with the CNA AMS

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

system after the installation of the helium stripper and the new gas ionization chamber designed by the ETH group.



Figura 4.36: Espectro del ²⁶Al con la técnica del absorbente pasivo. La energía del haz es de 2.1 MeV / ²⁶Al spectrum acquired with the passive absorber technique at a beam energy of 2.1 MeV

The new stripper did not provide particular improvements in the case of ¹⁰Be and ²⁶Al. However, the new detector, with its compact design that minimizes the electronic noise associated to the preamplifiers, improved the light ions resolution.

Beam transmission and background levels have been studied for the two isotopes for different charge states and energies. ¹⁰Be needs specific measurements techniques in order to suppress the interference of the isobar ¹⁰B. So far, the so-called degrader technique is the optimal choice to measure ¹⁰Be in the energy range of the SARA facility.

The characteristics of the new detector allowed testing a new method for ¹⁰B suppression: the so-called passive absorber. This technique is normally applied at AMS facilities working at higher energies than SARA, but is not so common in LE-AMS because of the extremely high resolution necessary to obtain a reasonable separation between ¹⁰Be and ¹⁰B at energies < 3MeV. The passive absorber technique was tested at the SARA facility also with ²⁶Al ions to suppress ¹³C interference.

These tests demonstrated the potential of this technique also at small system like SARA.

4. Investigación / Research

4.4.3 Medidas de ⁴¹Ca / ⁴¹Ca measurements

Se han establecido las condiciones para medidas de ⁴¹Ca con el sistema de AMS de 1 MV. El principal problema de las medidas de ⁴¹Ca es la interferencia de su isóbaro estable ⁴¹K, cuya señal no se puede discriminar en el detector a las energías disponibles con nuestro sistema. Por ello, nuestra manera de llevar a cabo dicha discriminación es la misma usada por el grupo de AMS de la ETH de Zúrich en sus medidas de ⁴¹Ca con el sistema de 0.6 MV: la llamada "corrección-K". Esta corrección consiste en medir también el otro isótopo estable del potasio, el ³⁹K, con el fin de estimar la interferencia debida al ⁴¹K.

Las primeras pruebas muestran un fondo ⁴¹Ca/⁴⁰Ca en torno a 5-8×10⁻¹². Este fondo permite perfectamente medidas de muestras de interés biomédico, principal aplicación del ⁴¹Ca hoy en día, siendo las relaciones isotópicas ⁴¹Ca/⁴⁰Ca de estas muestras típicamente mayores a 10⁻¹⁰. La aplicación que nuestro grupo está llevando a cabo ahora, en colaboración con ENRESA, es la medida de ⁴¹Ca en muestras de hormigón del blindaje biológico de la central nuclear José Cabrera.



Figura 4.37: Relación entre las relaciones isotópicas ³⁹K/⁴⁰Ca y ⁴¹M/⁴⁰Ca en muestras blanco, usada para obtener el relación experimental ⁴¹K/³⁹K necesaria para llevar a cabo la "corrección-K" / Relation between isotopic ratios ³⁹K/⁴⁰Ca and ⁴¹M/⁴⁰Ca in target samples, used to obtain the experimental relationship ⁴¹K/³⁹K required to perform the "K-correction"

The conditions for ⁴¹Ca measurements with the 1 MV Accelerator Mass Spectrometry system has been established. Main problem in ⁴¹Ca is the interference from its stable

4. Investigación / Research

isobar, ⁴¹K, whose signal cannot be discriminated in the detector at available energies with our system. Because of that, our way to make that discrimination is the same used by the AMS group at ETH Zurich for their ⁴¹Ca measurements with the 0.6 MV system: the so-called "K-correction". This correction involves measuring also the other stable isotope of potassium, ³⁹K, in order to estimate the interference caused by ⁴¹K.

First tests show a 41 Ca/ 40 Ca background of 5-8×10⁻¹². This background perfectly allows measurements from biomedical interest samples, which is the main application of 41 Ca nowadays, being 41 Ca/ 40 Ca ratios from these samples typically higher than 10⁻¹⁰. The application out group is actually working on, collaborating with ENRESA, is measuring 41 Ca in concrete samples from the bioshield of José Cabrera nuclear power plant.

4.4.4 Medida de ¹⁴C / ¹⁴C measurements

Durante los años 2015-2016 se ha consolidado la contribución del servicio de datación del CNA a la investigación en arqueología con la colaboración continuada con el Instituto Milá i Fontanals del CSIC. 5 publicaciones conjuntas, y algunas más en proceso avalan la importancia de esta colaboración. Se trata del estudio de enterramientos neolíticos a partir de los restos óseos encontrados.

También las ciencias ambientales están presentes en la investigación llevada en el servicio de datación. La colaboración con el laboratorio de datación de la Universidad Nacional Autónoma de México ha sido una constante desde hace varios años, en los que se ha estudiado en diferentes formas la concentración de C-14 en la atmósfera. Fruto de esta colaboración ha surgido una publicación en 2015 y hay otra en proceso. También en geología se ha colaborado con la Universidad de Huelva, para el estudio de procesos de oleaje extremo en el estuario del Guadalquivir, con una publicación en 2016. También durante 2016 se ha comenzado una colaboración con la Universidad de Bologna para el estudio de sedimentos marinos en el Mar Mediterráneo.

En el apartado técnico, la investigación más relevante ha sido el estudio del comportamiento de muestras más pequeñas de lo habitual en el sistema de medida Micadas. Este estudio ha dado lugar a un Trabajo de Fin de Máster. A finales de 2016 se ha comenzado un estudio para la preparación de muestras líquidas con carbonato disuelto, que se desarrollará fundamentalmente a lo largo de 2017.

During 2015-2016 there has been an important consolidation of the archaeology research at CNA with the continued collaboration with the Instituto Milá i Fontanals from CSIC. 5 published papers and some more in preparation prove the interest of this collaboration. The research deals with Neolithic burials by radiocarbon dating of bones.

Environmental sciences are also present in our research. The long term collaboration with the radiocarbon laboratory at the Universidad Nacional Autónoma de México has dealt in different ways with atmospheric radiocarbon concentration. As a result one published paper was accepted in 2105 and there is another in process. There has also been collaboration with the Universidad de Huelva to study extreme wave events in the

4. Investigación / Research

Guadalquivir estuary, with one published paper in 2016. In this period we have also started to work together with the University of Bologna to study Mediterranean marine sediments.

In the technical part, the most relevant investigation has been about the behaviour of smaller that usual samples at the Micadas measurement system, with a Master thesis as a result. By the end of 2016 we have started to develop the sample preparation of dissolved inorganic carbon samples in liquid matrixes, which will continue during 2017.

4.4.5 Medidas de ¹²⁹I / ¹²⁹I measurements

Desde el punto de vista metodológico, a lo largo del año 2015 se llevó a cabo el estudio de la transmisión del ¹²⁹l a través del stripper de He que sustituyó al anterior de Ar. Como ha ocurrido con otros radioisótopos, el efecto de aumento de la transmisión a través del He con respecto al Ar ha sido enorme. Así, en el estado de carga 3+, utilizado comúnmente con el stripper de Ar, la transmisión máxima obtenida con He ronda el 25% (frente a un 10% anterior), mientras que en el estado de carga 2+ se obtienen transmisiones cercanas al 40% y por ello se ha elegido como estado de carga rutinario. Esto mejora sensiblemente la medida ya que permite una estadística mucho más alta. No obstante, y similarmente a lo que ha ocurrido también por ejemplo con algunos actínidos, el nivel de fondo también ha aumentado debido a la mayor presencia de gas residual en los tubos de aceleración, aunque no se compromete en ningún caso la sensibilidad de equipo.

From the methodological point of view, during 2015 the study of the transmission of the ¹²⁹I beam through the new He stripper was done. The results have been very positive when it is compared to the previous Ar stripper. In concrete, for the charge state 3+, used typically with the Ar stripper, new transmission reach about 25% against a maximum 10% for Ar. For the charge state 2+, even transmissions close to 40% can be achieved. For that reason, 2+ has been chosen as the routinely configured charge state. However, and as it happens also for actinides, a slight increase in the instrumental background has also been found, due to the residual He in the acceleration tubes. In any case, this does not compromise in a sensible level the sensitivity of the facility.

La investigación aplicada, realizada durante los años 2015 y 2016, en relación al ¹²⁹I ha estado muy centrada en sus aplicaciones hidrológicas, asociada en algunos casos a los estudios realizados sobre ²³⁶U que se describen en esta memoria. El ¹²⁹I es un radionúclido de semivida muy grande ($T_{1/2} = 15,7 \times 10^6$ a) cuya presencia en el medio ambiente en la actualidad se debe en su mayor parte a las actividades nucleares humanas, fundamentalmente a las plantas de reprocesamiento del combustible nuclear. Las instalaciones de Sellafield (Inglaterra) y La Hague (Francia) han liberado una parte muy grande del ¹²⁹I presente en la actualidad en el medio. Cómo este ¹²⁹I se dispersa por la biosfera es una cuestión relevante, no sólo por su toxicidad sino también porque puede utilizarse como marcador de los procesos geológicos en general.

4. Investigación / Research

Complementando los estudios anteriores en el Océano Ártico y el Mar de Groenlandia, hemos analizado la presencia de ¹²⁹I a lo largo de un transecto entre el Mar del Labrador y el Atlántico Nororiental (Figura 4.38). Los resultados muestran no solo altas concentraciones de ¹²⁹I (en el orden de 10⁹ áts./kg) sino una distribución vertical no homogénea al sur de Groenlandia (aproximadamente 45°O), explicada por la inmersión de las aguas frías provenientes del Ártico y que vienen cargadas de ¹²⁹I.

The applied research carried out about ¹²⁹I during 2015 and 2016 has been focused on Hydrology, in some cases associated to the ²³⁶U studies described in this report. ¹²⁹I $(T_{1/2} = 15.7 \times 10^6 \text{ y})$ is an artificial radionuclide whose presence in the environment has increased strongly since the beginning of the nuclear era, mainly because of the releases performed by the two main nuclear fuel reprocessing plants: Sellafield (England) and La Hague (France). The way this ¹²⁹I is spread in the environment is relevant not only because of its toxicity but also because it is an extremely important tracer of geological processes.

As a continuation of the previous studies carried out on marine samples from the Arctic and the Greenland Sea, samples from a transect between the Labrador Sea and the Eastern North Atlantic have been analysed during 2015 and 2016 (Figure 4.38). The results show high ¹²⁹I concentrations (in the order of 10⁹ at/kg) and also an inhomogeneous vertical distribution especially in the surrounding of Southern Greenland (approximately 45°W). The increase of ¹²⁹I concentration in the bottom waters can be explained by the sinking of cold waters from the Arctic which are enriched in ¹²⁹I.





Si estos resultados se comparan con lo obtenidos en el Atlántico Sur, en concreto en las islas de South Georgia (Figura 4.39), se aprecia una reducción notable de los niveles. Además, el incremento de las concentraciones en el norte a profundidades

4. Investigación / Research

alrededor de los 500 m podría estar mostrando el afloramiento de la corriente NADW (North Atlantic Deep Water) al mezclarse con las corrientes antárticas, más densas.

If these results are compared to the ones obtained for the South Georgia cruise in the Southern Atlantic (Figure 4.39), a clear decrease of the ¹²⁹I concentrations is observed. Besides, the levels are relatively higher around 500 m depth in the two stations placed in the north. The explanation for this is not clear, but it could be showing the rising of the NADW (North Atlantic Deep Water) when it mixes with the Antarctic currents, much denser.



Figura 4.39: Concentraciones de ¹²⁹I (áts/kg) a lo largo de un transecto de norte a sur en South Georgia (Atlántico Sur) / ¹²⁹I concentrations along a transect from North to South in South Georgia (Southern Atlantic)

Otro ejemplo de la dispersión de este radionúclido en el medio marino puede observarse en los perfiles estudiados dentro del proyecto GEOTRACES. Como se comenta también en la descripción de las actividades realizadas sobre actínidos en esta misma memoria, se trata de una serie de perfiles en agua marina tomados entre Perú y Tahití. En los dos perfiles analizados para ¹²⁹I (Figura 4.40) se aprecian concentraciones muy bajas, más incluso que las obtenidas en el Atlántico Sur. La estructura de los perfiles es compleja y está actualmente en proceso de análisis.

Another example of the dispersion of this radionuclide in the marine environment can be seen in the water profiles analyzed in the project GEOTRACES. As it is also described in the activities on actinides in this report, it comprises a set of vertical profiles taken between Peru and Tahiti. In the two profiles analyzed up to now for ¹²⁹I (Figure 4.40), the measured concentrations show values even lower than those obtained for Southern Atlantic. The structure of the profiles, however, is complex and it is still being analyzed.

4. Investigación / Research



Figura 4.40: Concentraciones de ¹²⁹I en dos perfiles tomados en estaciones pertenecientes al proyecto Geotraces (Pacífico Sur) / ¹²⁹I concentration profiles in two stations from the GEOTRACES project (Southern Pacific)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

4. Investigación / Research

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. Por otro lado, el CNA dispone de un tomógrafo PET, del que se benefician pacientes del Servicio Andaluz de Salud, para el diagnóstico precoz del cáncer y otras patologías.

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

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

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

5. 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 en fase de desmantelamiento. El objetivo es la evaluación del nivel de presencia de determinados núcleos radiactivos mediante la técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS), que se encuentra únicamente en el CNA dentro del territorio español.

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

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

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

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

5.3 El CNA y el Patrimonio Cultural / CNA and Cultural Heritage

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

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

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

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

5. CNA y Sociedad / CNA and Society

5.4 El CNA y la Empresa / CNA and Company

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

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

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

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

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

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach



6. Cultura Científica / Outreach

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach
6. Cultura Científica / Outreach

6. Cultura Científica / Outreach

6.1 Presentación / Presentation

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

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

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

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

-Diseminar la contribución que los Aceleradores de Partículas han aportado a la Ciencia Básica y Aplicada a lo largo de su historia.

-Demostrar la utilidad de los Aceleradores en la resolución de problemas de distinto ámbito científico útiles incluso para la vida cotidiana.

-Contribuir en el ámbito específico de los Aceleradores de Partículas a diseminar en la Sociedad la idea de que la apuesta por la ciencia tiene carácter estratégico para el ser humano.

-Contribuir en el ámbito específico de los Aceleradores de Partículas a la formación científica de la comunidad, necesaria en una Sociedad en la que, cada vez más, la Ciencia, incluso la más lejana a nuestra experiencia diaria, está presente en la vida cotidiana.

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

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

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

The main objectives of the Scientific and Innovation Culture Unit:

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach

-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 Cultura Científica y de la Innovación del CNA muestran los distintos aceleradores de que disponemos en el CNA: Acelerador Tándem Van de Graaff de 3 MV, Ciclotrón, un sistema AMS de baja energía (1 MV), sistema ultracompacto para datación por ¹⁴C llamado MiCaDaS, así como la sala PET/TAC de humanos y la sala del microPET y microCT de investigación preclínica. La actividad consta de la visita a los distintos aceleradores, laboratorios y otras instalaciones del CNA, la charla "Investigación en el CNA" y por último, se desarrolla el Taller de Estructura de la Materia, Óptica y Electromagnetismo "Experimenta con nosotros".



IES Las Lagunas (11 de Mayo de 2016)

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.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach



IES Vistazul (09 de Noviembre de 2015)

Exposición "Aceleradores para la Vida, la Ciencia y la Tecnología" (CNA). Con el fin de dar continuidad a la exposición inaugurada en el Parque de las Ciencias de Granada en 2011, se montó dicha exposición en el CNA, con motivo de la Semana de la Ciencia de noviembre del 2012.

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

Los elementos fundamentales de esta muestra son la Tecnología con la presentación de elementos tan característicos de los aceleradores como son detectores de partículas, bombas de vacío, medidores de vacío o la Sala de Control del Acelerador Tándem de 3 MV.

Asimismo, también cobra especial importancia en esta exposición la presentación de la investigación desarrollada en el CNA y la interacción con el público a través de simples experimentos y simulaciones donde el asistente podrá conocer el funcionamiento de determinadas partes de los aceleradores del CNA.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach



<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.



6. Cultura Científica / Outreach

Nuestro centro, participa en la feria con la exposición "Acelerando la Ciencia" consistente en videos, presentaciones y experimentos. En definitiva, muestra la Ciencia e Investigación desarrollada en el CNA al público en general.



Feria de la Ciencia de Sevilla (07 al 09 de Mayo de 2015)

<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 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".

Los centros visitantes a lo largo de estos años han sido:

- IES Izpisúa Belmonte e IES Los Salados (11 de Noviembre de 2015)
- IES Arribes de Sayago e IES Monte Miravete (18 de Noviembre de 2015)
- IES Clara Campoamor y CPI Castroverde (27 de Septiembre de 2016)
- IES Juan de Valdés e IES Valle del Guadalope (04 de Octubre de 2016)
- IES Galileo Galilei e IES Jorge Manrique (11 de Octubre de 2016)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

6. Cultura Científica / Outreach



IES Valle del Guadalope (04 de Octubre de 2015)



IES Izpisua Belmonte (11 de Noviembre de 2015)

6. Cultura Científica / Outreach

<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>http://institucional.us.es/uccicna/</u>

<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, G+, Prenser, 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>Cómic del CNA.</u> Trimestralmente y desde el año 2013, se comenzó con esta nueva acción cuyo objetivo es el de mostrar los estudios que se llevan a cabo en el CNA a través de nuestra mascota "Superprotón" y su inseparable amigo Spiker.

<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>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.

6. Cultura Científica / Outreach

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

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

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

<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>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>http://institucional.us.es/uccicna/</u>

<u>Social networks</u>. The different activities of CNA are shown in the social networks such as Xing, Linkedin, G+, Prenser, 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>Comic.</u> Since 2013, our group develops a new action based in our friend "Superproton" and its dog called Spiker. With them we try to show the different studies carried out at CNA to the young people.

<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.

6. Cultura Científica / Outreach



6.3 Impacto de actividades / Activities impact

6.3.2 Procedencia de los centros visitantes / Origin of visitant centers



6. Cultura Científica / Outreach



6.3.4 Comunicación Científica / Scientific press notes



6. Cultura Científica / Outreach

Centro Nacional de Aceleradores (CNA) 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

Optimization for particle accelerators (oPAC). A Marie Curie Initial Training Network FP7-PEOPLE-2011-ITN Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (7° Programa Marco de la U.E) Joaquín Gómez Camacho 30/11/2011 al 30/11/2015

Ion Beam Accelerators Techniques for Characterization and Defects Production in Semiconductors and Insulators Materials and Devices

Coordinated Research Project 17034 International Atomic Energy Agency (IAEA) Francisco Javier García López 08/12/2011 al 07/12/2015

Development of scintillator-based Fast Ion loss detectors for Fusion Devices using Low-Energy Particle Accelerators

PCIG11-GA-2012-321455 Commission of the European Communities (Research Directorate-General) (7^o Programa Marco de la U.E) Manuel García Muñoz 01/09/2012 al 31/08/2016

Implementation of the scintillator-based fast-ion loss detectors on MAST and AUG

WP14-MST2-3 Eurofusion Manuel García Muñoz 01/01/2014 al 31/12/2016

Scintillator Probe Upgrade WPJET4-SPU Eurofusion

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Manuel García Muñoz 01/01/2014 al 31/12/2016

COordination and iMplementation of a pan-European instrumenT for radioecology

COMET-604974 7th Framework Programme Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 01/06/2013 al 31/05/2017

Optimization of Medical Accelerators (OMA)

H2020-MSCA-ITN-2015 Horizonte 2020 Joaquín Gómez Camacho 01/02/2016 al 31/01/2020

Scientific Coordinator in JET H Campaign

H16-02: Confinement with different isotope ratio EUROfusion Consorium Eleonora Viezzer 01/06/2016 al 31/03/2017

Scientific Coordinator in MST1 Campaign

Topic 5 "Characterization of natural no-ELM regimes" EUROfusion Consorium Eleonora Viezzer 01/10/2016 al 30/09/2018

7.1.2 Proyectos Nacionales y Autonómicos / National and Autonomic Projects

Uso de la Tecnología de Aceleradores de Partículas en la Caracterización de Residuos Nucleares

P10-FQM-5956 Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas) (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía) José María López Gutiérrez 15/03/2011 al 14/06/2015

Use of Low-Energy Particle Accelerators at CNA to Develop and Calibrate Detectors of Energetic Particle Losses for Magnetically Confined Fusion Devices RYC-2011-09152 MINECO (Dotación adicional Ramón y Cajal) Manuel García Muñoz 01/09/2012 al 31/08/2017

Transporte de iones rápidos inducido por inestabilidades magnetohidrodinámicas en plasmas calientes confinados magnéticamente

7. Producción Científica / Scientific Production

ENE2012-31087 MINECO (Plan Nacional del 2012) Manuel García Muñoz 01/01/2013 al 31/12/2015

Espectrometría de masas con aceleradores de baja energía (Leams) en el Centro Nacional de Aceleradores: Datación y aplicaciones ambientales

FIS2012-31853 MINECO (Plan Nacional del 2012) Manuel García León 01/01/2013 al 31/12/2015

La Producción Metálica de las Sociedades Mediterráneas (Ss. VII A.c.-II D.c.): Valor, Circulación y Cambio Tecnológico HAR2012-33002 MINECO (Plan Nacional de 2012)

Miguel Ángel Respaldiza Galisteo 01/01/2013 al 30/06/2016

Línea de neutrones en el CNA

UNSE13-1E-2023 MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Equipamiento) Joaquín Gómez Camacho 01/01/2013 al 31/12/2015

Técnicas avanzadas de análisis ambiental por AMS en el CNA

UNSE13-1E-1821 MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Equipamiento) Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 01/01/2013 al 31/12/2015

Vitrificación de ovocitos y embriones bovinos producidos in vitro en bajas concentraciones de crioprotector RTA2012-00026-00-00 MINECO (Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria) Julio de la Fuente 13/05/2013 al 05/12/2016

Física Nuclear y Aplicaciones Médicas en el Centro Nacional de Aceleradores FPA2013-47327-C2-1-R MINECO (Plan Nacional del 2012) Joaquín Gómez Camacho 01/01/2014 al 31/12/2016

Microlab-on-chip para producción de radiofármacos para diagnóstico PET

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

TIC-2296

Junta de Andalucía (Proyectos de Excelencia de la Junta de Andalucía) José Manuel Quero Reboul 30/01/2014 al 29/01/2018

Integración de la imagen PET/CT en una planificación radioterápica de precisión y adaptativa

CTS-2482 Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas) Antonio Leal Plaza 2014-2016

Avances en las técnicas nucleares de análisis no destructivos y aplicaciones en el estudio de las tecnologías de fabricación de objetos metálicos antiguos

SUBCEI2014/004 MICINN (Campus de Excelencia Internacional) Miguel Ángel Respaldiza Galiesteo 24/10/2014 al 23/10/2015

Diagnostico precoz de alzheimer mediante técnicas de imagen PET (DIPALPET)

I-LINK0965 CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) Joaquín Gómez Camacho 01/01/2015 al 31/12/2016

Actuaciones de Fortalecimiento

Junta de Andalucía y Universidad de Sevilla Joaquín José Gómez Camacho 01/10/2015 al 31/12/2015

Red Temática de Física Nuclear

FPA2015-69714-REDT MINECO (Plan Estatal 2013-2016 Excelencia-Redes) Joaquín José Gómez Camacho 01/12/2015 al 30/11/2017

Mejora del ciclotrón del CNA

UNSE15-CE-2821 MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Técnicas y Equipamiento (Plan Estatal i+D+I 2013-2016)) Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2016 al 31/12/2017

Mejora del acelerador Tándem del CNA UNSE15-CE-3334

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Técnicas y Equipamiento (Plan Estatal i+D+I 2013-2016)) Joaquín José Gómez Camacho 01/01/2016 al 31/12/2017

Mejoras en la Unidad de Espectrometría de Masas con Acelerador (AMS) del CNA UNSE15-CE-3325 MINECO (Subprograma Estatal de Infraestructuras Científicas y Técnicas y Equipamiento (Plan Estatal i+D+I 2013-2016)) Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 01/01/2016 al 31/12/2017

Dinámica del espacio de fases de iones energéticos en presencia de modos Alfvénicos, modos de borde y perturbaciones resonantes aplicadas exteriormente FIS2015-69362-P MINECO (Plan Estatal 2013-2016 Excelencia - Proyectos I+D) Manuel García Muñoz y Javier García López 01/01/2016 al 31/12/2019

Centro de ensayos combinados de irradiación

ESP2015-68245-C4-4-P MINECO (Plan Estatal 2013-2016 Excelencia - Proyectos I+D) Yolanda Morilla García 01/01/2016 al 31/12/2019

Resolución de Problemas Ambientales Marinos y Terrestres Clave Mediante Nuevos Desarrollos en Espectrometría de Masas con Acelerador de Baja Energía (Leams) en el CNA FIS2015-69673-P MINECO (Plan Estatal 2013-2016 Excelencia - Proyectos I+D) R. García-Tenorio 01/01/2016 al 31/12/2018

Física Nuclear y Aplicaciones Médicas en el CNA e Instalaciones Internacionales

FPA2016-77689-C2-1-R MINECO (Plan Estatal 2013-2016 Excelencia - Proyectos I+D+i) Joaquín Gómez Camacho 30/12/2016 al 29/12/2018

7.1.3 Convenios y Contratos / Agreements and Contracts

Contrato de Explotación temporal del laboratorio de radiofarmacia asociado al acelerador denominado CICLOTRON del CNA e investigación IBA Molecular S.A Joaquín Gómez Camacho 09/12/2003 hasta la actualidad

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Convenio específico de colaboración entre el CNA y el HUVR para la potenciación de la investigación y el desarrollo de las aplicaciones humanas de la tomografía por emisión de positrones

Junta de Andalucía (Servicio Andaluz de Salud) Joaquín Gómez Camacho 17/11/2011 hasta la actualidad

Optimización de un procedimiento general para la determinación de isótopos de torio en muestras ambientales e industriales

OPNCSN012/008 Consejo de Seguridad Nuclear Rafael García-Tenorio García-Balmaseda 15/11/2012 al 14/11/2015

Convenio de irradiación con la empresa ALTER

Alter Technology Joaquín Gómez Camacho 01/01/2013 hasta la actualidad

Agreement on a colaboration in the field on Advanced PET/CT imaging with biograph mCT

Siemens Joaquín Gómez Camacho 15/01/2016 al 14/01/2019

7. Producción Científica / Scientific Production

7.2 Artículos publicados / Published Articles

7.2.1 Artículos ISI / ISI Articles

3D cylindrical silicon microdosimeters: fabrication, simulation and charge collection study

C. Fleta; S. Esteban; M. Baselga; D. Quirion; G. Pellegrini; C. Guardiola; M. A. Cortes-Giraldo; J. García López; M. C. Jiménez Ramos; F. Gómez; M. Lozano Journal of Instrumentation (10) (10001) (2015)

Non-destructive analysis of pigments in a triptych by Marten de Vos A. Kriznar; K. Laclavetine; V. Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega Spectroscopy Letters (49) (30-36) (2015)

Temporal and spatial variations of atmospheric radiocarbon in the Mexico City metropolitan area

L. Beramendi-Orosco; G. González-Hernández; A. Martínez-Jurado; A. Martínez-Reyes; A. García-Samano; J. Villanueva-Díaz; F. J. Santos-Arévalo; I. Gómez-Martínez; O. Amador-Muñoz Padiocarbon (57) (262-275) (2015)

Radiocarbon (57) (363-375) (2015)

Les sépultures neolithiques de can gambus-2 (Sabadell, Espagne): Nouvelles donnees sur les pratiquecs funeraires de la culture des sepulcros de fosa

P. Bravo; E. Hinojo; M. Eulàlia Subirà; F. Allièse; A. Masclans; J. Santana; F. J. Santos; L. Agulló; I. Gómez-Martínez; G. Remolins; J. F. Gibaja L'Anthropologie (119) (38-57) (2015)

¹⁴C SIRI samples at CNA: Measurements at 200 kV and 1000 kV

F. J. Santos-Arévalo; I. Gómez-Martínez; L. Agulló-García Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (361) (322-326) (2015)

Status report of the 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores

E. Chamizo-Calvo; F. J. Santos-Arévalo; J. M. López-Guitérrez; S. Padilla; M. García-León; J. Heinemeier; C. Schnabel; G. Scognamiglio

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (361) (13-19) (2015)

¹⁴C determination in different bio-based products

F. J. Santos-Arévalo; I. Gómez-Martínez; L. Agulló-García, M. T. Reina-Maldonado; M. García-León

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (361) (354-357) (2015)

7. Producción Científica / Scientific Production

The emergence of Mesolithic cemeteries in SW Europe: insights from the el Collado (Oliva, Valencia, Spain) Radiocarbon Record

J. F. Gibaja; M. E. Subirà; X. Terradas; F. J. Santos-Arévalo; L. Agulló; I. Gómez-Martínez; F. Allièse; J. Fernández-López de Pablo

Plos One (10(1)) (e0115505 (1)-e0115505 (18)) (2015)

Analysis of ²³⁶U and plutonium isotopes, ^{239,240}Pu, on the 1 MV AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores, as a potential tool in oceanography

E. Chamizo; M. López-Lora; M. Villa; N. Casacuberta; J. M. López-Guitérrez; M. K. Pham Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (361) (535-540) (2015)

Calibration and Performance Tests of Detectors for Laser-Accelerated Protons

M. Seimetz; P. Bellido; A. Soriano; J. García López; M. C. Jiménez-Ramos; B. Fernández; P. Conde; E. Crespo; A. J. González; L. Hernández; A. Iborra; L. Moliner; J. P. Rigla; M. J. Rodríguez-Álvarez; F. Sánchez; S. Sánchez; L. F. Vidal; J. M. Benlloch IEEE Transactions on Nuclear Science (PP (99)) (1-9) (2015)

A fast readout electronic system for accurate spatial detection in ion beam tracking for the next generation of particle accelerators

A. Garzón-Camacho; B. Fernández; M. A. G. Alvarez; J. Ceballos; J. M. de la Rosa IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (64) (318-319) (2015)

Certified reference materials for radionuclides in Bikini Atoll sediment (IAEA-410) and Pacific Ocean sediment (IAEA-412)

M. K. Pham; P. van Beek; F. P. Carvalho; E. Chamizo; D. Degering; C. Engeler; C. Gascó; R. Gurriaran; O. Hanley; A. V. Harms; et al.

Applied Radiation and Isotopes (on line) (2015)

Measurement of ²³⁶U on the 1 MV AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores

E. Chamizo; M. Christl; L. K. Fifield

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (358) (45-51) (2015)

Feasibility of different cleaning methods for silver-copper alloys by X-ray fluorescence: Application to ancient Greek silver coins

A. I. Moreno-Suárez; F. Chaves; R. Pliego

Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy (on line) (2015)

First attempt to obtain the bulk composition of ancient silver copper coins by using XRF and GRT

A. I. Moreno-Suárez; F. J. Ager; S. Scrivano; I. Ortega-Feliu; B. Gómez-Tubío; M. A. Respaldiza

7. Producción Científica / Scientific Production

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (359) (93-97) (2015)

Microstructure of mixed oxide thin films prepared by magnetron sputtering at oblique angles

J. Gil-Rostra; F. J. García-García; F. J. Ferrer; A. R. González-Elipe; J. F. Yubero Thin Solid Films (591) (330-335) (2015)

Ultraviolet pretreatment of titanium dioxide and tin-doped indium oxide surfaces as a promoter of the adsorption of organic molecules in dry deposition processes: light patterning of organic nanowires

Y. Oulad-Zian; J. R. Sánchez-Valencia; J. Parra-Barranco; S. Hamad; J. P. Espinos; A. Barranco; J. Ferrer; M. Coll; Ana Borras Langmuir (31) (8294-8302) (2015)

Modulating Low Energy Ion Plasma Fluxes for the Growth of Nanoporous Thin Films R. Álvarez; C. López-Santos; F. J. Ferrer; V. Rico; J. Cotrino; A. R. González-Elipe; A. Palmero

Plasma Processes and Polymer (12) (719-724) (2015)

The behaviour of ¹²⁹I released from nuclear fuel reprocessing factories in the North Atlantic Ocean and transport to the Arctic assessed from numerical modelling

M. Villa; J. M. López-Gutiérrez; Kyung-Suk Suh; Byung-Il Min; R. Periáñez Marine Pollution Bulletin (90) (15-24) (2015)

Molecular Characterization of Growth Hormone-producing Tumors in the GC Rat Model of Acromegaly

J. F. Martín-Rodríguez; J. L. Muñoz-Bravo; A. Ibañez-Costa; L. Fernandez-Maza; M. Balcerzyk; R. Leal-Campanario; R. M. Luque; Justo P. Castaño; E. Venegas-Moreno; A. Soto-Moreno; A. Leal-Cerro; D. A. Cano Scientific Reports (5) (16298) (2015)

Matrix metalloproteinase 9 (MMP-9) is indispensable for long term potentiation in the central and basal but not in the lateral nucleus of the amygdala

T. Gorkiewicz; M. Balcerzyk; L. Kaczmarek; E. A. Knapska Frontiers in Cellular Neuroscience (9) (73) (1-5) (2015)

Assessment of the cryoprotectant concentration inside a bulky organ for cryopreservation using X-ray computed tomography

A. Corral; M. Balcerzyk; A. Parrado-Gallego; I. Fernández-Gómez; D. R. Lamprea; A. Olmo; R. Risco

Cryobiology (71) (419-431) (2015)

Effects of soil contamination by trace elements on white poplar progeny: seed germination and seedling vigour

7. Producción Científica / Scientific Production

P. Madejón; M. Cantos; M. C. Jiménez-Ramos; T. Marañón; J. M. Murillo Environmental Monitoring and Assessment (187) (663) (1-11) (2015)

Computer Tomography for avoiding fractures, controlling ice and monitoring cryoprotectant in organ cryopreservation

R. Risco; A. Corral; M. Balcerzyk; A. Parrado Cryobiology (71) (175) (2015)

Application of computed tomography to ovarian tissue cryopreservation by slow freezing

Ariadna Corral; Marcin Balcerzyk; Ángel Parrado; Christiani Amorim; Marie-Madeleine Dolmans; Julio de la Fuente; Ramón Risco Cryobiology (71-3) (546) (2015)

Fractures, ice and Me₂SO concentration under the light of X-rays in a NanoCT Pablo Acosta, Ariadna Corral, Marcin Balcerzyk, Ángel Parrando, Ramón Risco Cryobiology (71-3) (554) (2015)

Radiological Exposure Assessment from Soil, Underground and Surface water in Communities along the Coast of a Shallow Water Offshore Oilfield in Ghanna

D. O. Kpeglo; J. Mantero; E. O. Darko; G. Emi-Reynolds; E. H. K. Faanu; R. García-Tenorio

Radiation Protection Dosimetry (163) (341-352) (2015)

Application of gamma-ray spectrometry in a NORM industry for its radiometrical characterization

J. Mantero; M. J. Gázquez; S. Hurtado; J. P. Bolívar; R. García-Tenorio Radiation Physics and Chemistry (116) (78-81) (2015)

Management of by-products generated by NORM industries: Towards their valorization and minimization of their environmental impact

R. García-Tenorio; J. P. Bolívar; M. J. Gázquez; J. Mantero Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry (306) (641-648) (2015)

Scattering of Halo Nuclei at Energies below and around the Coulomb Barrier

M. J. G. Borge; M. Cubero; J. P. Fernández-García; A. M. Moro; V. Pesudo; L. Acosta; M. Alcorta; M. A. G. Alvarez; P. Bender; L. Buchmann; C. A. Diget; A. Di Pietro; D. Escrig; H. A. Falou; P. P. Figuera; B. R. Fulton; H. O. U. Fynbo; D. Galaviz; A. Garnsworthy; J. Gómez-Camacho; G. Hackman; R. Kanungo; J. A. Lay; M. Madurga; I. Martel; I. Mukha; T. Nilsson; M. Rodríguez-Gallardo; K. Rusek; A. M. Sánchez-Benítez; M. Rajabali; F. Sarazin; A. Shotter; O. Tengblad; C. Unsworth; P. Walden

Proceedings of the Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014) (6) (20036 (1-7)) (2015)

7. Producción Científica / Scientific Production

Transfer induced by core excitation within an extended distorted-wave Born approximation method

M. Gómez-Ramos; A. M. Moro; J. Gómez-Camacho; I. J. Thompson Physical Rewiew C (92) (14613 (1-11)) (2015)

Simultaneous analysis of the elastic scattering and breakup channel for the reaction ¹¹Li + ²⁰⁸Pb at energies near the Coulomb barrier

J. P. Fernández-García; M. Cubero; L. Acosta; M. Alcorta; M. A. G. Alvarez; M. J. G. Borge; L. Buchmann; C. A. Diget; H. A. Falou; B. Fulton; H. O. U. Fynbo D. Galaviz; J. Gómez-Camacho; R. Kanungo; J. A. Lay; M. Madurga; I. Martel; A. M. Moro; I. Mukha; T. Nilsson; M. Rodríguez-Gallardo; A. M. Sánchez-Benítez; A. Shotter; O. Tengblad; P. Walden

Physical Review C (92) (44608 (1-10)) (2015)

¹¹Li structural information from inclusive break-up measurements

J. P. Fernández-García; M. Cubero; L. Acosta; M. Alcorta; M. A. G. Alvarez; M. J. G. Borge; L. Buchmann; C. A. Diget; H. A. Falou; B. R. Fulton; H. O. U. Fynbo; D. Galaviz; J. Gómez-Camacho; R. Kanungo; J. A. Lay; M. Madurga; I. Martel; A. M. Moro; I. Mukha; T. Nilsson; M. Rodríguez-Gallardo; A. M. Sánchez-Benítez; A. Shotter; O. Tengblad; P. Walden

EPJ Web of Conferences (88) (1003 (1-3)) (2015)

Characterization of the new mobile confocal micro X-ray fluorescence (CXRF) system for in situ non-destructive cultural heritage analysis at the CNA: μXRF-CONCHA

K. Laclavetine; F.J. Ager; J. Arquillo; M.A. Respaldiza; S. Scrivano Microchemical Journal (125) (62-68) (2016)

Geomorphological Record of Extreme Wave Events during Roman Times in the Guadalquivir Estuary (Gulf of Cadiz, Sw Spain): An Archaeologigal and Paleogeographical Approach

Antonio Rodríguez-Ramírez; Juan J.R. Villarías-Robles; José N. Pérez-Asensio; Ana Santos; Juan Antonio Morales; Sebastián Celestino-Pérez; Ángel León; Francisco Javier Santos-Arévalo

Geomorphology (261) (103-118) (2016)

Recent Developments of the 1MV AMS Facility at the Centro Nacional de Aceleradores

Grazia Scognamiglio; Elena Chamizo-Calvo; José María López-Gutiérrez; Arnold Milenko Müller; Santiago Padilla; Francisco Javier Santos-Arévalo; Mercedes López-Lora; Carlos Vivo-Vilches; Manuel García-León

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (375) (17-25) (2016)

Human Diet and the Chronology of Neolithic Societies in the North-East of the Iberian Peninsula: The Necropolises of Puig D'en Roca and Can Gelats (Girona, Spain)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

J.F. Gibaja; M. Fontanals; X. Oms; A. Augé; F.J. Santos; S. Dubosq; B. Morell; M.E. Subira

Archaeological and Anthropolical Sciences (1-11) (2016)

La Nécropole Néolithique de La Feixa del Moro (Juberri, Andorre): Révision et Nouvelles Données

G. Remolins; J.F. Gibaja; F. Allièse; S. Dubosq; M. Fontanals; P. Martin; A. Masclans; N. Mazzuco; M. Mozota; M. Oliva; X. Oms; F.J. Santos; X. Terradas; M.E. Subira; X. Llovera Bulletin de la Société Préhistorique Française (113) (265-268) (2016)

The Neolithic Necropolis of La Feixa del Moro (Juberri, Andorra): New Data on the First Farming Communities in the Pyrenees

G. Remolins; J.F. Gibaja; F. Allièse; M. Fontanals; P. Martin; A. Masclans; N. Mazzuco; M. Mozota; M. Oliva; X. Oms; F.J. Santos; X. Terradas; M.E. Subira; X. Llovera Comptes Rendus Palevol (15) (537-554) (2016)

High-rate deposition of stoichiometric compounds by reactive magnetron sputtering at oblique angles

R. Álvarez; A. García-Valenzuela; C. López-Santos; F.J. Ferrer; V. Rico; E. Guillén; M.
 Alcon-Camas; R. Escobar-Galindo; A.R. González-Elipe; A. Palmero
 Plasma Processes and Polymers (13) (960-964) (2016)

Cathode and ion-luminescence of Eu:ZnO thin films prepared by reactive magnetron sputtering and plasma decomposition of non-volatile precursors

J. Gil-Rostra; F.J. Ferrer; I.R. Martín; A.R. González-Elipe; F. Yubero Journal of Luminescence (178) (139-146) (2016)

Limitations of high pressure sputtering for amorphous silicon deposition

R. García-Hernansanz; E. García-Hemme; D. Montero; J. Olea; E. San Andrés; A. del Prado; F.J. Ferrer; I. Martil; G. González-Díaz Materials Research Express (3) (036401) (2016)

$\mbox{Er}^{3+}\mbox{-doped}$ fluorotellurite thin film glasses with improved photoluminescence emission at 1.53 $\mbox{\mu}\mbox{m}$

R. Morea; A. Miguel; T.T. Fernandez; B. Maté; F.J. Ferrer; C. Maffiotte; J. Fernández; R. Balda; J. Gonzalo Journal of Luminescence (170) (778-784) (2016)

Nanostructured Ti thin films by magnetron sputtering at oblique angles

R. Álvarez; J.M. García-Martín; A. García-Valenzuela; M. Montero; F.J. Ferrer; J. Santiso; V. Rico; J. Cotrino; A.R. González-Elipe; A. Palmero Journal of Physics D: Applied Physics (49) (045303) (2016)

Excess of ²³⁶U in the northwest Mediterranean Sea

E. Chamizo; M. López-Lora; M. Bressac; I. Levy; M.K. Pham

7. Producción Científica / Scientific Production

Science of the Total Environment (565) (767-776) (2016)

A new beam emission polarimetry diagnostic for measuring the magnetic field line angle at the plasma edge of ASDEX Upgrade

E. Viezzer; R. Dux; M. G. Dunne; the ASDEX Upgrade Team Review of Scientific Instruments (87) (11E528-1/11E528-4) (2016)

Combining XRF and GRT for the analysis of ancient silver coins

F.J. Ager; B. Gómez-Tubío; A. Paúl; A. Gómez-Morón; S. Scrivano; I. Ortega-Feliu; M.A. Respaldiza

Microchemical Journal (126) (149-154) (2016)

X-ray and gamma-ray based spectroscopic analysis of a millefiori Roman glass fragment: degradation of sunken

I. Ortega-Feliu; B. Gómez-Tubío; M. A. Respaldiza; F. Capel; X. Nieto-Prieto Journal of Analytical Atomic Spectrometry (31) (773 -779) (2016)

Non-destructive micro-analytical system for the study of the manufacturing processes of a group of gold jewels from "El Carambolo" treasure

S. Scrivano; I. Ortega-Feliu; B. Gómez-Tubío; F.J. Ager; M.L. de la Bandera; M.A. Respaldiza; M.A. Ontalba-Salamanca

Radiation Physics and Chemistry (130) (133-141) (2016)

Collective Thomson scattering measurements of fast-ion transport due to sawtooth crashes in ASDEX Upgrade

J. Rasmussen; S.K. Nielsen; M. Stejner; J. Galdon-Quiroga; M. García-Muñoz; B. Geiger; A.S. Jacobsen; F. Jaulmes; S.B. Korsholm; N. Lazanyi; F. Leipold; F. Ryter; M. Salewski; M. Schubert; J. Stober; D. Wagner; the ASDEX Upgrade Team; the EUROFusion MST1 Team

Nuclear Fusion (56) (112014) (2016)

A fast feedback controlled magnetic drive for the ASDEX Upgrade fast-ion loss detectors

J. Ayllon-Guerola; J. González-Martín; M. García-Muñoz; J. Rivero-Rodríguez; A. Herrmann; S. Vorbrugg; P. Leitenstern; S. Zoletnik; J. Galdón; J. García López; M. Rodríguez-Ramos; L. Sanchís-Sánchez; A.D. Domínguez; M. Kocan; J.P. Gunn; D. García-Vallejo; J. Domínguez

Review of Scientific Instruments (87) (11E705-1/11E528-4)

An upgraded drift-diffusion model for evaluating the carrier lifetimes in radiationdamaged semiconductor detectors

J. García López; M.C. Jiménez-Ramos; M. Rodríguez-Ramos; J. Forneris; J. Ceballos Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (371) (294-297) (2016)

7. Producción Científica / Scientific Production

Comparative study by IBIC of Si and SiC diodes irradiated with high energy protons

J. García López; M.C. Jiménez-Ramos; M. Rodríguez-Ramos; J. Ceballos; F. Linez; J. Raisanen

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (372) (294-297) (2016)

Charge collection efficiency degradation induced by MeV ions in semiconductor devices: Model and experiment

E. Vittone; Z. Pastuovic; M.B.H. Breese; J. García López; M. Jaksic; J. Raisanen; R. Siegele; A. Simon; G. Vizkelethy

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (372) (128-142) (2016)

Conceptual design of the ITER fast-ion loss detector

M. García-Munoz; M. Kocan; J. Ayllón-Guerola; L. Bertalot; Y. Bonnet; N. Casal; J. Galdón; J. García López; T. Giacomin; J. González-Martín; J.P. Gunn; M.C. Jiménez-Ramos; V. Kiptily; S.D. Pinches; M. Rodríguez-Ramos; R. Reichle; J.F. Rivero-Rodríguez; L. Sanchís-Sánchez; A. Snicker; G. Vayakis; E. Veshchev; Ch. Vorpahl; M. Walsh; R. Walton

Review of Scientific Instruments (87) (11D829-1/11D829-4) (2016)

Po-210 in the diet at Seville (Spain) and its contribution to the dose by ingestion

I. Díaz-Francés; J. Mantero; J. Díaz; G. Manjón; R. García-Tenorio Radiation Protection Dosimetry (168) (35-45) (2016)

Radiochemical characterization of produced water from two production offshore oilfields in Ghana

D.O. Kpeglo; J. Mantero; E.O. Darko; G. Emi-Reynolds; A. Faanu; G. Manjón; I. Vioque; E.H.K Akaho; R. García-Tenorio Journal of Environmental Radioactivity (152) (35-45) (2016)

Ecological impacts of Al-Jalamid phosphate mining, Saudi Arabia: elemental characterization and spatial distribution with INNA

A. El-Taher; R. García-Tenorio; A.E.M. Khater Applied Radiation Isotopes (107) (382-390) (2016)

210Pb-derived accretion rates in coastal wetlands at and its relationship with sea level rise

A.C. Ruiz-Fernández; J.A. Sánchez-Cabeza; J.L. Serrato de la Peña; L.H. Pérez-Bernal; A. Cearreta-Bilbao; F. Flores-Verdugo; E. Chamizo; R. García-Tenorio; I. Queralt-Mitjans;
R.B. Dunbar; D.A. Mucciarone; M. Díaz-Asencio
Holocene (26) (1126-1137) (2016)

Arsenic, lead and uranium concentrations on sediments deposited in reservoirs in the Rio Grande Basin, USA-Mexico border

7. Producción Científica / Scientific Production

C. Méndez-García; M.Y. Luna; M.E. Montero-Cabrera; M. Rentería; R. García-Tenorio Journal of Soils and Sediments (16) (1970-1985) (2016)

Radiological impact due to natural radionuclides in soils from Salamanca, México C.D. Mandujano; M. Sosa; J. Mantero; R. Costilla; G. Manjón; R. García-Tenorio Applied Radiation and Isotopes (117) (91-95) (2016)

On the use of Pelagra sediment traps and radioactive isotopes as proxies for the estimation of particle export efficiency in the high latitude North Atlantic

E. Ceballos-Romero; M. Villa-Alfageme; F.A.C. Le Moigne; S. Henson; C. Marsay; R.J. Sanders; R. García-Tenorio

Marine Chemistry (186) (198-210) (2016)

Precise measurement of near-barrier He-8 + Pb-208 elastic scattering: Comparison with He-6

G. Marquínez-Durán; I. Martel; A.M. Sánchez-Benítez; L. Acosta; R. Berjillos; J. Dueñas; K. Rusek; N. Keeley; M.A.G. Álvarez; M.J.G. Borge; A. Chbihi; C. Cruz; M. Cubero; J.P. Fernández-García; B. Fernández-Martínez; J.L. Flores; J. Gómez-Camacho; K.W. Kemper; J.A. Labrador; M. Marqués; A.M. Moro; M. Mazzocco; A. Pakou; V.V. Parkar; N. Patronis; V. Pesudo; D. Pierroutsakou; R. Raabe; R. Silvestri; N. Soic; A. Standyło; I. Strojek; O. Tengblad; R. Wolski; Z. Abou-Haidar

Physical Review C - Nuclear Physics (94) (6) (64618) (2016)

Determining astrophysical three-body radiative capture reaction rates from inclusive Coulomb break-up measurements

J. Casal; M. Rodríguez-Gallardo; J.M. Arias; J. Gómez-Camacho Physical Review C - Nuclear Physics (93) (4) (41602) (2016)

Reaction theory: Status and perspectives

A.M. Moro; J. Gómez-Camacho EPJ Web of Conferences (117) (6002) (2016)

Recent developments for the calculation of elastic and non-elastic breakup of weakly-bound nuclei

A.M. Moro; J. Lei; M. Gómez-Ramos; J.M. Arias; R. De Diego; J. Gómez-Camacho; J.A. Lay

Acta Physica Polonica B (47) (3) (821-832) (2016)

Study of the near-barrier scattering of ⁸He on ²⁰⁸Pb

C. Cruz; M. Cubero; J.A. Dueñas; J.P. Fernández-García; B. Fernández-Martínez; J.L. Flores; J. Gómez-Camacho; N. Keeley; J.A. Labrador; M. Marqués; , A.M. Moro; M. Mazzocco; A. Pakou; V.V. Parkar; N. Patronis; V. Pesudo; D. Pierroutsakou; R. Raabe; R. Silvestri; N. Soic; L. Standyło; I. Strojek; O. Tengblad; R. Wolski; A.H. Ziad Acta Physica Polonica B (47) (3) (841-846) (2016)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

7.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles

Dating Methods - Luminescent Dating and Accelerator Mass Spectrometrya

A. Chruścińska; M. Fedi; L. Liccioli; F.J. Santos Nuclear Physics for Cultural Heritage (30-36) (2016)

Biodistribution of $[^{18}F]$ Amylovis[®], a new radiotracer PET imaging of β -amyloid plaques

L. Fernández-Maza; S. Rivera-Marrero; A. Prats Capote; A. Parrado-Gallego; I. Fernández-Gómez; M. Balcerzyk; M. Sablon-Carrazana; A. Perera-Pintado; D. Merceron-Martínez; E. Acosta-Medina; C. Rodríguez-Tanty EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry (1) (9) (2016)

Radioactive characterization of residues from an Oil industry in Ghanna

D.O. Kpeglo; J. Mantero; E.O. Darko; G. Emi-Reynolds; A. Fanuu; G. Manjón; I. Vioque; E.K. Akaho; R. García-Tenorio

Libro Proceedings International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) (101-104)

Radioactive Characterization of produced waters from Gas Industry in Mexico

C.D. Mandujano; J. Mantero; A. Benavides; F. Martell-Vallés; M. Sosa; G. Manjón; R. García-Tenorio

Libro Proceedings International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) (105-107)

Comparison of several methods for thorium-isotopes determination innEnvironmental and Industrial Samples

M. Herranz; J.C. Lozano; J.P. Bolívar; R. García-Tenorio

Libro Proceedings International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) (144)

7.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books

Análisis de monedas de plata de Villarrubia de los Ojos mediante Fluorescencia de Rayos X

Capítulo en el libro "La Segunda Guerra Púnica en Iberia y el conjunto de monedas y plata de Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real)" (2015) (231-257)

A. I. Moreno-Suárez; B. Gómez-Tubío; F. J. Ager; S. Scrivano; M. A. Respaldiza; F. Chaves Tristán; R. Pliego Vázquez

ISBN: 978-84-472-1562-1

Análisis no destructivo de la obra de Matías de Arteaga "La presentación de la Virgen" (1680-90)

Libro de comunicaciones "13º Congreso nacional de ensayos no destructivos" (2015) (571-590)

A. Kriznar; K. Laclavetine; A. I. Gamero González; M. A. Respaldiza ISBN: 978-84-606-7565-5

7. Producción Científica / Scientific Production

Análisis no destructivo del "Cristo Crucificado" de Juan de Espinal

Capítulo en el libro "Estudio y conservación del patrimonio cultural" (2015) (102-106) A. Kriznar; K. Laclavetine; A. I. Gamero González; M. A. Respaldiza ISBN: 978-84-608-2452

Fallout of Pu-238 over Madagascar Following the Snap 9A Satellite Failure

Capítulo en el libro "Environmental Radiochemical Analysis V" (2015) (41-48) E. Holm; C. Rääf; N. Rabesiranana; R. García-Tenorio; E. Chamizo ISBN: 978-1-78262-155-3

UCC+i del Centro Nacional de Aceleradores

Capítulo en el libro "UCC+i: origen y evolución" (2016) (33-34) J. Castilla Guerra; S.D. León Dueñas; I. Díaz Francés; J.A. Galván Moreno; C. Falcón Carrero; E. Sanjuán Ballano 720-15-153-5

Complementary Methods: g-Beam Techniques, X-Ray Fluorescence (XRF) and Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

Capítulo en el libro "Nuclear Physics for Cultural Heritage" (2016) (37-53) D.L. Balabanski; B. Blümich; N. Gelli; V. Iancu; M. Iovea; A. Kriznar; M. Massi; A. Mazzinghi; I. Ortega-Feliu; M.A. Respaldiza; C. Ruberto; S. Scrivano; G. Suliman; Z. Szőkefalvi-Nagy; C.A. Ur; W. Zia 978-2-7598-2091-7

7. Producción Científica / Scientific Production

7.3 Participación en Congresos / Meeting Participations

7.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings

Dosimetric studies for the irradiation of biological samples with protons at the 3 MV Tandem accelerator (National Centre of Accelerators, Seville)

M. C. Battaglia; D. Schardt; J. M. Espino; M. I. Gallardo; J. M. Quesada; D. Guirado; A.
M. Lallena; H. Miras; M. Villalobos; A. Tornero; J. Torres; M. A. Cortés-Giraldo
Computer aided optimization of particle accelerators workshop
Darmstadt (Alemania)
11 al 13 de marzo de 2015

Synthesis and preliminary evaluation of a new amyloid-binding as potential PET probe

C. Rodriguez Tanty; S. Rivera Marrero; G. Dubed Bandomo; L. Fernández Maza; M. Sablón Carrazana; M. Balcerzyk; A. Perera Pintado; A. Prats Capote; A. Bencomo Martínez; I. Fernández Gómez; R. Pérez Perera; A. Parrado Gallego; O. Díaz García 3rd International Conference of Molecular Imaging Montevideo (Uruguay) 12 al 13 de marzo de 2015

The synthetic fast ion loss detector

J. Galdón 1st EPS Conference on Plasma Diagnostics Frascati (Italia) 14 al 17 de abril de 2015

Absolute calibration of the ASDEX Upgrade fast ion loss detectors

M. Rodríguez Ramos 1st EPS Conference on Plasma Diagnostics Frascati (Italia) 14 al 17 de abril de 2015

In situ Confocal micro X-Ray Fluorescence (CXRF) analysis of easel paintings

K. Laclavetine; F. J. Ager; M. V. Muñoz; M. Vega; M. A. Respaldiza
TECHNART 2015-Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage
Catania (Italia)
27 al 30 de abril de 2015

Non-destrutive analysis of selected 15th century Spanish panel paintings

A. Kriznar; M. V. Muñoz; M. A. Respaldiza; M. Vega TECHNART 2015-Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage Catania (Italia)

7. Producción Científica / Scientific Production

27 al 30 de abril de 2015

Non-destructive characterization of archaeological gold jewels by a micro-XRF portable spectrometer

S. Scrivano; B. Gómez Tubío; I. Ortega-Feliu; F. J. Ager; M. L. de la Bandera; M. A. Respaldiza

TECHNART 2015-Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage

Catania (Italia)

27 al 30 de abril de 2015

A modified drift-diffusion model for evaluating the carrier lifetimes in radiationdamaged semiconductor detectors

J. García López; M. C. Jiménez-Ramos; M. Rodríguez-Ramos; J. Forneris; J. Ceballos 22nd International Conference on Ion Beam Analysis 2015 Opatija (Croacia) 14 al 19 de junio de 2015

Proton elastic scattering cross-section on helium from 0.6 to 3.0 MeV at laboratory angles between 110 and 165 degrees

F. J. Ferrer; V. Godinho; B. Fernández; J. P. Fernández-García; J. Caballero-Hernández;
A. Fernández-Camacho; J. Gómez-Camacho
22nd International Conference on Ion Beam Analysis 2015
Opatija (Croacia)
14 al 19 de junio de 2015

Non-destructive techniques for in situ studies of easel paintings: infrared reflectography and confocal X-ray micro-fluorescence

K. Laclavetine El Patrimonio Cultural a través de otra óptica Quito (Ecuador) 15 al 19 de junio de 2015

How to date a mummy (with a low energy particle accelerator)

G. Scognamiglio
Lasers and Accelerators for Science and Society
Liverpool (Reino Unido)
26 de junio de 2015

Mediaeval mural paintings in Slovenia: materials, techniques and authorships as the results of the interdisciplinary approach

A. Kriznar

Contemporary Experiences in Conservation of Wall Paintings; International scientific and professional conference on the conservation of wall paintings Draguc (Croacia)

7. Producción Científica / Scientific Production

08 al 10 de julio de 2015

Análisis no destructivo del "Cristo Crucificado" de Juan de Espinal

A. Kriznar 1st International Conference on Science and Engineering in Arts, Heritage and Archaeology (SEAHA) Londres (Reino Unido) 14 al 15 de julio de 2015

Application of Computed Tomography to ovarian tissue cryopreservation by slow freezing

A. Corral; M. Balcerzyk; A. Parrado; C. Amorim; M. M. Dolmans; J. de la Fuente; R. Risco CRYO 2015-52th Annual Meeting Ostrava (República Checa) 26 al 29 de julio de 2015

Fractures, Ice and Me₂SO Concentration Under the Light of X-rays in a NanoCT

P. Acosta; A. Corral; M. Balcerzyk; A. Parrado; R. Risco
CRYO 2015-52th Annual Meeting
Ostrava (República Checa)
26 al 29 de julio de 2015

Numerical evaluation of fast ion losses at the ASDEX Upgrade tokamak

J. García López; M. Rodríguez-Ramos; M. C. Jiménez-Ramos; J. Galdón-Quiroga; M. García Muñoz; L. Sanchís-Sánchez
XXIV International Materials Research Congress
Cancun (México)
16 al 20 de agosto de 2015

Analysis of fast-ion heat load induced by tearing/kink fluctuations in the ASDEX Upgrade tokamak

J. Galdón
 14th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems
 Viena (Austria)
 01 al 04 de septiembre de 2015

Dosimetry inter-laboratory comparison between ESTEC, CNAALTER/RADLAB, and UCL

A. Costantino; M. Muschitiello; G. Fernandez Romero; P. Martín Holgado; Y. Morilla; G. Muñiz; L. Standaert; J. Vanhees Conference on Radiation Effects on Components and Systems (RADECS) Moscú (Rusia)

14 al 18 de septiembre de 2015

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Verifying Hardening Techniques for Distributed Electronic Systems in Critical Applications

A. Vaskova; C. López-Ongil; M. García-Valderas; M. Portela-García; Y. Morilla; G. Muñiz
Conference on Radiation Effects on Components and Systems (RADECS)
Moscú (Rusia)
14 al 18 de septiembre de 2015

Air monitoring in Monaco: Study of Saharan Dust Transport

M. Khanh Pham; E. Chamizo; J. L. Mas Balbuena; J. C. Miquel; J. Martín; I. Osvath; P. P. Povinec International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

Characterization of scales from a NORM (TiO₂) Industry

J. Mantero; I. Vioque; M. Gázquez; J. P. Bolívar; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

Comparison of several methods for thorium-isotopes determination in Environmental and Industrial Samples

M. Herranz; J. C. Lozano; J. P. Bolívar; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

Use of reference materials RGU1 and RGTh1 in environmental gamma spectrometry measurements

J. Mantero; S. Hurtado; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

Levels of natural radionuclides in Pit lakes from countries in Africa and Europe

G. Manjón; J. Mantero; R. Thomas; I. Vioque; I. Díaz-Francés; J. A. Galván; A. Absi; M. Lehritani; S. Chakiri; Z. Bejjaji; F. El Hmidi; M. Isaksson; E. Forssell-Aronsson; E. Holm; R. García-Tenorio
International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015)
Thessaloniki (Grecia)
21 al 25 de septiembre de 2015

Occupational exposures in two industrial plants devoted to the production of ammonium phosphate fertilizers

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

F. Mosqueda; J. P. Bolívar; M. J. Gázquez; S. M. Pérez-Moreno; F. Vaca; R. García-Tenorio
International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015)
Thessaloniki (Grecia)
21 al 25 de septiembre de 2015

Radioactive characterization of leachates and efflorescences in a phosphogypsum disposal as a preliminary step before its restoration

M. J. Gázquez; F. Mosqueda; J. Mantero; S. M. Pérez-Moreno; R. García-Tenorio; E. Rodríguez; J. P. Bolívar
International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015)
Thessaloniki (Grecia)
21 al 25 de septiembre de 2015

Radioactive characterization of residues from an Oil industry in Ghanna

D. O. Kpeglo; J. Mantero; E. O. Darko; G. Emi-Reynolds; A. Fanuu; G. Manjón; I. Vioque; E. K. Akaho; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

Radioactive Characterization of produced waters from Gas Industry in Mexico

C. D. Mandujano; J. Mantero; A. Benavides; F. Martell-Vallés; M. Sosa, G. Manjón; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

The impact of Fukushima accident in Sevilla (Spain) through the analysis of I-129 by Accelerator Mass Spectrometry

J. M. López-Gutiérrez; L. Agulló; J. I. Peruchena; J. M. Gómez-Guzmán; G. Manjón; R. García-Tenorio International Conference on Environmental Radioactivity (ENVIRA 2015) Thessaloniki (Grecia) 21 al 25 de septiembre de 2015

New Technical Developments in Low Energy Accelerator Mass Spectrometry at CNA (Sevilla)

C. Vivo Vilches Ecole Joliot Curie 2015: "Instrumentation, detection, and simulation in modern nuclear physics" Orsay (Francia) 27 de septiembre al 02 de octubre de 2015
7. Producción Científica / Scientific Production

¹⁸F Labeling of a new naphthalene derivative as potential Alzheimer Disease PET imaging agent. Synthesis and preclinical studies

L. Fernández-Maza; S. Rivera-Marrero; M. Balcerzyk; I. Fernández-Gómez; A. Parrado-Gallego; M. Sablon-Carrazana; R. Pérez-Perera; O. Díaz-García; A. Perera-Pintado; A. Prats-Capote; C. Rodriguez-Tanty

28th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine Hamburgo (Alemania)

10 al 14 de octubre de 2015

Análisis de joyas etruscas mediante un equipo portátil de micro-XRF

S. Scrivano; B. Gómez Tubío; I. Ortega Feliu; F. Ager Vázquez; M. A. Respaldiza; M. L. de la Bandera XI Congreso Ibérico de Arqueometría Evora (Portugal) 14 al 16 de octubre de 2015

Análisis PIXE en muestras óseas subfósiles del SO de la Peníncula Ibérica: Ensayo de un protocolo de preparación

E. García Viñas; B. Goméz Tubío; I. Ortega Feliu; E. Bernáldez-Sánchez XI Congreso Ibérico de Arqueometría Evora (Portugal) 14 al 16 de octubre de 2015

Biodistribution of $[^{18}F]$ Amylovis[®], a new radiotracer for PET imaging of β -amyloid plaques

L. Fernández-Maza; S. Rivera-Marrero; A. Prats-Capote; A. Parrado-Gallego; I. Fernández-Gómez; M. Balcerzyk; M. Sablon-Carrazana; A. Perera-Pintado; D. Merceron-Martínez; E. Acosta-Medina; C. Rodríguez-Tanty
 18th European sympossium in Radiopharmacy and radiopharmaceuticals
 Salzburgo (Austria)
 07 al 10 de abril de 2016

Nuevos compuestos como radiodiagnosticadores de la Enfermedad de Alzheimer

S. Rivera-Marrero; A. Prats-Capote; M. Sablón-Carrazana; L. Fernández-Maza; A. Perera-Pintado; I. Fernández-Gómez; A. Bencomo-Martínez; S. Leon-Caviano; D. Merceron-Martínez; J. Jiménez-Martín; E. Acosta-Medina; R. Pérez-Perera; R. Díaz-García; C. Rodríguez-Tanty V Seminario Internacional CENTIS La Habana (Cuba)

05 al 08 de mayo de 2016

In situ Confocal micro X-Ray Fluorescence (CXRF) analysis of XVI century paintings

K. Laclavetine; F.J. Ager; M.V. Muñoz; M. Vega; M.A. Respaldiza 41st International Symposium on Archaeometry (ISA) Kalamata (Grecia)

7. Producción Científica / Scientific Production

15 al 21 de mayo de 2016

Nondestructive in situ XRF provenance study of Mesoamerican turquoise

K. Laclavetine; J.L. Ruvalcaba-Sil; E. Melgar; V. Aguilar Melo; M. Manrique Ortega 41st International Symposium on Archaeometry (ISA) Kalamata (Grecia) 15 al 21 de mayo de 2016

Non-destructive analysis of canvas paintings in the Archbishop's palace of Seville

A. Kriznar; K. Laclavetine; A.I. Gamero González; M.A. Respaldiza 6th Meeting X-ray and other techniques in investigations of the objects of cultural heritage Krakow (Polonia) 19 al 21 de mayo de 2016

Ion implantation process of SiC single crystals: proposal and joint possibilities at the Centro Nacional de Aceleradores

J. García López; M.C. Jiménez Ramos; I. Ortega; F.J. Ferrer 1st IAEA Technical Meeting on Ion Beam-Induced Spatio-Temporal Structural Evolution of Matter: Towards New Quantum Technologies Turín (Italia) 23 al 27 de mayo de 2016

A new beam emission polarimetry diagnostic for measuring the magnetic field line angle at the plasma edge of ASDEX Upgrade

E. Viezzer; R. Dux; M.G. Dunne; the ASDEX Upgrade TeamHigh Temperature Plasma Diagnostics ConferenceMadison (USA)05 al 09 de junio de 2016

A Fast Feedback Controlled Magnetic Drive for the ASDEX Upgrade Fast-Ion Loss Detectors

J. Ayllon-Guerola; J. González-Martín; M. García-Muñoz; J. Rivero-Rodríguez; A. Herrmann; S. Vorbrugg; P. Leitenstern; S. Zoletnik; J. Galdón; J. García López; M. Rodríguez-Ramos; L. Sanchís-Sánchez; A.D. Domínguez; M. Kocan; J.P. Gunn; D. García-Vallejo; J. Domínguez-Abascal; the ASDEX Upgrade Team High Temperature Plasma Diagnostics Conference Madison (USA) 05 al 09 de junio de 2016

First absolute measurements of fast-ion losses in the ASDEX Upgrade tokamak

M. Rodríguez-Ramos; M. García-Muñoz; J. Galdón-Quiroga; J. García López; L. Sanchís-Sánchez; M.C. Jiménez-Ramos; J. Ayllón; P. de Marne; A.D. Domínguez; J. González; A. Herrmann; J. Rivero; B. Sieglin; A. Snicker; the ASDEX Upgrade Team High Temperature Plasma Diagnostics Conference

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Madison (USA) 05 al 09 de junio de 2016

Detector irradiation at CNA

J. Gómez Camacho, J. García López, M. Carmen Jiménez RD50 Collaboration meeting Turin (Italia) 06 al 08 de junio de 2016

New model for PET/CT image processing and radiotherapy planning based on dose painting

E. Jiménez-Ortega; A. Ureba; M. Balcerzyk; L. Fernández-Maza; A. Parrado-Gallego; J. Hevilla; J.A. Baeza; A. Leal Imaging 2016 Estocolmo (Suecia) 13 al 16 de junio de 2016

Application of EARL (ResEARch 4 Life[®]) approved and rejected protocols for [¹⁸F]FDG-PET/CT clinical and research studies

M. Balcerzyk; R. Fernández-López; A. Parrado-Gallego; V. Pachón-Garrudo; J. Chavero-Royan; J. Hevilla; E. Jiménez-Ortega; A. Leal-Plaza Imaging 2016 Estocolmo (Suecia) 13 al 16 de junio de 2016

Non-Destructive Characterization of Experimental Gold Electroplating on Silver Substrates with Confocal Micro X-Ray Fluorescence (CXRF) for Cultural Heritage Studies

K. Laclavetine; F.J. Ager; L. Ferrazza; M. Ferretti; D. Juanes; I. Ortega-Feliú; M.A. Respaldiza; C. Roldán; S. Scrivano; I. Traver
European Conference on X-Ray Spectrometry
Gothenburg (Suecia)
19 al 24 de junio de 2016

Compositional and micro-structural study of joining methods in archaeological gold objects

S. Scrivano; M.A. Respaldiza; B. Gómez-Tubío; I. Ortega-Feliu; F.J. Ager; A. Paúl European Conference on X-ray Spectrometry Gothenburg (Suecia) 19 al 24 de junio de 2016

Estimation of signal levels in the ITER FILD

J. Galdón 16th ITPA Topical Group on Energetic Particle Physics Cadarache (Francia)

7. Producción Científica / Scientific Production

27 al 30 de junio de 2016

ASCOT simulations for the ITER FILD proyect

L. Sanchís, M. García-Muñoz, A. Snicker, J. Galdón, M. Kocan 16th ITPA Topical Group on Energetic Particle Physics Cadarache (Francia) 27 al 30 de junio de 2016

Multi-technique characterization of gold electroplating on silver substrates for cultural heritage applications

M.A. Respaldiza; F. Ager; I. Ortega-Feliu; S. Scrivano; M. Ferretti; C. Roldan; D. Juanes; L. Ferrazza; I. Traver 12th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART2016) Jyväskylä (Finlandia) 03 al 08 de julio de 2016

3D orbit simulations of the fast-ion transport induced by externally applied magnetic perturbations with different poloidal spectra

L. Sanchís; M. García-Muñoz; A. Snicker; J. Galdón; M. Nocente Lovaina (Bélgica) 04 al 08 de julio de 2016

Dynamic and Thermal Simulations of a Fast-Ion Loss Detector for ITER

J. Ayllon-Guerola; M. García-Muñoz; M. Kocan; J. González-Martín; J. Rivero-Rodríguez; L. Bertalot; Y. Bonnet; J. Galdón; J. García López; T. Giacomin; J.P. Gunn; M. Rodríguez-Ramos; R. Reichle; L. Sanchís-Sánchez; G. Vayakis; E. Veshchev; Ch. Vorpahl; M. Walsh; R. Walton Symposium on Fusion Technology

Prague (República Checa) 05 al 09 de septiembre de 2016

Ovarian tissue cryopreservation by means of X-ray computed tomography

Ariadna Corral; Macarena Clavero; Marcin Balcerzyk; Miguel Gallardo; Christiani Amorim; Ángel Parrado; Marie-Madeleine Dolmans; Ramón Risco SLTB Symposium 2016 Dresde (Alemania) 07 de septiembre de 2016

Radiation Characterisation for New Tantalum Polymer Capacitors

P. MartÍn; I. López-Calle; E. Muñoz; M. Domínguez; M. Morales; D. Núñez, D. Lacombe;
Y. Morilla; C. Mota; J. Pedroso
Radiation and its Effects on Components and Systems (RADECS)
Bremen (Alemania)
19 de septiembre de 2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

RATE- Radioactive particle Transformation procEsses: A research project inside COMET

R. García-Tenorio; O.C. Lind; P. Roos; C. Sancho; D. Child; B. Salbu Radiation Protection Week 2016 Oxford (Reino Unido) 19 al 23 de septiembre de 2016

Ion heat and toroidal momentum transport studies in the H-mode transport barrier of ASDEX Upgrade

E. Viezzer; M. Cavedon; E. Fable; et al 26th IAEA Fusion Energy Conference Kyoto (Japón) 17 al 22 de octubre de 2016

Challenges in implementing the change in regulations in the NORM industry. The new BSS

R. García-Tenorio 8th International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM-VIII) Rio de Janeiro (Brasil) 18 al 21 de octubre de 2016

Ion heat transport studies at the edge of AUG H-mode plasmas

E. Viezzer; M. Cavedon; E. Fable; C. Angioni; R. Dux; F. Laggner; R. McDermott; T. Pütterich; F. Ryter; E. Wolfrum; ASDEX Upgrade Team; EUROfusion MST1 Team International Tokamak Physics Activity, Pedestal and Edge Physics Group (ITPA-PEP) Naka (Japón)

23 al 27 de octubre de 2016

Ion irradiation and semiconductor detector characterization at the Centro Nacional de Aceleradores

J. García López; M.C. Jiménez Ramos; J. Gómez Camacho 29th RD50 Collaboration meeting Ginebra (Suiza) 21 al 23 de noviembre de 2016

Particle and ion heat transport studies in the H-mode pedestal of ASDEX Upgrade

E. Viezzer; M. Willensdorfer; T. Pütterich; M. Cavedon; E. Fable; C. Angioni; R. Dux; F. Laggner; R. McDermott; F. Mink; F. Ryter; E. Wolfrum; ASDEX Upgrade; EUROfusion MST1 Teams European Fusion Physics Workshop Zakopane (Polonia)

28 al 30 de noviembre de 2016

Theory, Astrophysics and Small accelerators for ENSAR2

Joaquin Gómez Camacho

7. Producción Científica / Scientific Production

NUSPRASEN workshop Ginebra 06 de diciembre de 2016

7.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings

El Centro Nacional de Aceleradores XI meeting of the Spanish network for new colliders J. Gómez Camacho Barcelona (España) 15 al 16 de enero de 2015

CNA y empresas

TRANSFIERE. 4º Foro europeo para la ciencia, tecnología e innovación J. Gómez Camacho Málaga (España) 11 al 12 de febrero de 2015

No destructive analysis of the artwork of Matías de Arteaga "La Presentación de la Virgen" (1680-90)

A. Kriznar; K. Laclavetine; A. I. Gamero González; M. A. Respaldiza 13º National Congress of No Destructive Testing (END) Sevilla (España) 06 al 08 de mayo de 2015

Ensayos de Irradiación Gamma. Sector Aeroespacial y otras aplicaciones

G. Muñiz; Y. Morilla 13º National Congress of No Destructive Testing (END) Sevilla (España) 06 al 08 de mayo de 2015

In situ Confocal micro X-Ray Fluorescence (CXRF) analysis of paintings attributed to Alonso Vazquez

K. Laclavetine; F. J. Ager; A. Kriznar; M. V. Muñoz; M. Vega; M. A. Respaldiza La pintura del siglo XVI en el ámbito hispano Madrid (España) 20 al 22 de mayo de 2015

Status of the Accelerator Mass Spectrometry facilities at the Centro Nacional de Aceleradores: SARA and MICADAS

C. Vivo Vilches XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física Gijón (España) 13 al 17 de julio de 2015

Low energy proton dosimetry with EBT3 Gafchromic films

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

M. Battaglia XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física Gijón (España) 13 al 17 de julio de 2015

Estudios de ²³⁶U en el Centro Nacional de Aceleradores y sus aplicaciones en oceanografía

M. López-Lora, E. Chamizo, M. Villa, N. Casacuberta, J. M. López-Gutiérrez, M. K. Pham, M. García-León XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física Gijón (España) 13 al 17 de julio de 2015

Accelerator Mass Spectrometry (AMS) at the Centro Nacional de Aceleradores: recent and future developments

G. Scognamiglio
XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física
Gijón (España)
13 al 17 de julio de 2015

Identification of the wave-particle resonances underlying the observed fast-ion losses induced by Alfvén Eigenmodes in the ASDEX Upgrade tokamak

L. Sanchís Sánchez XXXV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física Gijón (España) 13 al 17 de julio de 2015

Dosimetría en un laboratorio de Radiación Gamma

G. Muñiz
41ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española
A Coruña (España)
23 al 25 de septiembre de 2015

Análisis in-situ de joyas fenicio-púnicas del Museo de Ibiza mediante XRF

B. Gómez-Tubío; M. L. de la Bandera Romero; M. A. Ontalba-Salamanca; S. Scrivano; I. Ortega-Feliu; F. J. Ager; M. A. Respaldiza
II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico (MetalEspaña 2015)
Segovia (España)
O1 al O3 de octubre de 2015

Proton beam optimization for dosimetry studies with radiochromic films and ionization chambers at the 3 MV Tandem Accelerator

M. Battaglia International Conference on Accelerator Optimization

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Sevilla (España) 07 al 09 de octubre de 2015

Recent developments of the 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores

G. Scognamiglio
International Conference on Accelerator Optimization
Sevilla (España)
07 al 09 de octubre de 2015

Análisis no destructivo del "Cristo Crucificado" de Juan de Espinal

A. Kriznar; K. Laclavetine; A. I. Gamero González; M. A. Respaldiza
Congreso Nacional: Estudio y Conservación del Patrimonio Cultural-2015 (ECPC-2015)
Málaga (España)
16 al 19 de noviembre de 2015

Technology Transfer at CNA

J. Gómez Camacho VII CPAN DAYS Segovia (España) 01 al 03 de diciembre de 2015

Radiobiological studies with low energy protons

J. M. Espino VII CPAN DAYS Segovia (España) 01 al 03 de diciembre de 2015

Caracterización de materiales mediante técnicas de análisis con haces de iones

J. García López XIV Congreso Nacional de Materiales Gijón (España) 08 al 10 de junio de 2016

Protonterapia SAS-CNA

J. Gómez Camacho Reunión andaluza de protonterapia Antequera (España) 29 de junio de 2016

El boro en vidriados de interés patrimonial: su cuantificación no destructiva mediante técnicas nucleares

I. Ortega-Feliu; B. Gómez-Tubío; T. Pradell; J. Molera; J. García López; M.A. Respaldiza LV Congreso de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Sevilla (España)

7. Producción Científica / Scientific Production

06 a 07 de octubre de 2016

Detector Characterization at CNA

M.C. Jiménez-Ramos; J. García-López; J. Gómez Camacho ENSAF Workshop Sevilla (España) 19 al 21 de octubre de 2016

A new approach to process planktonic foraminifera for radiocarbon measurement

II International Conference on Radioecological Concentration Processes R. Guerra; F.J. Santos Arévalo; R. García-Tenorio Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre 2016

First results of Uranium-236 in the South Atlantic Ocean

M. López-Lora; E. Chamizo; O. Blinova; M. Rožmarić; D.C. Louw; I. Levy II International Conference on Radioecologial Concentration Processes Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre 2016

¹²⁹I concentrations in the Southern Hemisphere: North Atlantic versus Southern Ocean

J.M. López Gutiérrez II International Conference on Radioecologial Concentration Processes Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre de 2016

Uranium Concentrations in efflorescences determined by PIXE

M.C. Jiménez-Ramos; I. Ortega-Feliu; Rafael García-Tenorio II International Conference on Radioecological Concentration Processes Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre de 2016

Hot particles studies by Ion Beam Analysis (IBA) techinques and Accelerator Mass Spectrometry (AMS) at CNA

M.C. Jiménez-Ramos; E. Chamizo; J. García López; M. Eriksson; I. Vioque; S. Hurtado; R. García-Tenorio II International Conference on Radioecological Concentration Processes Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre de 2016

Retention of particle associated radionuclides in biota

O.C. Lind; R. García-Tenorio; B. Salbu; C. Wendel; J. Jaroszewicz; G. Nuyts; I. Vioque; S. Cagno; K. Janssens; G. Falkenberg

II International Conference on Radioecological Concentration Processes

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Sevilla (España) 06 al 09 de noviembre de 2016

Technology transfer at CNA

J. Gómez Camacho
Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days
Zaragoza (España)
28 al 30 de noviembre de 2016

²³⁶U at the Centro Nacional de Aceleradores: first environmental studies

M. López-Lora; E. Chamizo; I. Levy; M.K. Pham; M. Rožmarić; D.C. Louw; O. Blinova; M. Bressac; M. García-León Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days Zaragoza (España) 28 al 30 de noviembre de 2016

⁴¹Ca detection with Accelerator Mass Spectrometry at low energies: measurements on the 1 MV system at the Centro Nacional de Aceleradores

C. Vivo Vilches; J.M. López Gutiérrez; M. García León; C. Vockenhuber; T. Walczyk Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days Zaragoza (España) 28 al 30 de noviembre de 2016

Análisis de detectores de diamante monocristalinos con protones de baja energía

M.C. Jiménez Ramos; J. García López; M. Rebai; C. Cazzaniga Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days Zaragoza (España) 28 al 30 de noviembre de 2016

The Ion Beam Induced Charge (IBIC) technique to characterize semiconductor detectors using low energy particle accelerators

J. García López; M.C. Jiménez Ramos Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days Zaragoza (España) 28 al 30 de noviembre de 2016

Calibración absoluta de detectores de pérdidas de iones rápidos en dispositivos de fusión nuclear

M. Rodríguez-Ramos; J. García-López; M.C. Jiménez-Ramos; M. García-Muñoz; J. Galdón-Quiroga; L. Sanchís-Sánchez; the ASDEX Upgrade Team
Encuentros de Física Nuclear, VIII CPAN Days
Zaragoza (España)
28 al 30 de noviembre de 2016

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

Protonterapia SAS-CNA

J. Gómez Camacho I Workshop Español de protonterapia Madrid (España) 14 de diciembre de 2016

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

Non-destructive techniques for in situ studies of easel paintings: development and application of a X-ray micro-fluorescence confocal system

Kilian Laclavetine Directores: Dr. M. A. Respaldiza; Dr. F. Ager 20 de marzo de 2015

Caracterización no-destructiva de joyas arqueológicas de oro mediante Micro Fluorescencia de Rayos X

Simona Scrivano Directores: Dr. M. A. Respaldiza; Dra. I. Ortega Feliu; Dra. B. Gómez-Tubío 12 de junio de 2015

Medidas de Be-10 y Al-26 en Espectrometría de Masas con Acelerador de Baja Energía en el Centro Nacional de Aceleradores

Santiago Padilla Domínguez Directores: Dr. J. M. López Gutiérrez; Dr. M. García León 19 de noviembre de 2015

Evaluacion Radiologica de Materiales Radioactivos de Origen Natural en Mexico

Cruz Daniel Mandujano García Directores: Dr. Modesto Sosa; Dr. R. García-Tenorio 01 de febrero de 2016

Radiation Exposure to Natural Radioactivity in Crude Oil and Petroleum Waste from Oil Fields in Ghana: Modelling Risk Assessment and Regulatory Control. David Okoh Kpeglo Directores: Dr. E.O. Darkho; Dr. R. García-Tenorio; Dr. J. Mantero 01 de febrero de 2016

7.4.2 Proyecto de Fin de Máster / Final Master Project

Efecto del tamaño de las muestras en el sistema de AMS de baja energía MICADAS María Teresa Reina Maldonado Directores: F.J. Santos Arévalo; M. García León 15 de septiembre de 2016 Sobresaliente

7. Producción Científica / Scientific Production

7.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings

7.5.1 Cursos / Courses

Grado de Física Física Cuántica y Técnicas experimentales II Profesor: J. García López; M. Rodríguez; Miguel Angel Respaldiza 2014-2015; 2015-2016

Grado en Bellas Artes / Grado en Conservación de Bienes Culturales

2014-2015 Profesor: A. Kriznar

Máster de Física Nuclear

2014-2015 Profesor: J. García López; J. Gómez Camacho; Miguel Angel 2015-2016 Profesor: J. García López (Física Nuclear Aplicada 1)

Trabajo en salas limpias y flujos laminares

Profesor: L. Fernández Maza 13 de mayo de 2016

Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico

Datación por radiocarbono Profesor: F.J. Santos Arévalo Abril-Julio 2016

Métodos Físicos de Análisis de Capas Finas y Superficies de Sólidos

Profesor: J. García López 20 al 24 de junio de 2016

Curso Práctico de Métodos Cronométricos en Arqueología (Iber-Crono, Cronometrías para la historia de la Península Ibérica)

Datación por radiocarbono mediante AMS. Fundamentos del método y metodología básica para AMS Profesor: F.J. Santos Arévalo 20 de octubre de 2016

Rotación en radiofarmacia

Profesor: L. Fernández Maza; M. Balcerzyk 21 de noviembre al 23 de diciembre de 2016

7. Producción Científica / Scientific Production

7.5.2 Coloquios / Seminars

Ovarian Tissue Criopreservation

Dra. Christiani Amorim (Universidad de Lovaina) CNA Sevilla (España) 05 de marzo de 2015

Detección de Ca-41 con LEAMS: Metodología y perspectivas en SARA

Carlos Vivo Vilches (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 08 de abril de 2015

Accelerator Mass Spectrometry at CNA: results and new developments

Grazia Scognamilio (Centro Nacional de Aceleradores) CNA Sevilla (España) 30 de abril de 2015

Recent Gas Ionization Detector Developments at the Laboratory of Ion Beam Physics ETHZ

Dr. Arnold Muller (ETH-Zurich) CNA Sevilla (España) 07 de mayo de 2015

Datación por luminiscencia y dosimetría retrospectiva

Dra. Alicia Medialdea (Universidad de Sheffield) CNA Sevilla (España) 03 de junio de 2015

Nuevos derivados de naftaleno para el diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer. Colaboración CNA-CNEURO-CENTIS

Suchitil Rivera (CNEURO, Cuba) y Anais Prats (CENTIS, Cuba) CNA Sevilla (España) 18 de junio de 2015

Radiation exposure to natural radioactivity in crude oil and petroleum waste from oilfields in Ghana

David Okoh Kpeglo (Ghana Atomic Energy Comission) CNA Sevilla (España) 02 de octubre de 2015

7. Producción Científica / Scientific Production

Medidas de ⁴¹Ca a bajas energías en los sistemas de AMS de la ETH de Zúrich y el CNA

D. Carlos Vivo CNA Sevilla (España) 02 de junio de 2016

Respuesta celular a la irradiación

Dr. Pablo Huertas CNA Sevilla (España) 01 de julio de 2016

Reconociendo fuentes de CO₂ en la ciudad de México a partir de las variaciones temporales y espaciales de radiocarbono atmosférico

Dra. Laura Beramendi CNA Sevilla (España) 22 de julio de 2016

Recent developments in AMS at low energies at ETH Zurich

Dr. Christof Vockenhuber CNA Sevilla (España) 26 de octubre de 2016

7.5.3 Eventos / Meetings

International Conference on Accelerator Optimization Congreso Sevilla (España) 07 al 09 de octubre de 2015

WS-RADTEST

Workshop Sevilla (España) 31 de marzo al 01 de abril de 2016

Ensaf Workshop 2016

Congreso Sevilla (España) 19 al 21 de octubre de 2016

Scientific Methods for the Characterization, Restoration and Preservation of Metallic Archaeological Objects Workshop Sevilla (España)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

7. Producción Científica / Scientific Production

28 al 29 de noviembre de 2016

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

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

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

8.1 Estadísticas de uso / Statistics

Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator. En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador Tándem de 3 MV en los años 2015 y 2016.

In the next table, the 3 MV Tandem Accelerator statistics are shown.

Año 2015:	Year 2015:
Días en uso: 131 (60%)	In use: 131 (60%)
Días de mantenimiento: 15 (7%)	Maintenance: 15 (7%)
Días sin uso: 73 (33%)	Not in use: 73 (33%)

Año 2016:	Year 2016:
Días en uso: 90 (40%)	In use: 90 (40%)
Días de mantenimiento: 98 (44%)	Maintenance: 98 (44%)
Días sin uso: 35 (16%)	Not in use: 35 (16%)

<u>Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS).</u> En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador Tandetrón de 1 MV en los años 2015 y 2016.

In the next table, the 1 MV Tandetron Accelerator statistics are shown.

Año 2015:	Year 2015:
Días en uso: 85 (33%)	In use: 85 (33%)
Días de mantenimiento: 53 (21%)	Maintenance: 53 (21%)
Días sin uso: 118 (46%)	Not in use: 118 (46%)
Año 2016:	Year 2016:
Días en uso: 37 (15%)	In use: 37 (15%)
Días de mantenimiento: 85 (33%)	Maintenance: 85 (33%)
Días sin uso: 132 (52%)	Not in use: 132 (52%)

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 2015 y 2016.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

In the next table, the different radiopharmaceuticals, which are produced in the Cyclotron Accelerator, are shown.

Año 2015:	Year 2015:
Actividad de ¹⁸ F-FDG: 74.25 TBq	¹⁸ F-FDG activity produced: 74.25 TBq
19	10
Actividad de ^{1°} F-DOPA: 367.67 GBq	¹⁶ F-DOPA activity produced: 367.67 GBq
	11
Actividad de ¹¹ C-Colina: 3.94 TBq	¹¹ C-Colina activity produced: 3.94 TBq
	18
Actividad de ¹⁰ F-Neuraceq: 0.64 TBq	¹⁰ F-Neuraceq activity produced: 0.64 TBq
Año 2016:	Year 2016:
Actividad de ¹⁸ F-FDG : 80.48 TBq	¹⁸ F-FDG activity produced: 80.48 TBq
Actividad de ¹⁸ F-DOPA : 119.3 GBq	¹⁸ F-DOPA activity produced: 119.3 GBq
11	11
Actividad de ¹¹ C-Colina: 8.79 TBq	¹¹ C-Colina activity produced: 8.79 TBq
10	10
Actividad de ¹⁸ F-Neuracea: 5 70 TBa	¹⁸ F-Neuracea activity produced: 5.70 TBa

Laboratorio de Radiación Gamma / Gamma Radiation Laboratory. Los datos correspondientes a los años 2015 y 2016 al laboratorio RADLAB son mostrados en la siguiente tabla.

The statistics of the RADLAB Laboratory is shown at the following table.

Año 2015:	Year 2015:
Dosimetría y calibración: 18 (4%)	Dosimetry and calibration: 18 (4%)
Ensayos CNA: 76 (16%)	CNA studies: 76 (16%)
Ensayos ALTER: 324 (69%)	ALTER studies: 324 (69%)
Mantenimiento: 29 (6%)	Maintenance: 29 (6%)
Días sin uso: 25 (5%)	Not in use: 25 (5%)

Año 2016:	Year 2016:
Dosimetría y calibración: 19 (4%)	Dosimetry and calibration: 19 (4%)
Ensayos CNA: 152 (29%)	CNA studies: 152 (29%)
Ensayos ALTER: 313 (59%)	ALTER studies: 313 (59%)
Mantenimiento: 22 (4%)	Maintenance: 22 (4%)
Días sin uso: 23 (4%)	Not in use: 23 (4%)

<u>MiCaDaS / MiCaDaS.</u> En la siguiente tabla, se muestran los datos de uso correspondientes al Acelerador MiCaDaS en los años 2015 y 2016.

In the next table, the MiCaDaS statistics are shown.

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Año 2015:	Year 2015:
Días en uso: 27 (12%)	In use: 27 (12%)
Días de mantenimiento: 111 (39%)	Maintenance: 111 (39%)
Días sin uso: 90 (39%)	Not in use: 90 (33%)

Año 2016: Días en uso: 56 (25%) Días de mantenimiento: 75 (33%) Días sin uso: 97 (43%) Year 2016: In use: 56 (25%) Maintenance: 75 (33%) Not in use: 97 (43%)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

8.2 Gráficos estadísticos de uso de las instalaciones del CNA / CNA Facilities use statistics graphics

8.2.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator



Accelerator Statistics (2015)



Estadísticas de uso del Acelerador Tándem de 3 MV en el año 2016 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2016)

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 (2016)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

8.2.3 Laboratorio RADLAB / RADLAB Laboratory



Statistics (2015)



Estadísticas de uso del Laboratorio RADLAB en el año 2016 / RADLAB Laboratory Statistics (2016)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

8.2.4 MiCaDaS / MiCaDaS





Estadísticas de uso MiCaDaS en el año 2016 / MiCaDaS Statistics (2016)

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 en los años 2015 y 2016.

The CNA Facilities users, in 2015 and 2016, are shown in the following section.

Universidad Autónoma de Barcelona
Universidad Católica San Antonio de Murcia
Universidad Complutense de Madrid
Universidad de Barcelona
Universidad de Bolonia
Universidad de Cádiz
Universidad de Castilla la Mancha
Universidad de Córdoba
Universidad de Granada
Universidad de Huelva
Universidad de la Sorbona
Universidad de las Islas Baleares
Universidad de Pensilvania
Universidad de Santiago de Compostela
Universidad de Sevilla
Universidad de Vigo
Universidad de Valencia
Universidad de Zaragoza
Universidad del País Vasco
Universidad Nacional Autónoma de México
Universidad Politécnica de Cataluña
Universidad Politécnica de Madrid
Centro de Isótopos (Cuba)
Centre National d'Etudes Spatiales (Francia)
Centre of Advanced Research in Environmental Radioactivity (India)
Ciemat
École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Estación Biológica de Doñana (CSIC)
Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC)
Instituto de Biomedicina de Sevilla
Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC)
Instituto de Ciencias del Mar (CSIC)
Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular
Instituto de Historia (CSIC)
Instituto de Microelectrónica de Barcelona (CSIC)
Instituto Geológico y Minero de España (CSIC)
Instituto Milá y Fontanals (CSIC)

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Instituto Nacional de Antropología e Historia (México) Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Instituto Nacional del Carbón (CSIC) Physical Research Laboratory (India) Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Suiza) Asociación de la Industria de Navarra Ayuntamiento de Ademuz Ayuntamiento de Carmona Ayuntamiento de Colmenar Viejo Ayuntamiento de Guadassuar Ayuntamiento de Priego de Córdoba Ayuntamiento de O Vicedo Ayuntamiento de Vélez Málaga Cultur Arts Generalitat Diputación Foral de Álava Enresa Fundación Bosch i Gimpera Junta de Andalucía Museo de Historia de Cataluña Museo de Prehistoria Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) Organización Internacional de la Energía Atómica Alter Technology ARTE SRL Atics S.L EAI Arquitectura SLP Equipo de Arqueología Gestión Cultural Larrate Gestión del Patrimonio y Servicios Arqueológicos S.L.U. MAPRAD MP Ascensores Particulares SCIENTIFICA International S.L.U. Solar Mems Tecnologies TRAD

8. Estadísticas de uso de aceleradores y usuarios / Accelerators Statistics and users

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Calidad / Quality



9. Calidad / Quality

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Calidad / Quality

9. Calidad / Quality

9. 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).

9. 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

9. 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.

9.1 Componentes de la Unidad de Calidad / Quality Unit Members

- -Dr. 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
- -D. Sergio David León Dueñas, Miembro

Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

9. Calidad / Quality