



Memoria de Investigación 2009-2010

Research Report 2009-2010

Av. Thomas Alva Edison nº 7 (E-41092) (Sevilla-España)

Parque Tecnológico Cartuja´93

Phone: (+34) 954.460.553 // Fax: (+34) 954.460.145

E-mail: cna@us.es

Web: www.cna.us.es



PROYECTO COFINANCIADO
POR LA UNIÓN EUROPEA

FONDO EUROPEO DE
DESARROLLO REGIONAL

Índice / Index

Capítulo / Chapter	Página
1. Presentación / Presentation	5
2. Estructura / Structure	9
2.1 Dirección del Centro / Centre Management	9
2.2 Junta Rectora / Governing Board	10
2.3 Comité Científico / Scientific Committee	10
2.4 Personal del Centro / Centre Staff	10
2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit	10
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	11
2.4.3 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physics Research Unit	11
2.4.4 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit	12
2.4.5 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit	12
2.4.6 Unidad de Investigación en Análisis de Contaminantes del Medio Terrestre mediante Técnicas basadas en Aceleradores (ACOMETA) / Analysis of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-based techniques Research Unit (ACOMETA)	13
2.4.7 Unidad de Divulgación Científica / Outreach Unit	13
2.4.8 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular Staff at CNA	13
2.5 Datos del Centro / General information about CNA	14
3. Infraestructuras / Infrastructure	15
3.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	16
3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines	17
3.1.2 Técnicas disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / Available techniques at 3 MV Tandem accelerator	20
3.2.1 Laboratorios del Acelerador Tándem de 3 MV / 3MV Tandem Accelerator Laboratories	23
3.2 Ciclotrón / Cyclotron	27
3.2.1 Línea de Haz de Experimentación / Experimental Beam Line	30
3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron laboratories	35
3.2.3 Radiofarmacia e Imagen Molecular / Radiopharmacy and Molecular Imaging	41
3.2.4 Tomógrafo PET y CT para pequeños animales / Small animal PET and CT	42
3.3 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / 1 MV Tandetrón Accelerator with Mass Spectrometer	44
3.3.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service	48

3.3.2 Laboratorios asociados al Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / AMS Laboratories	49
4. Investigación / Research	53
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	53
4.1.1 Ciencia de Materiales / Materials Science	54
4.1.2 Medio Ambiente / Environment	55
4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage	58
4.1.4 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facility	60
4.2 Unidad de Investigación en Física Nuclear Básica / Basic Nuclear Physics Research Unit	62
4.2.0 Introducción / Introduction	62
4.2.1 Desarrollo de sistemas de detectores de trazado de partículas para futuros aceleradores / Development of Tracking Systems Detectors for future particle accelerators	64
4.2.2 Desarrollo de electrónica rápida para detectores de trazado de partículas / Fast electronics development for particle tracking detectors	67
4.2.3 Desarrollo de diagnóstico y técnicas de medida para futuros aceleradores de partículas / Development of diagnostic and measurements techniques for future particles accelerators	68
4.2.4 Aplicaciones de instrumentación y reacciones nucleares en Física Médica / Applications of Nuclear Instrumentation and Reactions to Medical Physics	70
4.2.5 Estudio de reacciones nucleares de núcleos estables y exóticos / Study of nuclear reactions of stable and exotic nuclei	74
4.2.6 Física de neutrones y aplicaciones en Astrofísica de Partículas / Neutron physics for Nuclear Astrophysics and Nuclear Power Generation	76
4.3 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit	78
4.3.1 Aplicación de microPET/TAC en el seguimiento de terapias antitumorales / MicroPET/CT application to monitor antitumour therapies	78
4.3.2 Medidas de la concentración de los agentes crioprotectores en órganos mediante tomografía axial computarizada (TAC) / Concentration of cryoprotectant agents measurements in organs by X-ray computed tomography (CT)	80
4.3.3 Imagen multimodal de glioma gl261 en ratones in vivo utilizando PET / RMI / TAC / Multimodal imaging of gl261 glioma in mice in vivo using PET/MRI/CT	83
4.3.4 Metabolismo cerebral: Hipoxia-Isquemia / Cerebral metabolism: Hypoxia-Ischemia	85
4.4 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit	89
4.4.1 Aplicaciones de AMS a la detección de radionúclidos en residuos radiactivos / Applications of AMS to the determination of radionuclides in nuclear waste	89

4.4.2 Medida de ^{129}I en muestras ambientales / ^{129}I Measurement in environmental samples	91
4.4.3 Medida de actínidos por AMS / Actinides Measurement by AMS	94
4.4.4 Medidas de ^{26}Al / ^{26}Al Measurements	96
4.4.5 Medida de ^{14}C / ^{14}C Measurement	97
4.5 Unidad de Investigación en Análisis de Contaminantes del Medio Terrestre mediante Técnicas basadas en Aceleradores (ACOMETA) / Analysis of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-based techniques Research Unit (ACOMETA)	100
5. Producción Científica / Scientific Production	103
5.1. Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects, Conventions and Contracts	103
5.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects	103
5.1.2 Proyectos Nacionales / National Projects	103
5.1.3 Convenios y contratos / Conventions and Contracts	108
5.1.4 Otros Proyectos / Other Projects	109
5.2. Artículos publicados / Published Articles	110
5.2.1 Artículos ISI / ISI Articles	110
5.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles	123
5.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books	132
5.3 Participación en Congresos / Meeting Participations	134
5.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings	134
5.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings	143
5.4 Tesis Doctorales, DEA y Trabajo Fin de Carrera / Theses, DEA and Final Year Projects	149
5.4.1 Tesis Doctorales/ Theses	149
5.4.2 Diploma de estudios avanzados (DEA) / Advanced Studies Diploma	150
5.4.3 Proyecto de Fin de Carrera (TFC) / Final Year Project	151
5.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings	151
5.5.1 Cursos / Courses	151
5.5.2 Coloquios / Seminars	152
5.5.3 Eventos / Meetings	154
6. Programa de Divulgación Científica / Outreach Program	155
6.1 Presentación / Presentation	155
6.2 Equipo de Trabajo / Work Group	158
6.3 Actividades / Activities	158
6.3.1 Año 2009 / Year 2009	158
6.3.2 Año 2010 / Year 2010	160
7. Estadísticas de uso de los Aceleradores / Accelerators Statistics	163
7.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	163
7.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV para AMS / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS)	163
7.3 Laboratorio de Producción de FDG del Ciclotrón / Cyclotron-FDG Production Laboratory	164

7.4 Gráficos estadísticos de los Aceleradores Tándem de 3 MV y Tandetrón de 1 MV / 3 MV Tandem and 1 MV Tandetron Accelerators statistics graphics	164
7.4.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator	164
7.4.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV / 1 MV Tandetron Accelerator	165
8. Tarifas por Prestaciones de Servicios / Prices of the Services Offered by CNA	167
8.1 Uso de tiempo de haz en el Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator beam time	167
8.2 Análisis de Espectros y elaboración de Informes/ Data Analysis and Reports	169
8.3 Medidas de ¹⁴ C y Datación / ¹⁴ C Measurements and Radiocarbon Dating	169
8.4 Uso del Animalario y del Micro-PET / Animal PET Scanning and animal cabinet	170
8.5 Postratamiento de las imágenes, análisis y elaboración de informes / Image processing, data analysis and reports	171
8.6 Análisis de Isótopos de Plutonio, ²³⁹ Pu y ²⁴⁰ Pu, por AMS / Pu isotopes analysis ²³⁹ Pu and ²⁴⁰ Pu, by AMS	172

1. Presentación / Presentation

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 pretende ser una introducción a la estructura, el personal, y el equipamiento del centro, además de contener, por supuesto, la investigación realizada durante los años 2009 y 2010. Con ello pretendemos mostrar las capacidades del CNA, con el ánimo de favorecer el establecimiento de colaboraciones con los sectores científicos y tecnológicos.

El bienio 2009-2010 ha sido intenso para el centro. El CNA celebró en Octubre de 2009 el décimo aniversario de su constitución. Hemos obtenido la consideración de Centro Colaborador de la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA), como prueba de nuestra vocación Internacional. Hemos obtenido, por otro lado, el Premio a la Implicación Social, otorgado por los Consejos Sociales de las Universidades de Andalucía, lo cual refleja nuestra relevancia en un ámbito más cercano. Nuestro compromiso con la calidad se ha visto reconocido por las certificaciones de calidad ISO 27001 e ISO 9001.

La crisis económica que está afectando a todos los ámbitos de la sociedad ha hecho que los años 2009-2010 hayan sido difíciles desde el punto de vista presupuestario. No obstante, a pesar de las reducciones en el presupuesto ordinario, hemos logrado mantener y aumentar nuestra actividad, mediante la obtención, por parte de los investigadores del centro, de recursos en convocatorias competitivas, a nivel europeo, nacional y regional, que se recogen en la memoria. También hemos logrado mantener y aumentar los acuerdos y convenios con otras entidades, como las empresas IBA y ENRESA y el CIEMAT.

La investigación realizada por las unidades de investigación del CNA durante el bienio 2009-2010 se recoge en la memoria. Es difícil resumir brevemente la labor realizada durante estos años, No obstante, como muestra de la variedad de la investigación realizada, y las posibilidades del centro, cabría mencionar algunos ejemplos. Hemos producido radiofármacos de investigación, que han permitido realizar estudios utilizando imagen PET de la evolución de tumores en ratones y ratas, en colaboración con el hospital Virgen del Rocío de Sevilla. El desarrollo y equipamiento de la línea externa del ciclotrón ha permitido la utilización de los haces del CNA para puesta a punto y desarrollo de detectores, en colaboración con el CIEMAT y otros centros del CSIC. La utilización del acelerador tándem, debidamente pulsado, ha permitido la determinación más precisa conocida hasta ahora de la vida media del núcleo

radioactivo ^8Li , en colaboración con la Universidad de Granada y el LPC-Caen (Francia). Pruebas de irradiación con iones altamente ionizados han mostrado el impacto de la radiación en circuitos, simulando condiciones del espacio exterior. Se han desarrollado medidas muy precisas por AMS de la concentración de radionúclidos como Yodo 129 y Plutonio 239-240, que han permitido la realización de diversos estudios ambientales, en colaboración con la IAEA y la Universidad de Lund.

El acceso al CNA puede realizarse a través de los servicios prestados por el centro. Actualmente, los servicios más demandados son las medidas por técnicas IBA y la datación por radiocarbono. De esta forma, investigadores, empresas o particulares, pueden enviar sus muestras al CNA, y obtener información sobre su composición elemental por técnicas IBA, en general no destructivas, o sobre la edad de la muestra mediante la medición precisa de la cantidad de Carbono 14.

La divulgación científica tiene gran importancia en el CNA. Existe un programa de divulgación, que organiza visitas semanales al centro por parte de alumnos de secundaria y bachillerato. Aproximadamente, tenemos 1400 visitas anuales a las instalaciones del centro. También participamos en la Feria de la Ciencia de Sevilla, y en la Semana de la Ciencia del CSIC.

Los logros obtenidos requieren de un equipo humano, que con esfuerzo y dedicación, haga frente a los retos siempre cambiantes que implica el trabajo en el centro. El personal científico ha de compaginar la realización de su propia investigación, con el apoyo a los investigadores externos y la búsqueda de financiación para la investigación. El personal técnico debe afrontar el reto de mantener el complejo equipamiento en condiciones óptimas, sacándole el máximo partido en las condiciones exigentes que requiere la investigación. El personal administrativo debe afrontar los retos asociados a las fuentes diversas de financiación y a la complejidad de la gestión asociada al carácter de centro mixto dependiente de tres entidades. Deseo hacer constar mi agradecimiento a todo el personal del centro, ya que cada uno desde su responsabilidad, hacen posible el trabajo del CNA.

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

Marzo 2011

Joaquín Gómez Camacho

Director del CNA

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

This report aims to be an introduction to the structure, the personnel and the facilities of the Centre, while it also contains the research carried out during 2009-2010. In this way, we want to show the capacities of CNA, in order to promote collaborations with the scientific and technological communities.

The years 2009-2010 have been intense for the centre. CNA celebrated in October 2009 its X anniversary. We have been designated as Collaborative Centre of the International Atomic Energy Authority (IAEA), showing our international vocation. We have obtained a prize for the Social Involvement, awarded by the social councils of the universities of Andalucía, indicating our relevance in the closer environment. Our compromise with quality of services and procedures has been recognized with the quality certificates ISO 27001 and ISO 9001.

The economic crisis that is affecting society at large has made that the years 2009-2010 have been difficult from the budget perspective. However, despite budget reductions, we have been able to maintain and increase our activity, because the CNA researchers have obtained research funds in competitive calls, as is mentioned in the report. Also, we have been able to maintain and expand agreements with companies such as IBA and ENRESA, and other centres such as CIEMAT.

The research carried out by the units in CNA is presented in the report. It is difficult to summarize briefly the research carried out during these years. However, to have a flavour of the variety of research carried out, and the possibilities of the centre, some examples can be mentioned. We have produced radio-pharmaceuticals, which have allowed to carry out PET images to study the evolution of tumours in mice and rats, in collaboration with local hospitals. The external beam line of the Cyclotron has allowed to perform studies using particle beams to develop detector equipment, in collaboration with CIEMAT and other centres of CSIC. The Tandem beam has been pulsed, allowing to obtain the most accurate value so far of the lifetime of the nucleus Li-8, in collaboration with the University of Granada and LPC-Caen (France). Irradiation tests using highly ionized ions on electronic circuits have been used to model the effect of radiation in outer space. Very accurate measurements have been carried out by AMS, to determine concentrations of I-129 and Pu-239, 240, that allowed environmental studies in collaboration with IAEA and Lund University (Sweden).

CNA facilities can be accessed through the services provided. Presently, the most demanded services are measurements by IBA techniques, and radiocarbon dating. Researchers, companies or individuals can send their samples to CNA, and obtain

information of the elementary composition through IBA techniques, or the age of the sample, through the accurate C-14 determination.

Scientific outreach is very important in CNA. There is an outreach program, which organizes weekly visits to CNA by secondary school students. Approximately there are 1400 visits each year. We also participate in scientific fairs, and in the CSIC science week.

The results accomplished require a human team that, with effort and dedication, faces the challenges that appear in the daily work in the centre. The scientific personnel have to carry out its own research, give support to the external users and find resources for research. The technical personnel have to maintain the complex equipment in optimal conditions, and obtain the best performance in the demanding conditions required by research activities. The administrative personnel have to face the challenges associated to the management of diverse funding sources and the complexity of a mixed centre depending on three institutions. I wish to thank here all the personnel in the centre, because each one, from his responsibility, makes possible the work at CNA.

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

March 2011

Joaquín Gómez Camacho

CNA Manager

2. Estructura / Structure

El CNA surge del acuerdo entre la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el 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, that advice the Director on the scientific strategy and regulate the use of CNA infrastructure.

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 that provides administrative and technical support to the Centre and to the external CNA users.

2.1 Dirección del Centro / Centre Management

Director: D. Joaquín José Gómez Camacho

Vicedirector: D. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

Director Área Económica: D. Jerónimo Castilla Guerra

Subdirector Técnico: D. Celestino Ignacio Sánchez Angulo

2.2 Junta Rectora / Governing Board

- D^a. Carmen Peláez Martínez, Vicepresidenta de Investigación Científica y Técnica (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)
- D. Alfonso Caballero Martínez, Director del Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)
- D. Manuel García León, Vicerrector de Investigación (Universidad de Sevilla)
- D. Luis Onieva Giménez, Vicerrector de Transferencia Tecnológica (Universidad de Sevilla)
- D. Francisco Andrés Triguero Ruiz, Secretario General de Universidades, Investigación y Tecnología (Junta de Andalucía)
- D^a. Sol Calzado García, Directora General de Investigación, Tecnología y Empresa (Junta de Andalucía)

2.3 Comité Científico / Scientific Committee

- D^a. Josefa Capel Martínez, Profesora Titular de Universidad, Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Granada
- D. José Antonio Odriozola Gordón, Catedrático de Universidad, Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Sevilla, Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla
- D. Ricardo Vázquez Albertino, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen del Rocío, Sevilla
- D. Emilio Galán Huertos, Catedrático de Universidad, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla
- D. José Manuel Llamas Elvira, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen de las Nieves, Granada
- D. Sebastián Cerdán García de Esteller, Científico Titular, Instituto de Investigaciones Biomédicas Alberto Sols, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- José Gonzalo de los Reyes, Científico Titular, Instituto de Óptica "Daza de Valdés", Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- D. Alberto Figueras Dagá, Profesor de Investigación, Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- D. Daniel Cano Ott, Investigador Titular, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

2.4 Personal del Centro / Centre Staff

2.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / Administration and Technical Unit

- D. Jerónimo Castilla Guerra, Director del área económico-administrativa
- D. Celestino Ignacio Sánchez Angulo, Subdirector del área técnica
- D. Arcadio Borrallo del Castillo, Administrativo

- D. Miguel Calderón Reyes, Auxiliar Administrativo
- D. Juan Ángel Labrador Bernal, Técnico Grado Medio Apoyo Docencia e Investigación
- D. Ángel Jesús Romero Serrano, Técnico de Aceleradores
- D. Juan Carlos Mateos Frutos, Técnico Auxiliar de Aceleradores
- D. Antonio Manuel Casado Sola, Técnico Auxiliar de Laboratorio
- D. Francisco Calle Blanco, Técnico Informático
- D. Sergio David León Dueñas, Técnico de Divulgación Científica y Comunicación

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

- D. Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
- D. Francisco José Ager Vázquez, Profesor Titular de Física Aplicada, Universidad de Sevilla.
- D^a. Blanca María Gómez Tubio, Profesora Titular de Física Aplicada, Universidad de Sevilla.
- D. Francisco Javier García López, Coordinador del Acelerador Tándem de 3 MV, Profesor Titular, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D^a. Inés Ortega Feliu, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación y Docencia
- D^a. Anabelle Kriznar, Contratada Programa Juan de la Cierva, Universidad de Sevilla.
- D^a. Yolanda Morilla García, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación y Docencia. PAS Laboral
- D. Francisco Javier Ferrer Fernández, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación y Docencia
- D^a. María del Carmen Jiménez Ramos, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación y Docencia
- D. Carlos Muñoz Luque, Becario de Investigación
- D^a. Ana Isabel Moreno Suárez, Becaria de Investigación
- D. Kilian Laclaventine, Becario de Investigación
- D^a. Simona Scrivano, Becaria de Investigación

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

- D. Joaquín Gómez Camacho, Director del CNA, Catedrático, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D. José Manuel Espino Navas, Profesor Titular del Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D. Marcos Álvarez, Dr. Contratado (programa Ramón y Cajal), Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D. Alessio Bocci, “Experienced Researcher” (ER) (contrato post-doctoral, asociación Marie Curie), Centro Nacional de Aceleradores
- D. Ziad Abou-Haidar, “Early Stage Researcher” (ESR) – (beca pre-doctoral, asociación Marie Curie) Centro Nacional de Aceleradores

- D. Francisco Javier Praena Rodríguez, Dr. Contratado (contrato post-doctoral, proyecto de Excelencia – Junta de Andalucía), Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D^a. Begoña Fernández Martínez, Técnico Titulado Superior (contrato del Ministerio de Innovación y Ciencia), Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D. Juan Pablo Fernández García, contrato de tesis doctoral (FPI), Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla
- D. Alejandro Garzón Camacho, Técnico Titulado Superior (proyecto CONSOLIDER – CPAN), Centro Nacional de Aceleradores

2.4.4 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit

- D. Joaquín Cobos Sabaté, Investigador C2A de la Junta de Andalucía
- D. Marcin Balcerzyk, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación
- D. Segundo Francisco García Argüello, Titulado Superior de Apoyo a la Investigación
- D. Ángel Parrado, Técnico de Laboratorio
- D^a. Isabel Fernández, Técnico de Laboratorio JAE-Tec

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

- D. Manuel García León, Vicerrector de Investigación, Universidad de Sevilla
- D^a. Helena Patricia Moreno González, Profesora Titular, Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla
- D. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda, Catedrático, Departamento de Física Aplicada II, E.T.S.A, Universidad de Sevilla
- D. Guillermo Manjón Collado, Profesor Titular, Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla
- D. José María López Gutiérrez, Profesor Titular, Doctor, Departamento de Física Aplicada I, E.U.P Universidad de Sevilla
- D. José Luis Mas Balbuena, Profesor Titular, Doctor, Departamento de Física Aplicada I, E.U.P Universidad de Sevilla
- D. Francisco Javier Santos Arévalo, Titulado Superior Especializado del CSIC
- D^a. Isabel Gómez Martínez, Titulada de Grado Medio de Apoyo a la Docencia e Investigación
- D^a. Elena Chamizo Calvo, Titulado Superior de Apoyo a la Docencia y a la Investigación, dentro del programa de Técnicos de Apoyo de Infraestructuras, del Ministerio de Ciencia e Innovación
- D. José Manuel Gómez Guzmán, Titulado Superior de Apoyo a la Docencia y a la Investigación, dentro del programa de Técnicos de Apoyo de Infraestructuras, del Ministerio de Ciencia e Innovación
- D. Santiago Padilla, Becario de Investigación US
- D^a. Lidia Agulló, Técnico Superior del CSIC
- D. Juan Ignacio Peruchena Fernández, Técnico de Laboratorio de la FIUS

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

- D. Emilio Galán Huertos, Catedrático, Dpto. Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla
- D^a. Isabel González Díez, Catedrática, Dpto. Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla
- D. Antonio Romero Baena, Profesor Ayudante Doctor, Dpto. Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla
- D. Jesús Damián de la Rosa Díaz, Profesor Titular Universidad, Dpto. de Geología. Universidad de Huelva
- D. Juan Carlos Fernández-Caliani, Profesor Titular Universidad, Dpto. de Geología. Universidad de Huelva
- D^a. Ana M^a Sánchez de la Campa Verdone, Investigadora Contratada Programa Juan de la Cierva. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
- D. Juan Pedro Bolívar Raya, Catedrático, Departamento de Física Aplicada. Universidad de Huelva
- D. Federico Vaca Galán, Profesor Titular Universidad, Departamento de Física Aplicada. Universidad de Huelva
- D. Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, Profesor Titular Universidad, Departamento de Física Aplicada. Universidad de Huelva

2.4.7 Unidad de Divulgación Científica / Outreach Unit

- D. Jerónimo Castilla Guerra, Coordinador
- D. Sergio David León Dueñas, Técnico de Divulgación Científica y Comunicación
- D^a. Inmaculada Díaz Francés, Becaria Divulgación Científica
- D. José Antonio Galván Moreno, Becario Divulgación Científica
- D^a. Celia Falcón Carrero, Becaria Divulgación Científica
- D^a. Elisa Eugenia Jiménez Ortega, Becaria Divulgación Científica
- D. Jesús Herrera García, Becario Divulgación Científica

2.4.8 Personal de IBA Molecular en el CNA / IBA Molecular Staff at CNA

- D. Federico Moreno Jiménez, Director técnico
- D^a. Elena Santos Prieto, Responsable de producción
- D^a. Mercedes Serrano Sánchez-Toscano, Responsable de investigación
- D. Lázaro García Pérez, Ingeniero de servicio
- D. José Antonio Durán Suárez, Técnico de laboratorio
- D. Ildefonso Mazo Cabrera, Técnico de laboratorio
- D. Manuel Blasco Espinosa, Técnico de laboratorio
- D^a. Sonia López Navas, Técnico de laboratorio
- D. Jorge Ocaña Layosa, Técnico de laboratorio
- D^a. Pilar Ellston, Técnico de laboratorio
- D^a. Purificación López Martín, Administrativa

2.5 Datos del Centro / General Information about CNA

El CNA es un Centro abierto a la comunidad científica española e internacional presente en la Universidad o en otros organismos públicos de investigación, así como a la empresa pública y privada, hospitales y otros organismos que necesiten usar sus instalaciones.

El apoyo del personal del Centro se puede encontrar en las siguientes direcciones:

The CNA is a centre that is open to the Spanish and the international scientific community belonging to the University or to other public research institutions, public and private companies, hospitals or other institutions that require the use of the facilities.

Help from CNA personnel can be found at the following addresses:

Nombre / Name	Centro Nacional de Aceleradores (CNA)
Dirección / Address	Avenida Thomas Alva Edison nº 7
Ubicación / Location	Parque Tecnológico Cartuja 93
Ciudad / City	Sevilla / <i>Seville</i>
País / Country	España / <i>Spain</i>
Código Postal / Postal Code	E-41092
Teléfono / Phone	(+34) 954.460.553
Fax	(+34) 954.460.145
E-mail	cna@us.es
Web	www.cna.us.es

3. Infraestructuras / Infrastructure

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 hasta ahora se han instalado 2 aceleradores más junto con las técnicas asociadas a los mismos. Actualmente el CNA dispone, pues, de 3 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 y un acelerador de tipo tándem Cockcroft-Walton de 1 MV (llamado Tandetrón) que realmente es un espectrómetro de masas.

Con estos aceleradores se ponen a disposición de la comunidad investigadora 3 herramientas de investigación únicas acompañadas de las técnicas IBA (Ion Beam Analysis) para la caracterización de materiales, las técnicas de modificación e irradiación de materiales, la de producción de radionucleidos PET (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) y la Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) de la que deriva un Servicio de datación por ^{14}C mediante AMS. El desarrollo de las técnicas que ponemos a disposición de la comunidad investigadora se facilita por la existencia de laboratorios de investigación para la preparación de muestras dotadas con material suficiente que permite llevar a cabo la mayoría de las preparaciones necesarias.

A continuación se describe en detalle la infraestructura disponible.

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 two other accelerators and techniques associated to them are available. Therefore, the CNA has three particle accelerators: a 3 MV van de Graaff tandem accelerator, a cyclotron that supplies 18 MeV protons and 9 MeV deuterons, and a 1 MV Cockcroft-Walton tandem accelerator (called Tandetron) which is indeed a mass spectrometer.

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, production of radionuclides (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) for Positron Emission Tomography (PET) and Accelerator Mass Spectrometry (AMS) that includes a ^{14}C dating service using AMS. At CNA, there are also research laboratories for sample preparation that facilitate the application of the presented techniques.

The existing infrastructure at CNA will be described in the following sections of this report.

3.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

El primer acelerador en el CNA fue un Tándem de tipo Pelletron, modelo 9SDH-2, de National Electrostatics Corporation (NEC). Este acelerador está principalmente dedicado a la caracterización y modificación de materiales mediante el uso de técnicas IBA.

Los iones se obtienen de tres fuentes de iones (Figura 3.1). 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 siete líneas de trabajo disponibles.

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

The first accelerator at CNA was a Pelletron 3 MV Tandem, model 9SDH-2, made by National Electrostatics Corporation (NEC). It is primarily focused on material characterisation and modification by means of IBA techniques.

Ions are produced by three ion sources (Figure 3.1). 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) that 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 that is situated after the accelerator includes several instruments for focusing, steering and monitoring the beam. At the line end, the beam can pass directly to the 0° line or it can be deflected by the switcher magnet towards one of the seven beam lines.

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



Figura 3.1: Fuentes de iones / Ion sources

3.1.1 Líneas de haz / Beam Lines

Actualmente hay siete líneas de haz disponibles para caracterizar y modificar materiales, así como para realizar investigaciones en Física Nuclear Básica.

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

Línea de -45°: Cámara de dispersión en ultra-alto vacío. En esta cámara es posible realizar espectroscopia de emisión fotoelectrónica con rayos X (XPS) y experimentos mediante técnicas IBA.

El sistema de ultra-alto vacío permite llevar a cabo análisis precisos de superficie de materiales. También es posible la preparación de muestras mediante distintos métodos.

Línea de -30°: Línea de Física Nuclear Básica. El uso de esta línea es el de la preparación de instrumentos que posteriormente se utilizarán en instalaciones internacionales de Física Nuclear. (Más información en el apartado 4.2.0 "Introducción" en la sección 4.2 "Unidad de Investigación en FNB")

Línea de -15°: Microsonda Nuclear. El sistema de focalización está fabricado por Oxford Microbeam Ltd. Con este sistema es posible incidir sobre la muestra con un haz de pocas micras. El modo de barrido permite obtener mapas elementales que dan a

conocer la distribución espacial de concentraciones en las muestra. Las bobinas del sistema de barrido permiten un área máxima de barrido de $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$ para protones de 3 MeV.

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

Línea de +15°: Cámara de irradiación. Esta cámara diseñada en el CNA tiene como objetivo la irradiación de grandes superficies ($16 \times 20 \text{ cm}^2$) barridas por el haz mediante un deflector magnético.

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

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

Esta línea también incluye una Beam Profile Monitor (BPM) y una cámara de Faraday. La cámara está equipada con dos detectores de partículas y un detector de rayos-X. El portamuestras está montado con un goniómetro de precisión que permite movimientos en los cuatro ejes y giros en la muestra en el plano XY respecto del haz.

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

Para obtener una buena resolución espacial ($\sim 60 \mu\text{m}$), se han adquirido un conjunto de elementos fabricados por Oxford Microbeams, incluida una abertura que se define con cuatro movimientos de precisión y una nariz de salida con un ajuste micrométrico.

At the present time, there are seven 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).

-45° Beam Line: Ultra-High Vacuum (UHV) Scattering Chamber. X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and IBA techniques are performed in this chamber and the UHV system permits the precise analysis of material surfaces. The preparation of samples by different methods is also possible.

-30° Beam Line: Nuclear Physics Beam Line. This is the line for the preparation of instruments to be used in international Nuclear Physics facilities. (More information within section 4.2.0 "FNB Research Introduction")

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

0° Beam Line: Multipurpose IBA Chamber. This target chamber has been designed to carry out RBS, PIXE, NRA and PIGE experiments simultaneously. A set of gamma-particle and X-Ray detectors is used to combine all these IBA techniques.

+15° Beam Line: Irradiation Chamber. This home-made scattering chamber has been designed to allow the irradiation of large areas ($16 \times 20 \text{ cm}^2$) by raster scanning of the beam through magnetic deflection. It is a movable beam line, in such a way that the complete system can be easily transported to the cyclotron when irradiation with high energy protons is required.

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

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

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

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



Figura 3.2: Líneas de haz / Beam lines

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- γ Inducidos por Partículas (PIGE)
- Emisión de Rayos-X Inducidos por Partículas (PIXE)

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

Las aplicaciones fundamentales de las técnicas IBA son:

Espectrometría de Retrodispersión Rutherford (RBS). La técnica de análisis RBS es multielemental y no-destrucciona. Mediante RBS es posible conocer la composición elemental (estequiometría) sin estándar y obtener los perfiles elementales de concentración en profundidad. También pueden conocerse las impurezas superficiales

y la distribución de impurezas en profundidad. Se pueden medir espesores de láminas delgadas y de interfases. Mediante el uso de Canalización-RBS se pueden determinar la localización de impurezas en la red de un monocristal así como la distribución de defectos en profundidad en el mismo.

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

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

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

Además de estas técnicas de análisis, se dispone de capacidad para la modificación de materiales. Esto ofrece posibilidades de trabajo muy atractivas. Hay que resaltar que la implantación iónica ha supuesto una revolución en campos como la microelectrónica, la metalurgia o la fabricación de implantes biológicos. La mayoría del trabajo llevado a cabo en este dominio ha sido realizado con pequeños aceleradores electrostáticos que aceleran los iones desde algunas decenas hasta algunas centenas de keV. Hoy en día va tomando cada vez más interés la implantación a más altas energías (algunos MeV) que permite obtener perfiles de implantación más profundos. La línea de implantación del CNA permite realizar trabajos de irradiación de materiales para el posterior análisis de los efectos producidos por irradiación. Esta línea se comparte con el ciclotrón, donde las aplicaciones en tecnología aeroespacial adquieren una mayor relevancia. Por otro lado, el acoplamiento de un detector de radiación X en la cámara de vacío permite además complementar el análisis de materiales mediante la técnica PIXE a altas energías.

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

-Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)

- Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)
- Nuclear Reaction Analysis (NRA)
- Particle Induced γ -Ray Emission (PIGE)
- Particle Induced X-Ray Emission (PIXE) Analysis

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

The fundamental applications of the IBA techniques are:

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

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

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

Particle Induced X-Ray Emission (PIXE) Analysis. PIXE is a non-destructive technique that is used to obtain multielemental information of trace elements and major elements. It is used jointly with RBS for accurate mass identification of medium to heavy elements with similar masses and with NRA and PIGE for the study of elements with $Z < 12$. It is possible to determine lattice location of impurities in single crystalline samples using Channelling-PIXE.

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

affords deeper implantation profiles. The CNA implantation line allows material irradiation work and the analysis of the effects produced by the bombardments. This line is shared with the cyclotron, where the applications in aerospace technology acquire a greater relevance. On the other hand, the coupling of an X-Ray detector to the vacuum chamber permits the analysis of materials by high-energy PIXE.

3.2.1 Laboratorios del Acelerador Tándem de 3 MV / 3MV Tandem Accelerator Laboratories

Laboratorio de Fluorescencia y Transmisión / X-Ray fluorescence and GRT Laboratory

Este laboratorio cuenta con una serie de fuentes radioactivas y de tubos de rayos X asociados a distintos proyectos del grupo de investigación de Física Nuclear Aplicada. Este equipamiento está dedicado al estudio de diferentes objetos y materiales, especialmente en el campo del Arte y de la Arqueometría. Esto permite realizar análisis independiente o complementariamente a los análisis llevados a cabo en el acelerador Tándem.

Las dos técnicas de las que se dispone son XRF y GRT. La técnica de Fluorescencia de Rayos X, XRF, es una técnica no destructiva similar a PIXE pero de menor coste y con equipos portátiles. Permite conocer la composición elemental superficial de las muestras. La técnica de Transmisión de Rayos Gamma, GRT, es una técnica no destructiva complementaria tanto para XRF como, incluso, para PIXE. Basada en la atenuación que sufren los rayos gamma al atravesar la muestra, proporciona información complementaria sobre la composición elemental volumétrica de dicha muestra.

Our laboratory utilizes radioactive sources and X-ray tubes that are associated to several research projects of the Nuclear Applied Physics group. This laboratory is devoted to the study of objects and artefacts, especially in the fields of Art and Archaeometry. The use of such equipment makes possible the analysis of materials independently or complementarily to the use of the Tandem accelerator.

This laboratory disposes two techniques, XRF and GRT. X Ray Fluorescence, XRF, is a non destructive technique similar to PIXE but with portable equipment and low cost. It allows know the superficial elementary composition of the sample. Transmission Gamma Ray Technique, GRT, is a non destructive technique, such as XRF, and complementary to XRF and PIXE. It is based on attenuation that gamma rays suffer when they cross the sample and it give us complementary information about volumetric elemental composition of this sample.



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

Laboratorio de Detectores / Detectors Laboratory

La experiencia acumulada a lo largo de los últimos años en colaboración con distintas instalaciones científicas internacionales en el desarrollo de sistemas de detectores de trazado de partículas, está permitiendo la puesta en marcha de un laboratorio de detectores y otro de electrónica específica para detectores, en el CNA, lo cual ha sido previsto en los proyectos de infraestructura del centro. Con la definición, en 2009, del espacio a ser ocupado por cada laboratorio, en 2010 iniciamos la compra, instalación y diseño de los primeros equipos y herramientas.

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

Experience accumulated recent years, in collaboration with various international scientific facilities in the development of tracking detectors, is allowing implementation of a laboratory of detectors and other for specific electronics for detectors in the CNA, which is planned in the infrastructure projects of CNA. With the definition of the space to be occupied by each laboratory in 2009, in 2010 we initiated the purchase, installation and design of the top teams and tools.

Detectors lab already has a weighing and protection cabinets by TELSTAR, capable of generating a considered working environment clean. A laminated airflow allows working with open detectors and manipulating with more security different parts inside an isolated environment. That way, it can be minimized the risks of rupture or contamination of such parts by different types of accidents or the presence of impurities in the environment. The laboratory also has different equipment and tools to operate or ride parts of certain prototypes of particle detectors, primarily mini prototypes of secondary electron detectors at low pressure (SED). The aim is further equipping these laboratories in the coming years, according to priorities and needs of it, within the budgets of the CNA.

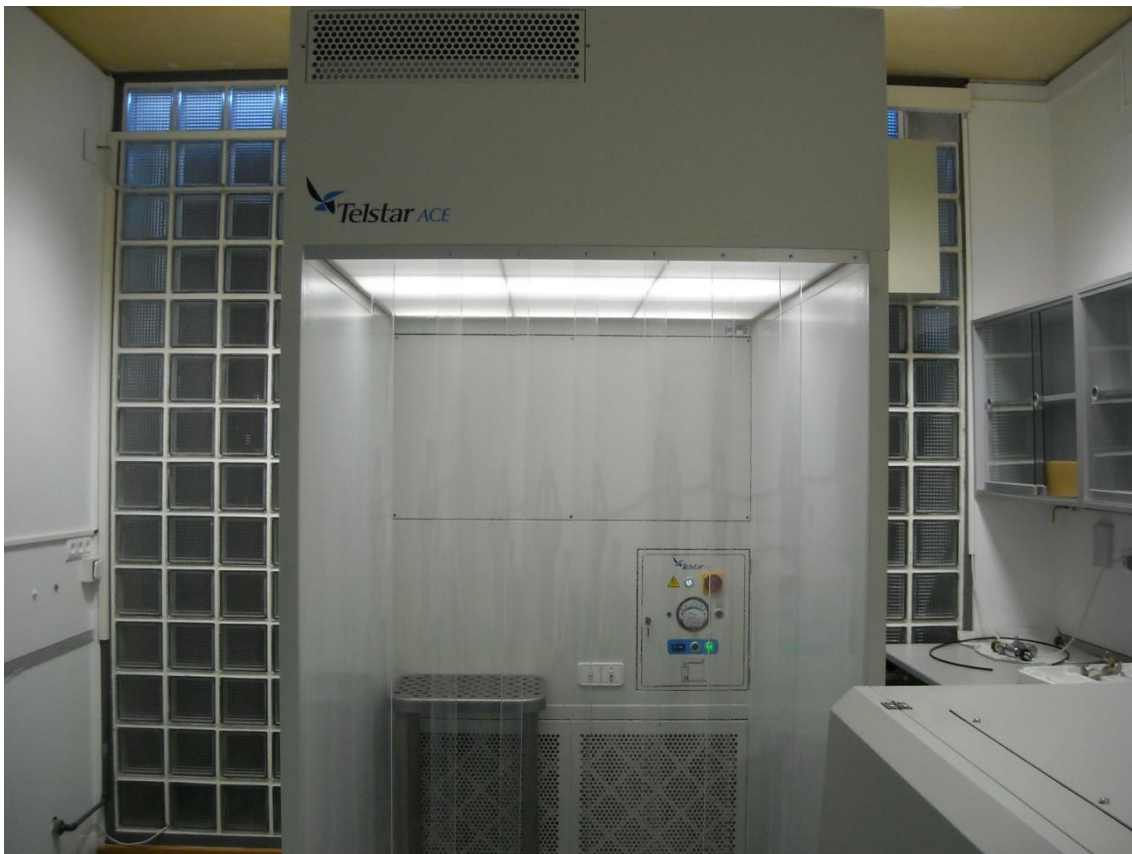


Figura 3.4: Laboratorio de detectores / Detectors Laboratory

Laboratorio de Electrónica Multipropósito / Multipurpose Electronics Laboratory

Con la experiencia obtenida junto al grupo de diseño de circuitos integrados y de señal mixta (TIC-179) del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE), perteneciente al Centro Nacional de Microelectrónica (CNM), la unidad de investigación de FNB trabaja

en el montaje de un laboratorio de electrónica multipropósito. El objetivo es montar 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 aquellas referentes a electrónica que puede ser probada como parte de la instrumentación nuclear asociada a los detectores de partículas. El laboratorio ya 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.

Por otro lado, en 2009-2010, de manera complementaria, la unidad FNB ha tenido acceso y utilizado las instalaciones del IMSE para el diseño y testeo de los circuitos y sistemas que compondrán el frontal electrónico necesario para procesar las señales de carga procedentes de los prototipos de los detectores de electrones secundarios.

Thanks to the experience of the collaboration with "Grupo de Diseño de Circuitos Integrados y de Señal Mixta" (TIC-179) from "Instituto de Microelectrónica de Sevilla" (IMSE-CNM), FNB Unity is developing a multipurpose electronics laboratory at CNA facilities. The objective is to have different systems for electrical simulations and design software, development of printed circuit boards (PCB), soldering, improvement and testing. In fact, it will be possible to implement all the steps for developing electronics front-ends for particle tracking detectors. Nowadays, there are a lot of electrical instrumental like high speed and sampling oscilloscope, power supply, arbitrary function generator, multimeter, etc., in the multipurpose electronics laboratory at CNA. There is a digital soldering/desoldering station with fume extraction, too. Different cables and connectors may be used as well as a personal computer where electrical licensed software is installed.

However, FNB Unity has had access to IMSE-CNM Labs facilities since 2009 for designing, developing and testing electronics front-ends like SEDA to process current signals from Secondary Electron Detectors prototypes.

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

A pesar de que generalmente las muestras que se miden por técnicas IBA no necesitan de una exhaustiva preparación, el laboratorio asociado al acelerador Tándem de 3 MV dispone del equipamiento necesario para realizar diversos tratamientos a las muestras previos a su estudio. 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 lab has the necessary equipment to carry out different treatments to the samples before they are studied. The laboratory has own equipment such: a ball grinder, an agate mortars and a press for grinding, homogenization and pressing; a polisher with different laminas for the sample polishing; an oven for the sample calcining and a freeze drier. Also, the laboratory has various chemical products and reference standards, such as blood, ashes, soil.....



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

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.

El CNA dispone 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 (Figura 3.6). Las intensidades de corriente máximas que pueden ser extraídas en el blanco son de $80 \mu\text{A} \pm 10 \%$ para protones y de $35 \mu\text{A} \pm 10 \%$ para deuterones.

Asimismo, el ciclotrón Cyclone 18/9 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 Cyclone 18/9 del CNA / Cyclone 18/9 cyclotron at CNA

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

1- Blanco de volumen pequeño (0,4 ml) con agua enriquecida en ^{18}O en su interior ($[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$, pureza $>95\%$ en ^{18}O), para producir ^{18}F en forma de $[^{18}\text{F}]$ fluoruro mediante la reacción $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$.

2-3- Dos blancos de volumen grande (2 ml), con las cavidades fabricadas en niobio y rellenos de agua enriquecida en ^{18}O ($[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$, pureza $>95\%$ en ^{18}O). Están destinados también a la producción de ^{18}F en forma de $[^{18}\text{F}]$ fluoruro mediante la reacción nuclear $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$.

4- Blanco de 1,7 cm³ 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 60 cm³ que contiene una mezcla neón-flúor y utilizado en la obtención de ¹⁸F en forma de [¹⁸F] F₂ mediante la reacción ²⁰Ne (d, n) ¹⁸F.

6- Blanco gaseoso de 60 cm³, 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 cm³ relleno de una mezcla nitrógeno-oxígeno para la obtención de ¹⁵O en forma de [¹⁵O] O₂ mediante la reacción ¹⁴N (d, n) ¹⁵O.

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.

The CNA cyclotron, the Cyclone 18/9, was manufactured by IBA (Belgium) and accelerates protons and deuterons to 18 and 9 MeV respectively. The extracted maximum beam intensities in the internal target ports are 80 μA ± 10 % for protons and 35 μA ± 10 % for deuterons. Besides that, 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- Small-volume target (0.4 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.

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 cm³ target filled with an ethanol-water mixture for the in-target production of ¹³N in the form of [¹³N] ammonia using the ¹⁶O (p, α) ¹³N nuclear reaction.

5- 60 cm³ target containing a neon-fluorine gas mixture and used to produce ¹⁸F as [¹⁸F] F₂ by means of the ²⁰Ne (d, n) ¹⁸F nuclear reaction.

6- 60 cm³ target, where a nitrogen-oxygen mixture is bombarded with protons, obtaining ¹¹C as [¹¹C] CO₂ through the ¹⁴N (p, α) ¹¹C nuclear reaction.

7- 60 cm³ target filled with a nitrogen-oxygen mixture and used to produce ¹⁵O as [¹⁵O] O₂ by means of the ¹⁴N (d, n) ¹⁵O nuclear reaction.

8- Finally, there is an exit line (Experimental Beam Line) in the last target port that 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

La línea de experimentación del ciclotrón del CNA (Figura 3.7) ha sido diseñada con dos objetivos fundamentales: complementar el análisis de materiales mediante PIXE de alta energía, y estudiar el comportamiento de circuitos electrónicos y otros componentes con aplicaciones aeroespaciales frente a la irradiación con protones de 18 MeV. Actualmente, en ambos campos de investigación se están utilizando haces de protones de 18 MeV, aunque está en estudio el desarrollo de otras aplicaciones que requieran el uso de deuterones de 9 MeV. Asimismo, la utilización de degradadores permitiría realizar estudios con partículas de energía variable.

La línea de experimentación está compuesta por cuadrupolos, colimadores y tazas de Faraday que permiten controlar el tamaño, la forma y la corriente del haz. Dentro de la cámara de vacío ($P \approx 10^{-7}$ mbar) se aloja el portamuestras, que puede desplazarse horizontal y verticalmente, así como girarse respecto a un eje vertical. El portamuestras, junto a un juego de colimadores variables de aluminio, se encuentra eléctricamente aislado. La máxima densidad de corriente del dispositivo es del orden de $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($\approx 6 \times 10^{12}$ part. $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), aunque puede ser reducida drásticamente hasta el orden de 1×10^2 part. $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ mediante colimadores variables de grafito. Las partículas son directamente detectadas mediante un detector de centelleo plástico cuando se trabaja con densidades de corriente muy bajas, mientras que se conecta un integrador de corriente al portamuestras cuando se miden flujos por encima de 1 pA cm^{-2} . Además, se ha diseñado un sistema de barrido magnético con el objetivo de poder irradiar uniformemente una determinada superficie de la muestra, alcanzándose un máximo de $16 \times 20 \text{ cm}^2$ en el caso de protones de 18 MeV. Las frecuencias de los imanes, en horizontal y vertical, se ajustan entre 20 y 30 Hz y en pasos de 0.05 Hz para que el haz recorra el mismo camino cada 20 segundos seleccionando valores desfasados.

Tanto la cámara de reacción como el sistema de barrido están colocados sobre estructuras móviles, de manera que se pueden desmontar y acoplar con relativa facilidad a una de las líneas de experimentación del acelerador tándem de 3 MV. La singularidad del equipamiento disponible en el CNA hace que actualmente sea la única

instalación española donde es posible realizar estudios de irradiación con tal variedad de energías e iones (protones, deuterones, iones pesados) y sobre muestras de diverso tamaño.



Figura 3.7 Línea de experimentación acoplada al Acelerador Ciclotrón del CNA / Cyclotron ion implantation and irradiation beam line

The CNA beam transport line (Figure 3.7) has been installed in one of the target ports with two major purposes: to study the effects of 18 MeV proton irradiation on the behavior of electronic devices for space applications and to complement the analysis of materials using the 3 MV tandem accelerator with the PIXE measurements at high energy (HIPIXE). Currently, 18 MeV protons are utilized for both research lines, but other applications that may require 9 MeV deuterons are under study. The cyclotron provides a unique energy for protons and deuterons, but a series of degraders may be introduced in order to decrease the energy value at will.

The sample holder is placed inside the vacuum chamber ($P \approx 10^{-7}$ mbar) and has horizontal and vertical motions normal to the beam axis, as well as rotation around the vertical axes. The sample holder and an aluminum variable slit are electrically insulated from the rest of the vacuum chamber. The maximum current density of the experimental set-up is in the order of $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($\approx 6 \times 10^{12}$ particles $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) and can be drastically decreased to less than 1×10^2 particles $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ by using graphite definition slits. For these low ion fluxes, the particles are detected directly by using a plastic

scintillation detector. For higher fluxes, the current is measured directly on the sample holder. Furthermore, we have designed a magnetic beam scanning system which comprises two magnets for horizontal and vertical scanning. The purpose of this system is to sweep uniformly the beam over the sample surface. The biggest scanning area is $16 \times 20 \text{ cm}^2$ for 18 MeV protons and the frequency of the magnets can be adjusted from 20 to 30 Hz in steps of 0.05 Hz. Selecting out-of-phase values, the beam covers the same route every 20 seconds, guaranteeing the homogeneity of the scan.

The scanning system and the reaction chamber have been designed and built on two "rolling-structures", so that the connection to both accelerators (cyclotron and 3 MV tandem) can be done easily. The singularity of the existing equipment at CNA means this is the highest energy facility in Spain for material irradiation.

Los trabajos de investigación 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 3.8). Durante el transcurso del año 2010, se han realizado una serie de modificaciones en dicha línea conducentes a ampliar la versatilidad de este acelerador. Hasta ahora, 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. En cuanto a la energía de las partículas, el ciclotrón compacto está limitado a suministrar protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV.

The research that requires the use of protons and deuterons, with energies above 6 MeV, must be carried out in the cyclotron beam transport line (Figure 3.8). During the course of 2010, there have been a number of changes in the line leading to expand the versatility of this accelerator. Up to now, it had worked in vacuum coupling the portable irradiation and implantation line that can be fixed to both the 3MV tandem accelerator and the cyclotron. As for the energy of the particles, the compact cyclotron is limited to supply 18 MeV protons and deuterons of 9 MeV.

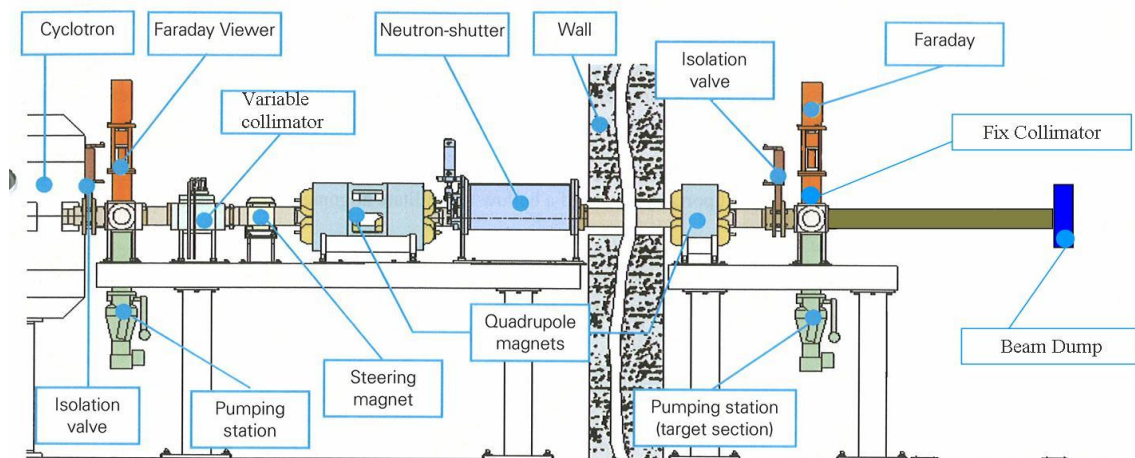


Figura 3.8: Línea de haz externo del Ciclotrón / Cyclotron external ion beam line

Se ha instalado una línea de haz externo propiamente dicho, ya que el haz de partículas sale al aire antes de incidir sobre el blanco, como puede apreciarse en la Figura 3.9. Desde el punto de vista analítico, esto representa algunas ventajas respecto al uso de una cámara de vacío, como la disminución del fondo en los espectros de rayos X adquiridos mediante la técnica PIXE. Por otro lado, el montaje de algunos experimentos de irradiación se simplifica, la temperatura que se alcanza en el blanco es inferior que trabajando en vacío, y el tamaño de las muestras a irradiar no está limitado por el de la cámara. Sin embargo, se dificulta la monitorización de la densidad de corriente del haz y en muchos casos hay que realizar medidas indirectas a través de calibración. En caso de trabajar con flujos de partículas en torno a microamperios, se hace una lectura directa de la corriente en diferentes colimadores de grafito y/o en el propio blanco. Para la medida de flujos muy bajos se utilizan detectores de partículas o de centelleo. Actualmente se está diseñando una cámara de ionización para ser instalada en el último tramo de la línea, con el fin de cubrir la monitorización directa de un amplio rango de densidad de corriente.

La línea es sencilla y versátil, pudiendo ser modificada con los elementos necesarios para cada ensayo sin mucha dificultad. Se encuentra acoplada a la línea fija del ciclotrón y en la terminación se pueden intercambiar varias narices con ventanas de distintos materiales adaptables a cada trabajo. Esto resulta muy interesante, ya que las muchas aplicaciones que tiene conllevan muy diferentes necesidades experimentales (energía, flujo, tamaño de haz...) implicando el uso de diversos dispositivos de degradación del haz y/o de diagnóstico. Aunque no existe posibilidad de barrido, permite tener un rango variado de áreas de irradiación ya que se puede ajustar jugando con el material de la ventana de salida y la distancia del blanco.

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

The line is elementary and versatile; it can be modified with the necessary elements for each investigation without much complexity. This is now coupled to the fixed line of the cyclotron and there are various sizes nozzles available, where can be adapted different materials windows according to the study concerned. This is very interesting, since the many applications that it has imply very different experimental needs (energy, flux,

beam size ...) involving the use of various devices for the beam degradation and/or diagnosis. Although there is not possibility of scanning, it allows for a diverse range of irradiation areas by playing with the material of the exit window and the target distance.

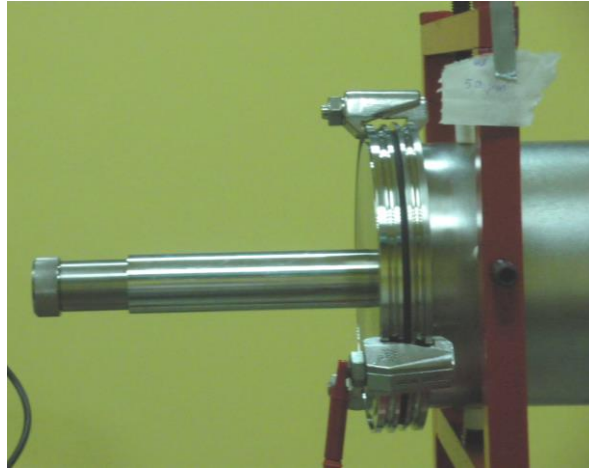


Figura 3.9: Línea de haz externo / External beam line

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 3.10). 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, no hay muchos componentes fijos, en este sentido ésta es una línea “viva”.

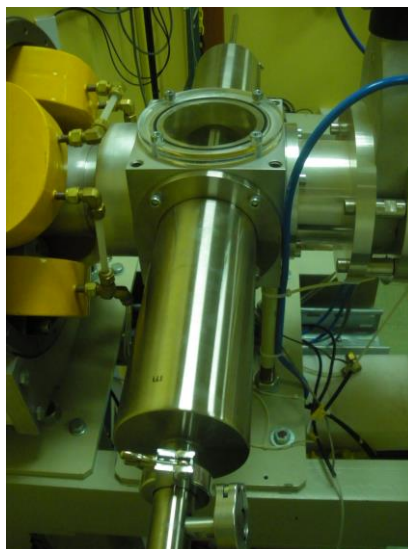


Figura 3.10: Carrusel de láminas para variar la energía del haz / Carousel of sheets to vary beam energy

Los distintos trabajos de investigación realizados están recogidos en esta memoria, y ponen de manifiesto el alto rendimiento de este haz externo en el primer año transcurrido desde su instalación. Se han realizado fundamentalmente los siguientes experimentos:

- Ensayos de irradiación de circuitos electrónicos y otros materiales, utilizados en diferentes campos, como el aeroespacial o el de diseño de detectores (ver apartado de 4.1.4 “Centro de irradiación”)
- Análisis de materiales mediante PIXE de alta energía (Energía de protones > 6 MeV) (ver apartado 4.1.2 de “Aplicaciones Medio Ambientales”)
- Producción de nuevos radioisótopos (ver apartado 3.2.2 de “Radiofarmacia”)
- Prueba de monitores de perfil de haz (no invasivos) en fase de diseño (ver apartado 4.2.3 “DITANET”)

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 3.10). 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.

The different research works are included in this report, and reveal the high capacity of the external beam line in the first year since its installation. Fundamentally the following experiments have been done:

- *Irradiation tests on electronic circuits and other materials to be used in different fields, as aerospace or detector design (see 4.1.4 section “Irradiation Test Facility”)*
- *Materials analysis by high energy PIXE (proton energy > 6 MeV) (see 4.1.2 section “Environmental Applications”)*
- *New PET-Radioisotopes Production (see 3.2.2 section “Radiofarmacy”)*
- *Tests of non interceptive beam profile monitors in the design stage (see 4.2.3 section “DITANET”)*

3.2.2 Laboratorios asociados al Ciclotrón / Cyclotron Laboratories

Laboratorios de Radiofarmacia / Radiopharmacy Laboratories

Fueron diseñados para trabajar bajo las normas de buenas prácticas de fabricación farmacéutica (normas GMP). En la actualidad, se dispone de un laboratorio

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

El Laboratorio de Producción de FDG (Figura 3.11) dispone de dos celdas blindadas fabricadas por Comcer (Castel Bolognese, Italia) que albergan sendos módulos dobles de síntesis GE Tracerlab FX-FDG. Existe también una celda de fraccionamiento y dispensación aséptica de monodosis de FDG, donde se fabrica la especialidad farmacéutica “Flucis” bajo el registro de CisBio.

El Laboratorio de Investigación dispone de cinco celdas blindadas Comcer en las que se sintetizan otros radiofármacos de interés para el estudio de procesos metabólicos o funcionales ([^{18}F] F-DOPA, [^{18}F] FLT, [^{18}F] fluoruro sódico, [^{11}C] colina, [^{13}N] amoníaco, [^{15}O] agua, etc.).

La configuración de este laboratorio es la siguiente:

-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 [^{11}C] yodometano es el modo más común de producir radiofármacos marcados con carbono-11, y dicho módulo permite la preparación de [^{11}C] yodometano a partir de [^{11}C] metano y yodo a 720°C .

-Celda de síntesis de compuestos marcados con flúor-18 que alberga el módulo GE Tracerlab FX-FE. Este módulo de síntesis emplea [^{18}F] F_2 o [^{18}F] hipofluorito de acetilo ([^{18}F] CH_3COOF) para marcar alquenos y compuestos aromáticos ricos en electrones, normalmente mediante fluorodesmetalaciones.

-Celda de síntesis de [^{15}O] H_2O y de recogida de [^{13}N] NH_3 . El [^{15}O] agua es un radiotrazador empleado para la determinación y cuantificación del flujo sanguíneo. El oxígeno radioactivo proveniente del ciclotrón está en forma de [^{15}O] O_2 y se hace reaccionar en la celda de síntesis con hidrógeno y paladio a 150°C para obtener [^{15}O] H_2O . Por otro lado, el [^{13}N] amoníaco se utiliza en PET para estudios de perfusión miocárdica. Este radiofármaco es preparado directamente en el blanco del ciclotrón mediante la irradiación con protones de una mezcla de agua y etanol. Posteriormente, el [^{13}N] amoníaco es atrapado en la celda mediante una unidad de recogida.

-Celda de síntesis de compuestos marcados con flúor-18 mediante el módulo GE Tracerlab FX-FN. En este caso, el flúor-18 se utiliza en forma de $[^{18}\text{F}]$ fluoruro, el cual interviene en reacciones de sustitución nucleófila.

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.



Figura 3.11: Laboratorio de Producción de FDG / FDG Production Laboratory

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

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

The FDG Production Lab (Figure 3.11) has two hot cells made by Comecer (Castel Bolognese, Italy) that hold two double GE Tracerlab FX-FDG synthesis modules. There is also a fractioning and dispensation cell, where single-dose FDG is made under the

“Flucis” CisBio registry. The Research Lab has five Comecer hot cells where radiopharmaceuticals that trace metabolic or functional processes ($[^{18}\text{F}]$ F-DOPA, $[^{18}\text{F}]$ FLT, sodium $[^{18}\text{F}]$ fluoride, $[^{11}\text{C}]$ choline, $[^{13}\text{N}]$ ammonia, $[^{15}\text{O}]$ water, etc.) are synthesized.

The configuration of this laboratory is:

-Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-C module for carbon-11 labelled compounds. The methylation of different functional groups (amines, alcohols, thiols, carboxylic acids) with $[^{11}\text{C}]$ iodomethane is the most common method to label molecules with carbon-11. The synthesizer allows the production of $[^{11}\text{C}]$ iodomethane from $[^{11}\text{C}]$ methane and iodine at 720 °C.

-Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-FE module for fluorine-18 labelled compounds. This module uses $[^{18}\text{F}]$ F₂ or $[^{18}\text{F}]$ acetyl hypofluorite ($[^{18}\text{F}]$ CH₃COOF) to label electron-rich alkenes and aromatic compounds, normally through fluorodemethylations.

-Cell for $[^{15}\text{O}]$ H₂O synthesis and $[^{13}\text{N}]$ NH₃ collection. $[^{15}\text{O}]$ Water is a radiotracer utilized in the determination and quantification of blood flow. The radioactive oxygen coming from the cyclotron is in the form of $[^{15}\text{O}]$ O₂, which is mixed in the hot cell with hydrogen and palladium at 150°C to obtain $[^{15}\text{O}]$ H₂O. On the other hand, $[^{13}\text{N}]$ ammonia is used in PET for perfusion studies. This radiopharmaceutical is directly produced in the cyclotron target by irradiating a water-ethanol mixture with protons. Finally, $[^{13}\text{N}]$ ammonia is trapped in the cell using a collection unit.

-Synthesis cell with a GE Tracerlab FX-FN module for fluorine-18 labelled compounds. In this case, fluorine-18 is used as $[^{18}\text{F}]$ fluoride, which participates in nucleophilic substitution reactions. This ion is normally combined with the aminopolyether Kryptofix 2.2.2 to increase the solubility and the reactivity of the inorganic fluoride in the organic reaction media. There is also a hot cell for sample fractioning and dispensation that can also be used for manual radiosyntheses.

Laboratorio de Control de Calidad / Quality Control Laboratory

Contiene el equipamiento necesario para garantizar que la calidad de los productos sintetizados es satisfactoria (Figura 3.12). 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.

It contains all the necessary equipment to certify the satisfactory quality of the synthesized products (Figure 3.12). 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 3.12: 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

Durante el año 2010 se ha instalado otro laboratorio fuera del recinto de la zona de control para el desarrollo de investigación básica y la experimentación de síntesis de nuevos trazadores PET. El laboratorio ha sido finalizado en Abril del 2010 donde se vienen realizando síntesis de compuestos orgánicos y separaciones cromatográficas, y está habilitado para la realización de cualquier ensayo de control de calidad.

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.

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, con sistema de inyección automático. Consta de tres detectores, UV, con un amplio rango de trabajo y alta resolución que permite la obtención precisa de espectros UV en determinación de compuestos principales e impurezas, detector amperométrico y detector de conductividad para Cromatografía Iónica Alta sensibilidad y extrema

estabilidad. El equipo es programable con control desde el teclado o mediante software, con gran versatilidad desde software, monitorización en tiempo real de espectros y dispensador de fase líquida y software de adquisición/tratamiento de datos.

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



Figura 3.13: Laboratorio para desarrollo de investigación básica y experimentación de nuevos trazadores PET / Basic research and synthesis new PET tracers Laboratory

In 2010 another laboratory has been installed outside the enclosure of the control area for the development of basic research and experimentation for the synthesis of new PET tracers. The laboratory has been completed in April 2010. In this lab synthesis of organic compounds and chromatographic separations is carried out, the lab is empowered to perform any quality control testing. The lab is equipped with a hood.

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

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

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

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

Los estudios oncológicos para el desarrollo de nuevos fármacos en los que la valoración de sus resultados es muy compleja y costosa es importante para la industria farmacéutica. Estos estudios son de gran complejidad con gran número de pacientes y períodos de observación muy prolongados, con la inversión que ello conlleva, para poder obtener conclusiones científicamente validables. En estos casos, para las empresas farmacéuticas la decisión de comenzar ensayos clínicos a gran escala debe fundamentarse en evidencias suficientes para casi asegurar el éxito de la inversión. La tomografía de emisión de positrones junto con la tomografía axial computerizada constituyen en este sentido técnicas con un incalculable valor añadido y permiten obtener datos cuantificables sobre variables fisiológicas o patológicas relacionadas con la gravedad, evolución y pronóstico de dichos cánceres. Dada la actual evolución de la biología molecular, la diferencia entre el número de radiotrazadores disponibles y las drogas potenciales está creciendo rápidamente. La utilidad de la tecnología PET en la búsqueda de nuevos agentes terapéuticos se basa en la obtención de compuestos marcados, por lo que la potenciación de la radioquímica y la radiofarmacia son puntos clave en el desarrollo de este campo para la salud.

La técnica PET emplea trazadores marcados con emisores de positrones y es capaz de obtener medidas cuantitativas in vivo de procesos fisiológicos y bioquímicos, como por ejemplo flujo sanguíneo, metabolismo glucídico, distribución de receptores o farmacocinética de los radiofármacos en los tejidos.

El PET en animales pequeños ha encontrado aplicaciones en múltiples áreas de investigación (cardiología, neurología, oncología e imagen de la expresión genética). Por ejemplo, el metabolismo de la glucosa, el flujo sanguíneo cardiaco, la síntesis de neurotransmisores, la determinación de la distribución receptor-radioligando y la cinética de los radiotrazadores en los tejidos se han investigado en modelos animales. A nivel clínico, PET se usa frecuentemente para la detección de tejido tumoral maligno, estadificación del tumor y estudio del impacto clínico de la terapia. El PET en animales puede facilitar este proceso, reduciendo el tiempo y los costes asociados al desarrollo de nuevas moléculas. En particular, la farmacodinámica y la farmacocinética de candidatos o de análogos marcados con un emisor de positrones pueden ser evaluados

in vivo fácilmente con PET. La adquisición de datos dinámicos con PET genera una descripción completa de la cinética de nuevos medicamentos y radiotrazadores con un único animal, al contrario de lo que ocurre con los métodos de disección ex vivo. De esta manera, la validación in vivo de nuevos medicamentos utilizando el PET de animales se realiza con un número sensiblemente menor de animales.

Oncology studies for the development of new drugs in the assessment of results are very complex and costly. They are important for the pharmaceutical industry. These studies are very complex with large numbers of patients and very long monitoring periods, with the investment it entails, in order to draw conclusions scientifically validated. In such cases, the decision to begin large-scale clinical trials for pharmaceutical companies should be based on evidence to guarantee the success of the investment. Positron emission tomography (PET) and computed tomography (CT) yield quantifiable data on physiological or pathological variables related to the severity, evolution and prognosis of cancer lesions. The use of PET technology in the search for new therapeutic agents is based on the production of labeled compounds. Therefore the progress in radiochemistry and radiopharmaceutical areas are key parameter in the development of the health field.

The PET technique uses radiotracers labeled with positron emitters and is able to obtain in vivo quantitative measurements of physiological and biochemical processes, such as blood flow, glucose metabolism, receptor distribution or pharmacokinetics of radiopharmaceuticals in tissues.

Small animal PET has found applications in several research areas such as cardiology, neurology, oncology and gene expression imaging. For instance, glucose metabolism, myocardial blood flow, neurotransmitter synthesis, receptor-radioligand distribution and the kinetics of radiotracers in the tissue have been investigated in animal models. Clinical PET is frequently used for tissue characterization, staging and therapy control in tumoural malignancies. Small animal PET can facilitate this process, reducing the timeframe and costs of the research and development of new drugs. Besides, the pharmacodynamics and pharmacokinetics of radiotracers labeled with a positron emitter can be evaluated in vivo by PET technique. The acquisition of dynamic data in PET gives a complete description of the kinetics of new drugs and molecular imaging probes in a single animal, in contrast to ex vivo dissection methods. Furthermore, the in vivo validation of new drugs using microPET reduces the number of tested animals.

3.2.4 Tomógrafo PET y CT 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 3.14). El sistema de detección del aparato esta basado en 14456 cristales de GSO (ortosilicato de gadolinio activado con cerio, $Gd_2SiO_5:Ce$) de dimensiones $2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$ 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 micro TAC preclínico marca Bioscan, modelo Nano CT (instalado por Philips Sistemas Médicos). El sistema Nano CT es un tomógrafo TAC helicoidal, que opera a una tensión máxima de 65 kV, y ofrece imágenes con una resolución espacial mejor que 200 μm , con un campo de visión axial de 270 mm y transaxial de 76 mm. Este equipo se utilizará para la obtención de imágenes de pequeños animales o de objetos de interés tecnológico o arqueológico mediante tomografía axial computerizada (TAC) con rayos X.

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

The CNA small-animal PET scanner was made by Philips (model Mosaic, Figure 3.14). The detection system is based on 14,456 GSO crystals ($\text{Gd}_2\text{SiO}_5\text{:Ce}$, gadolinium orthosilicate activated with cerium) with dimensions of $2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$ and is arranged in 52 rings of 278 crystals each. The GSO crystals are glued to a continuous light guide with a thickness of 1.2 mm and 0.5 mm deep slots. The crystals are read out by a hexagonal array of 288 photo multiplier tubes (PMTs) with a diameter of 19 mm each. The scanner operates exclusively in 3D mode and the spatial resolution is 2.7 mm at the centre. The unit also has capability for housing up to thirty animals in environmentally controlled rooms.

In October 2008, a new preclinical micro CT system (made by Bioscan, model Nano CT) was installed by Philips Medical Systems. The Nano CT system is a helical CT scanner that 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.

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



Figura 3.14 Sala del tomógrafo PET y CT para pequeños animales / Small animal PET and CT

3.3 Acelerador Tandetrón de 1 MV con Espectrómetro de Masas / 1 MV Tandetrón Accelerator with Mass Spectrometer

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

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

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

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

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

Accelerator Mass Spectrometry is a nuclear technique for the detection of radionuclides which are in very small amounts in nature. In particular, it is applied to those isotopes that are very difficult to detect using radiometric techniques because they have a very long half-life. AMS does not detect radiation emitted by these isotopes, but the signal they produce in a nuclear detector after being selected by electric and magnetic fields. The presence of a tandem particle accelerator can significantly increase the energy of the ions to values in the order of MeV / uma. This can be used to discriminate them from other isotopes by their nuclear properties. In addition, the accelerator stripper breaks the molecules of the same mass as the isotope of interest, which further reduces interference. These issues make AMS more sensitive than any other radionuclide detection technique, which makes it effective in many scientific problems cannot be met otherwise.

Nuclei detected by AMS are varied. The facility at CNA, based on a 1 MV tandem accelerator, was originally designed for the measurement of ^{10}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. En las técnicas de espectrometría de masas se analizan los componentes de un haz en virtud de su masa, energía y estado de carga, con la idea de cuantificar un tipo de partícula determinada, caracterizada por una masa específica. Para ello se utilizan diferentes filtros cinemáticos, basados en la

aplicación de campos eléctricos y magnéticos y el comportamiento de las partículas cargadas en el seno de los mismos (Figura 3.16).

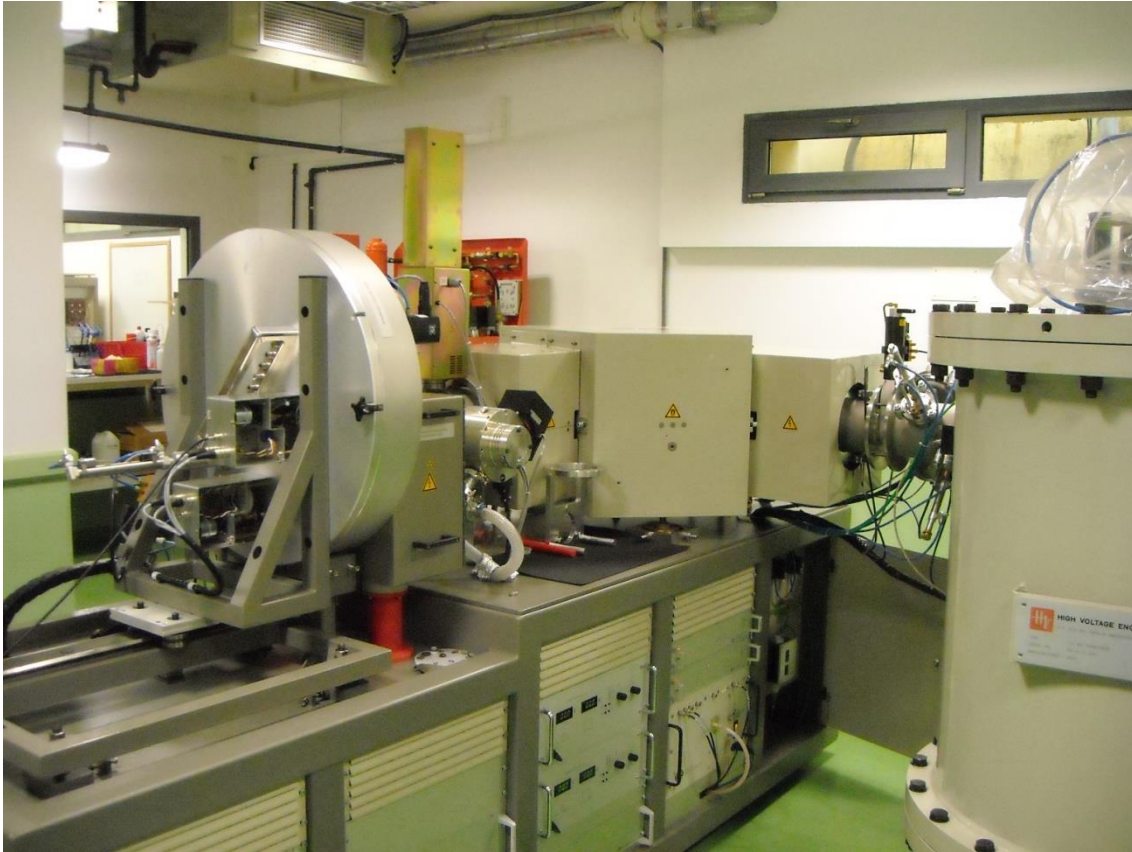


Figura 3.16: Carrusel de almacenamiento de muestras y deflector magnético / Sample carousel and injector

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 3.17: Acelerador Tandetrón / Tandetrón Accelerator

Gracias a estos factores, con AMS se consiguen medidas extremadamente sensibles, varios órdenes de magnitud por encima de las técnicas espectrométricas de masas convencionales. Típicamente, las relaciones isotópicas determinadas mediante AMS (isótopo radiactivo/isótopo estable) están entre 10^{-12} - 10^{-15} , es decir, la técnica es capaz de identificar una partícula entre mil billones. Los isótopos que habitualmente se determinan mediante AMS son, entre otros, ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{129}I e isótopos de Pu.

Accelerator Mass Spectrometry (AMS) is a highly sensitive technique that combines mass spectrometry with particle accelerators. The use of high energies makes possible the detection of radioactive isotopes with long half-lives. Mass spectrometry (MS) uses the fact that a charged particle follows a trajectory that depends on its mass and its charge. The use of kinematic filters based on magnetic and electrostatic fields makes possible the selection of the desired particles. However, its sensitivity is limited due to the existence of interferences such as molecules or isobars (Figure 3.16).

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).

3.3.1 Servicio de Datación por Radiocarbono / Radiocarbon Dating Service

Como se sabe, es posible estudiar la edad de muestras de interés arqueológico, artístico, histórico, etc, mediante la medida de su contenido en ^{14}C , radioisótopo que se produce en la naturaleza y que es un isótopo del carbono, por lo que tiene su mismo comportamiento químico. Asociado al Tándem de 1MV para AMS existe un Servicio de Datación por Radiocarbono (^{14}C). En este servicio se incluye un completo laboratorio de preparación de muestras, siendo el primero de su naturaleza en España. Existen en España laboratorios de datación por ^{14}C , pero que usan el método tradicional radiométrico, es decir con detectores de radiación. Por razones científicas la técnica tradicional de datación por ^{14}C es altamente destructiva (necesita gramos de carbón para datar), consume mucho tiempo de trabajo (una semana de detector por muestra) y es poco productiva (por las razones anteriores).

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

- Reducir la cantidad de muestra necesaria para producir una fecha hasta fracciones de miligramo (casi no destructiva, muy importante para objetos de interés especial).
- Realizar la medición en fracciones de hora por muestra y, consecuentemente, es capaz de producir una mayor cantidad de fechas por unidad de tiempo que el método tradicional.

La razón para todo ello reside en que mientras que con el método tradicional se mide la radiación emitida por ^{14}C , con AMS se mide el número de átomos de ^{14}C presente en la muestra.

Samples (archaeological, artistic, historical, etc.) can be dated by measuring their ^{14}C content. This radioisotope is produced naturally and has the same chemical behaviour as other carbon isotopes. At CNA, there is a Radiocarbon Dating Service (^{14}C) associated to the 1 MV Tandem accelerator. This service includes a fully-equipped laboratory for sample preparation, the first of its kind in Spain. There are other ^{14}C -dating laboratories in Spain, but they use traditional radiometric methods (radiation detectors). These methods are highly destructive (grams of carbon are required for the analysis), time-consuming (one week per sample) and unproductive.

The use of Accelerator Mass Spectrometry allows:

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

- Sample measurements in less than one hour, producing a higher number of dating analyses per day than conventional methods (higher productivity).

All these advantages are due to the fact that in the traditional procedures, the radiation emitted by ^{14}C is measured, but with AMS, we measure the total number of ^{14}C atoms that are contained in the sample.

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

Laboratorio de preparación de muestras de ^{14}C / Radiocarbon Laboratory

Como parte integrante del Servicio de Radiocarbono se ha habilitado y equipado un completo laboratorio de preparación de muestras. Los objetivos del mismo son el aislamiento del carbono de las muestras a medir, y la eliminación de interferentes.

La preparación de las muestras antes de ser analizadas en nuestro sistema de AMS incluye un pretratamiento químico (extracción Soxhlet y tratamiento ácido-base-ácido), seguido de la combustión o disolución de carbonatos (obtención de CO_2 puro), y finalizando con la grafitización y prensado de las mismas (Figura 3.18).



Figura 3.18: Línea de Grafitización del Laboratorio de Radiocarbono / Radiocarbon Laboratory Graphitization line

The CNA has a fully-equipped laboratory for sample preparation as part of the Radiocarbon Dating Service. The objectives of this lab are the isolation of carbon in samples and the removal of possible contamination.

Samples for radiocarbon dating that are submitted to the AMS undergo a preparation process. This procedure includes a chemical pre-treatment (Soxhlet extraction and acid-base-acid treatment), followed by combustion or carbonate dissolution (for obtaining pure CO₂) and finally, graphitization and sample pressing (Figure 3.18).

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 3.19).

The final graphite powder is pressed into an aluminum cylindrical target, which is ready for AMS measurement (Figure 3.19).

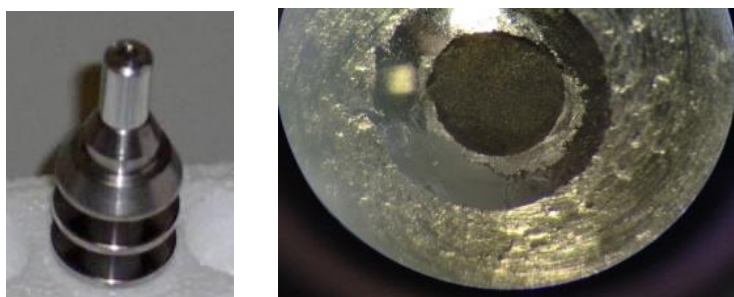


Figura 3.19: Cátodo de aluminio donde se sitúa la muestra grafitizada / Aluminum target with graphitized sample

Laboratorio de preparación de muestras del AMS / AMS samples preparation Laboratory

En el laboratorio se trabaja con muestras para posteriormente poder medir los siguientes isótopos: 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 ^{14}C .



Figura 3.20: Laboratorio de preparación de muestras para AMS /
AMS samples preparation Laboratory

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

These methods are, among others:

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

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

4. Investigación / Research

El Centro Nacional de Aceleradores dispone de 5 grandes líneas de investigación, la Unidad de Investigación en Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones (IBA), la Unidad de Investigación de Física Nuclear Experimental Básica (FNB), la Unidad de Investigación de Análisis de Contaminantes del Medio Físico mediante técnicas basadas en Aceleradores (ACOMETA), la Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS), y la Unidad de Investigación del Ciclotrón. El número de usuarios que han pasado durante estos dos años por las instalaciones es elevado.

Además de los experimentos (investigaciones) realizados mediante colaboraciones o servicios externos, existen líneas de investigación sostenidas por las diferentes Unidades de Investigación del Centro. En este apartado se recogen de manera global las líneas de investigación de cada una de las unidades.

CNA, Centro Nacional de Aceleradores, has 5 basic research units, Analysis Techniques and Materials Modification with Ion Beams Research Unit (IBA), Basic Nuclear Physics Research Unit (FNB), Analysis of Physical Environment Pollutants using techniques based on Accelerators Research Unit (ACOMETA), Accelerator Mass Spectrometry Research Unit (AMS), and Cyclotron Research Unit. The number of users that have happened during these two years for the facilities is high.

In addition to the experiments (investigations) conducted through partnerships or outsourcing, there are areas of research supported by the various research units of the Centre. This section includes a comprehensive manner the research of each of the units. This section shows each unit research.

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

Los campos de aplicación de las líneas de investigación desarrolladas por esta Unidad, tanto en el acelerador tándem como en el ciclotrón, en estos dos últimos años son principalmente: Ciencia de Materiales, Medio Ambiente, Patrimonio Cultural y Espacio.

The fields of application of the research carried out by this unit, both in the tandem accelerator as in the cyclotron, in the last two years are mainly: Materials Science, Environment, Cultural Heritage and Space.

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 y ERD.

Podemos destacar los estudios de oxinitruros mixtos tipo Si/M/N/O (M:Cu, Fe, Mo, Ni), donde la coloración deseada de las capas se consigue mediante la incorporación de cationes tipo (Cu, Fe, Mo, Ni) con estado de oxidación controlado en matrices transparentes tipo SiO₂ o Si₃N₄; la caracterización de capas finas de carbono amorfo hidrogenado (tipo diamante) dopadas con flúor, como recubrimientos que se proponen para mejorar las propiedades de desgaste y antisépticas del polietileno de ultraalto peso molecular que se utiliza en implantes de rodilla y cadera; el estudio de películas de óxidos mixtos Ti-Tb(Eu)-O, Zn-Tb-O y Si-Tb(Er)-O con funcionalidad óptica con posible aplicación como recubrimientos fluorescentes; el análisis las capas con base SiO₂ dopadas con flúor, que se proponen como recubrimientos antimanchas en lentes oftálmicas por su carácter hidrofóbico; el estudio de recubrimientos con microestructura tipo “nanocomposite”, como el sistema nc-TiAlN/a-SiN, para el desarrollo de capas protectoras duras y resistentes al desgaste y a la corrosión, y la caracterización de muestras de SiC amorfas dopadas con H, de gran interés por sus propiedades optoelectrónicas y mecánicas.

Por otro lado, también se ha estudiado la posibilidad de usar capas finas Diamond-Like-Carbon y Aluminio como recubrimiento para blancos de Litio para futuros experimento de generación de neutrones. Asimismo, se ha utilizado nuestra línea de implantación iónica para dopar selectivamente sustratos monocristalinos de SiC con iones de Ni y Co e intentar fabricar materiales con aplicaciones en espintrónica.

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 and ERD.

We emphasize the study of mixed oxynitrides type Si / M / N / O (M: Cu, Fe, Mo, Ni), where the color of the layers is achieved through the incorporation of such cations (Cu, Fe, Mo, Ni) with controlled oxidation state in transparent matrices SiO₂ or Si₃N₄; the characterization of thin films of hydrogenated diamond-like carbon doped with fluorine, such as coatings that are proposed to improve wear and antiseptic properties of ultrahigh molecular weight polyethylene used in hip and knee implants; study of mixed oxide films Ti-Tb (Eu)-O, Zn-Tb-O and Si-Tb (Er)-O with optical functionality and potential application as fluorescent coatings; the analysis SiO₂ based films doped with fluorine, which are proposed as stain resistant coatings for ophthalmic lenses due to its

hydrophobic character, study of coatings microstructure type "nanocomposite" as nc-TiAlN/a-SiN system for the development of hard and protective coatings resistant to wear and corrosion, and characterization of amorphous SiC samples doped with H, of great interest for optoelectronic and mechanical properties.

On the other hand, it has also been studied the possibility of using thin Diamond-Like-Carbon and aluminum as a coating for lithium targets, for future experiments of neutron generation. Also, our ion implantation line has been used to dope selectively SiC single crystal substrates with Ni and Co ions and to try to make materials with applications in spintronics.

4.1.2 Medio Ambiente / Environment

En el campo de las Ciencias Medioambientales, se han desarrollado diversos proyectos de aplicaciones muy específicas. Los más representativos se comentan a continuación.

Partículas calientes. Se han analizado partículas con alta concentración de actividad (partículas calientes) mediante PIXE. En concreto, se ha determinado el cociente elemental de U / Pu en partículas procedentes de Palomares (España) y Thule (Groenlandia). La contaminación producida en estos dos escenarios es consecuencia de accidentes aéreos en los que se liberaron bombas nucleares que al impactar contra el suelo explotaron, esparciéndose así parte del combustible nuclear que contenían. La caracterización de estas partículas es fundamental para valorar los riesgos radioecológicos que pueden producirse en las zonas afectadas. En este caso se han usado las líneas-K en lugar de las L, lo que confiere originalidad a este estudio. Las emisiones K presenta claras ventajas, como el no solapamiento entre picos y la menos absorción de los rayos-X en la muestra. Para realizar estos experimentos se han utilizado el ciclotrón y el tándem, y se ha trabajado con protones a diferentes energía (entre 4 y 18 MeV). El uso de estas altas energías es necesario para obtener secciones eficaces de producción de rayos-X de los elementos de interés suficientemente altas como para detectar las líneas-K. El uso de un detector tipo LE (Ge) también es necesario para mejorar la eficiencia en la región de trabajo (~ 100 keV)

Ha sido necesario encontrar las condiciones óptimas de medida para obtener los mejores cocientes señal/fondo. Esto es porque los espectros presentan un elevado fondo gamma producido como consecuencia del aumento en el número de reacciones nucleares ocurridas al subir la energía del haz incidente.

En el caso de estudiar partículas pequeñas se ha complementado la técnica PIXE con la de RBS, y se ha utilizado la microsonda nuclear para adquirir mapas elementales a través de las señales de ambas técnicas.

Eflorescencias. Las eflorescencias son residuos sólidos cristalinos que se forman al evaporarse las aguas utilizadas en el proceso de transporte de los fosfoyesos generados en la producción de ácido fosfórico a su lugar de almacenamiento. Estas eflorescencias se han encontrado dispersas en marismas de las rías del Tinto y el Odiel, en las

cercanías de la industria productora de ácido fosfórico más grande de Europa y pueden estar enriquecidas en varios metales pesados y radionucleidos naturales, por lo que su análisis elemental es necesario para poder evaluar su impacto ambiental. Se ha recurrido a la técnica PIXE por ser esta una técnica multielemental y no destructiva. Las pastillas formadas para el análisis por PIXE serán utilizadas en experimentos posteriores para poder determinar la composición mineralógica y estructural de esas eflorescencias.

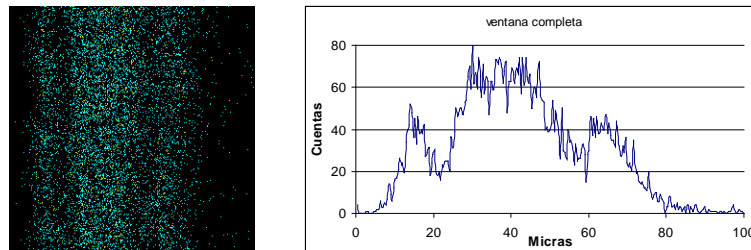
Para poder obtener los límites de detección más bajos posibles para un amplio conjunto de elementos, en el que pasamos de elementos ligeros a elementos tan pesados como el U, ha sido necesario realizar diferentes experimentos en los que se han variado distintos parámetros como la energía del haz, filtros de absorción en el detector, etc.

Determinaciones de Boro. El objetivo de este trabajo es estudiar la difusión de boro en placas metálicas (Fecralloy) en varias muestras, en las que se ha realizado ensamblajes de microcanales mediante la técnica SPS (Spark Plasma Synthesis).

El boro es un elemento difícil de determinar. En este caso se ha elegido una reacción nuclear para analizar de manera no destructiva las soldaduras de las muestras en busca de la presencia de boro. En concreto se ha utilizado la reacción: $^{11}\text{B}(\text{p},\alpha)^8\text{Be}$, y la energía del haz de protones incidente ha sido de 675 keV, ya que esta reacción presenta una resonancia a esta energía y no hay interferentes. En dicha reacción se produce la emisión de dos partículas alfa tras la desexcitación del núcleo de ^{12}C : α_0 , de energía 5.5 MeV llevando al estado fundamental de ^8Be , y α_1 , de energía 3.6 MeV que puebla el primer estado excitado del ^8Be . En ambos casos el ^8Be es inestable y se desintegra emitiendo dos partículas alfa α_{11} y α_{12} , que salen con energía entre 4.48 MeV a 6.2 keV. La señal utilizada para la cuantificación del ^{11}B comprende la suma de α_1 , α_{11} y α_{12} .

El tamaño típico de estas soldaduras y los rangos de difusión de boro en las placas de Fecralloy justifican el uso de la microsonda nuclear. Se han obtenido mapas elementales de boro con un haz de $4 \times 4 \mu\text{m}^2$, con los que se ha podido estimar el perfil de concentración de boro a lo largo de las interfases, (Figura 4.1). Para determinar otros elementos (Fe, Cr, Ni, etc.) en estas muestras se ha utilizado simultáneamente a la reacción nuclear la técnica PIXE.

Aparte de estos trabajos, hemos continuado con el estudio de aerosoles, en los cuales se ha determinado, aparte de los elementos pesados, la concentración global de elementos ligeros (H, C, N, O) y recientemente se ha iniciado una colaboración con ENRESA para realizar la caracterización de los hormigones de contención que se utilizan para el almacenaje de los residuos nucleares.

Figura 4.1: 100x100 μm

Various projects for very specific applications have been developed in the field of Environmental Sciences. The most representative are discussed below.

Hot particles. Particles with a high concentration of activity (hot particles) were analyzed by PIXE. In particular we have established the elemental U / Pu ratio for particles from Palomares (Spain) and Thule (Greenland). Pollution in these two scenarios is a result of aircraft accidents in which nuclear bombs were released and they exploded upon impact with the ground, releasing part of the nuclear fuel they contained. The characterization of these particles is essential to assess what radioecological risks may occur in the affected areas. In this case we have used the K-lines instead of the L, which gives originality to this study. K emission is clearly advantageous, as no overlap between peaks and less absorption of X-rays in the sample. To perform these experiments we have used the cyclotron and tandem, and we have worked with different proton energy (between 4 and 18 MeV). The use of these high energies is necessary to obtain high enough cross sections production of X-rays of the elements of interest to detect the lines-K. Using an LE (Ge) detector is also necessary to improve efficiency in the working region (~ 100 keV).

It was necessary to find the optimal conditions of measurement to obtain the best signal/background ratios. This is because the spectra have a high gamma background produced as a result of the increase in the number of nuclear reactions that occurred with rising energy of the incident beam.

PIXE technique has been complemented with RBS in the case of study of small particles and nuclear microprobe has been used to acquire the elemental maps with the signals of both techniques.

Efflorescences. Efflorescences are crystalline solid residues that form after the evaporation of water used in the transport process of phosphogypsum generated in the production of phosphoric acid for storage. These efflorescences have been found scattered in marshes of the estuaries of Tinto and Odiel, in the vicinity of the phosphoric acid production industry largest in Europe and can be enriched with various heavy metals and radionuclides, so that elemental analysis is needed to evaluate their environmental impact. We have used PIXE technique as it is a non-destructive multi-element technique. The pellets formed for analysis by PIXE will be used in subsequent

experiments to determine the mineralogical and structural composition of these efflorescences.

To obtain the lowest detection limits possible for a wide range of elements, from light elements to heavier elements such as U, it has been necessary to perform various experiments changing different parameters such as energy beam, absorption filters in the detector, etc.

Boron analysis. The goal of this work is the study of boron diffusion in metallic plates (Fecralloy) in which microchannel joints were created by the SPS (Spark Plasma Synthesis) technique.

Measuring boron is a difficult task. For this work we have used a selective nuclear reaction to analyze the weldings in a non-destructive way, searching for the presence of boron. In particular we used the $^{11}\text{B} (p,\alpha) ^8\text{Be}$ nuclear reaction with protons at 675 keV, because at this energy the reaction has a resonance and there is no interferences with other elements. In such a reaction, two alpha particles are produced after the decay of the ^{12}C nucleus: α_0 , with energy of 5.5 MeV, leading to the ground state of ^8Be , and α_1 , with energy of 3.6 MeV, which populates the first excited state of ^8Be . In both cases ^8Be is unstable and splits promptly into two alpha particles α_{11} y α_{12} , with energies ranging from 4.48 MeV to 6.2 keV. To quantify the amount of ^{11}B we used the peak formed by the sum of α_1 , α_{11} and α_{12} emissions.

The typical size of these weldings and the boron diffusion length in Fecralloy plates justify the use of a nuclear microprobe. Elemental maps of B were obtained using a $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ proton beam. From the maps, the boron concentration profile at the interfaces could be estimated (Figure 4.1). PIXE technique was used simultaneously to the nuclear reaction to determine the concentration profiles from other elements (Fe, Cr, Ni, etc)

4.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage

En el campo del Patrimonio Cultural se han llevado a cabo trabajos de análisis no destructivo sobre diversos materiales, tanto en cámara de vacío como en línea de haz externo.

En el estudio de metales de valor patrimonial, se han realizado las primeras pruebas de análisis de estructuras de capas, obteniéndose valiosos resultados en piezas doradas tanto con sustratos de plata como de bronce. Así, mediante la combinación de las técnicas RBS y PIXE ha sido posible determinar la composición y espesor de la capa de oro y de la pieza de metal que ha sido dorada, así como establecer el método de dorado utilizado en su fabricación.

Como ejemplo, el análisis de un fragmento de tira calada dorada que decora una virgen del siglo XVII realizada en plata ha proporcionado información sobre la composición de la pieza, 87% en peso de plata y 13% de cobre, y sobre la capa dorada, formada por una aleación de 85% de oro, 8.0% de plata y 7.5% de mercurio. La

presencia de mercurio, confirmada además mediante PIXE de alta energía con protones de 5 MeV, ha determinado el método de dorado al fuego por amalgama de mercurio. Esta combinación de técnicas se utilizó para confirmar un dorado similar en otra pieza de decoración de la virgen que se consideraba de oro macizo.

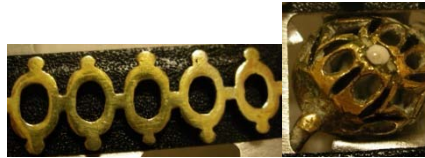


Figura 4.2: Piezas sobre las que se realizó el estudio combinado de técnicas PIXE y RBS / Pieces used for the combined study using PIXE and RBS

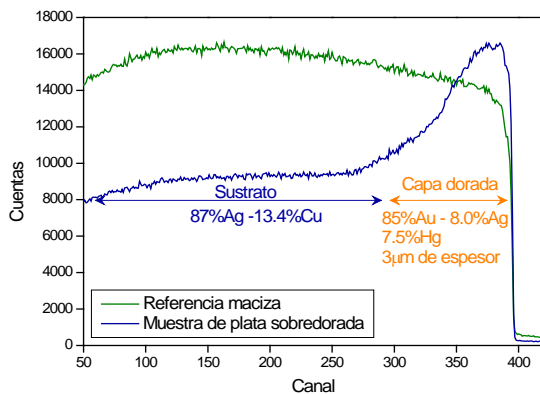


Figura 4.3

Figura 4.3: Espectro RBS con protones de 3 MeV donde se observa la estructura de capa dorada sobre sustrato de plata-cobre / RBS spectrum using 3 MeV protons where we can observe the gilded layer structure over the silver-copper substrate

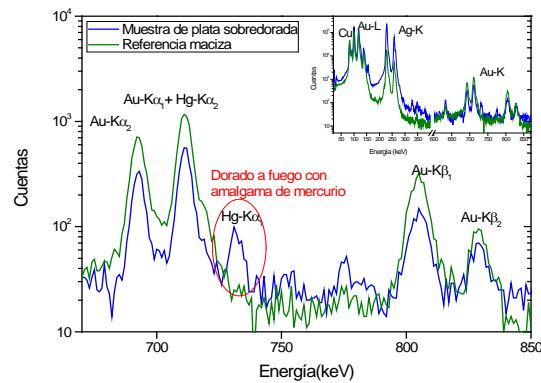


Figura 4.4

Figura 4.4: Espectro de PIXE de Alta Energía con protones de 5 MeV, donde se observa claramente la presencia de mercurio, indicativo del uso del método de dorado a fuego con amalgama / High energy PIXE spectrum using 5 MeV protons where the presence of Hg is clearly determined, which is indicative of the fire gilding by Hg amalgam method.

Otra de las líneas de trabajo abiertas recientemente en este campo es la de material paleobiológico (huesos, marfil, conchas, galápagos, caracoles, etc.), en los que se ha estudiado de manera no destructiva la presencia de contaminantes: plomo, hierro, manganeso, etc., y elementos característicos de la dieta: cobre, cinc, bario, etc.

Cerámicas esmaltadas de diversos colores y fragmentos de ámbar arqueológico han sido analizados, y continúan los análisis sobre vidrios de interés patrimonial, demostrando la gran capacidad de la técnica PIXE para obtener la composición química de manera absolutamente no destructiva en una colección de fragmentos de vidrios coloreados procedentes de una importante vidriera durante el proceso de limpieza y restauración de la misma.



Figura 4.5: Algunas de las piezas analizadas en la línea de haz externo del acelerador Tándem del CNA / Some of the pieces analyzed in the external beam of the Tandem accelerator

In the field of Cultural Patrimony we have carried out non-destructive works over different materials, using both the vacuum chamber as the external beam line.

In the study of Patrimony valuable metals, we have performed the first tests to analyze layered structures. Interesting results have been obtained in gilded items with silver and bronze substrates. Then, by using a combination of RBS and PIXE techniques it was possible to determine the composition and thickness of the gold layer and the gilded metallic piece, as well as to find out the gilding method used during its fabrication.

As an example, the analysis of a fragment of a gilded strip which decorates a virgin from XVII century has provided information about the substrate composition, 87% wt Ag and 13% wt Cu, and the gilded layer, 85% wt Au, 8.0% wt Ag and 7.5% wt Hg. The presence of Hg, confirmed also by using high energy PIXE with 5 MeV protons, permits to establish the gilding method as being the fire gilding by Hg amalgam. This combination of techniques was used to confirm similar gilding in other decoration piece from the virgin that was considered solid gold.

Another recently open research line is the study of paleobiologic materials (bones, ivory, shells, turtles, snails, etc) in which the presence of pollutants (lead, iron, manganese, etc) as well as elements characteristics from the diet (copper, zinc, barium, etc) was determined.

Moreover, colored glazed ceramics and pieces of archaeological amber were analyzed, and our studies on glasses with patrimonial interest were continued, in which the non-destructiveness of the PIXE technique was fundamental to analyze a set of colored glasses from an important stained glass window during its cleaning and restoration procedure.

4.1.4 Centro para Ensayos de Irradiación / Irradiation Testing Facility

A lo largo de estos dos años, se ha afianzado el establecimiento del Área de Irradiación del CNA. Comprende toda la investigación que implica la realización de ensayos de fiabilidad en dispositivos susceptibles de ser utilizados en ambientes críticos de radiación, como el entorno espacial o los experimentos de física nuclear de altas energías. Este tipo de ensayo, ya sea estático o dinámico, se realiza en el acelerador

tándem o en el ciclotrón en función de los parámetros requeridos. Las líneas de trabajo habitual son la microsonda de vacío, la línea móvil de irradiación e implantación y la de haz externo del ciclotrón.

La fiabilidad de un dispositivo sometido a radiación puede ser estudiada, entre otros, en base al impacto eventual de una partícula ionizante (Single Event Effects, SEE) o en función de una determinada dosis de radiación acumulada (Total Ionization Dose, TID). En este campo, cabe destacar la investigación realizada en el contexto del Proyecto CEICI incluido en RENASER. Se ha estudiado la producción de fallos en circuitos “in vivo” debido a la radiación de diferentes partículas, variando la energía y la fluencia. Circuitos de diferentes tecnologías, han sido especialmente diseñados y monitorizados por los colegas del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla. Sobre estos circuitos se han llevado a cabo ensayos de dosis total y microdosimetría para detectar los puntos de fallo, por primera vez en nuestro País. Destacan los experimentos de generación de Evento Singular tipo SEU (Single Event Upset) en un circuito digital empleando microhaces de oxígeno, en un rango de 14 a 18 MeV, usando la microsonda de vacío del acelerador tándem. En particular se ha establecido el umbral de LET (Linear Energy Transfer) para este tipo de blanco, y en general se ha desarrollado una metodología específica, incluyendo el modelado, para este tipo de ensayos.

Por otro lado, haciendo uso de la nueva línea de Haz Externo instalada en el ciclotrón, se ha llevado a cabo la irradiación, estática y dinámica, de varias series de sensores de fibra óptica del Instituto de Física de Cantabria (IFCA). Estos sensores han sido diseñados para su uso en experimentos de física de partículas formando parte de los detectores del LHC (Large Hadron Collider) del CERN. Los experimentos se realizaron en aire, manteniendo una homogeneidad inferior al 10% en la densidad de corriente y calibrando el sistema para conseguir la irradiación completa de la superficie de las muestras. Se realizaron ensayos con protones de 13.5 y 16.5 MeV, hasta alcanzar fluencias de 2.5, 9, 15 y 33 x10¹⁴ p/cm².

Continuando en colaboración con el Grupo ALTER, y en concreto con “Tecnológica, ingeniería, calidad y ensayos S.A.”, se ha realizado el ensayo de fotodiodos dentro de su plan de evaluación para uso aeroespacial. Se ha irradiado una serie de fotodiodos comerciales de InGaAs descapsulados con protones de 100 keV en el acelerador tándem usando la línea de irradiación, con un flujo de 2x10⁸ p/cm²s y a temperatura ambiente. La irradiación, fue llevada a cabo en tres pasos para conseguir la acumulación de tres fluencias diferentes sobre los dispositivos. Tras cada paso se procedió a la medida de diversos parámetros de interés conforme a la normativa de la ESA (SCC Basic Specification 22900)

During these two years, the CNA Irradiation Area has become established. This includes all study involving the reliability testing of devices that can be used in critical atmosphere of radiation, such as the space environment and high energy nuclear physics experiments. This type of test, either static or dynamic, is performed at the

tandem accelerator or cyclotron, depending on the required parameters. The usual working-lines are the vacuum microprobe, the portable irradiation and implantation line and the cyclotron external beam line.

The reliability of a device under radiation can be studied, among others, based on the possible impact of an ionizing particle (Single Event Effects, SEE) or according to a given dose of radiation accumulated (Total Ionization Dose, TID). In this field, it should be emphasized the research achieved into the CEICI Project, which is included in RENASER. We have studied the production of circuit failures “in vivo” due to different particles radiation, varying the energy and fluence. Circuits of different technologies have been specially designed and monitored by our colleagues of the Department of Electronic Engineering, Universidad de Sevilla. On these circuits, total-dose and microdosimetry tests have been carried out to detect points of failure for the first time in our Country. It can be highlighted the experiments to generate Singular Events Upset (SEU) in a digital circuit with oxygen microbeams, ranging from 14 to 18 MeV, using the vacuum microprobe in the tandem accelerator. In particular, it has been established the threshold of LET (Linear Energy Transfer) for this type of target, and in general it has been developed a specific methodology, as well as modelling, for this kind of test.

On the other hand, using the new External Beam line installed in the cyclotron, it has been carried out the irradiation, static and dynamic, on several series of optical fibre sensors from the Instituto de Física de Cantabria (IFCA). These sensors have been designed to be used in particle physics experiments as part of detectors for the “Large Hadron Collider” at CERN. The assays were performed in air, maintaining better than 10% homogeneity in the current density and calibrating the system to achieve a complete irradiation of the samples surface. The irradiation was carried out with protons of 13.5 and 16.5 MeV, up to fluences of 2.5, 9, 15 and 33 $\times 10^{14}$ p/cm².

Continuing the collaboration with ALTER Group, and specifically with “Tecnológica, ingeniería, calidad y ensayos S.A.”, it has been completed photodiodes tests as part of its evaluation to be used in aerospace. A set of commercial InGaAs unencapsulated photodiodes have been irradiated with 712 keV protons in the tandem accelerator using the irradiation line with a flux of 2×10^8 p/cm²s at room temperature. The irradiation process was carried out in three steps to achieve the accumulation of three different fluences on the devices. After each step, we proceeded to measure diverse parameters of interest consistent with the ESA standard (SCC Basic Specification 22900)

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

4.2.0 Introducción / Introduction

La Línea de Física Nuclear Básica del CNA empezó a ser montada en 2008 con financiación de los proyectos “Dispersión Estructura y Trazado de Núcleos Exóticos” bajo la referencia FPA2006-13807-C02-01 y el proyecto de excelencia de la Junta de

Andalucía “Núcleos lejos de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores”, bajo la referencia P07-FQM-02894. A partir de 2010, el montaje de la línea es apoyado por el proyecto “Dispersión, Estructura y Trazado de Núcleos Exóticos e Instrumentación Nuclear” FPA2009-08848, complementando la adquisición y puesta a punto de equipos mecánicos, electrónicos e informáticos. Al día de hoy, la línea consta de una cámara de reacciones, con dimensiones de (1.0x1.0x1.5m) y con una grande puerta lateral que permite la entrada de detectores considerados de grande porte. Dentro de esta cámara fue instalada una mesa soporte con sistema de elevación y perforación para permitir una versatilidad en cuanto a instalación de detectores e instrumentación asociada. Se trata de una cámara de reacciones de alto vacío que permite conexiones de gas, refrigeración, señales de detectores, alto voltaje, alta corriente y sistema de visualización interna. La cámara de reacciones y su respectivo sistema de vacío permiten trabajar a presiones del orden de 10^{-6} mb. La cámara también dispone de un sistema de control y medida de flujo de gas a baja presión ($P \sim 1-10$ Torr) que ha sido instalado para trabajar con futuros detectores gaseosos. En 2009, un potente sistema de adquisición de datos (Maximum Integration Data Acquisition System – MIDAS) ha sido instalado en la línea.

El objetivo principal para los próximos años es realizar diferentes pruebas de distintos tipos de detectores con su instrumentación asociada, incluida la electrónica desarrollada por la unidad de investigación FNB. Para este fin ya está en marcha el proceso de mecanizado especial de bridas capaces de acoplar pre-amplificadores instalados fuera de la cámara de vacío a los detectores instalados dentro de la cámara de vacío, respetando todas las propiedades para las cuales ambos sistemas fueron proyectados.

Building up of this beam line started in 2008, with funds of the project “Scattering, Structure and Tracking of Exotic Nuclei” (ref. FPA2006-13807-C02-01) and of the excellence project of the Junta de Andalucía “Nuclei far from Stability at the CNA” (ref. P07-FQM-02894). From 2010, additional equipment for this line (mechanics, electronics and computers) has been acquired with funds from the project “Scattering, Structure and Tracking of Exotic Nuclei and Nuclear Instrumentation” (ref. FPA2009-08848). Presently, the BNP beam line is equipped at its end with a 1.0m x 1.0m x 1.5m vacuum chamber with a large lateral port, capable of housing detectors of large dimensions. Inside the chamber, a special table is installed which can be moved up and down and has a set of drillings, allowing versatile mounting of detectors and related instrumentation. The chamber has ports for connection of gas, cooling, detector signals, high voltage and intensity, and viewports. The vacuum system achieves pressures of the order of 10^{-6} mb. A low pressure ($\sim 1-10$ Torr) gas system, capable of control and flux measure, has been installed in order to work with gas detectors. Since 2009, the data acquisition system MIDAS (Maximum Integration Data Acquisition System) is installed and operational for experiments in this beam line.

During the following years, the main objective is to perform different tests of several detectors and related instrumentation, including electronics developed by the BNP

research unit. With this scope, special machining of flanges has been ordered, in order to connect in the most direct way preamplifiers outside the chamber to detectors installed inside.

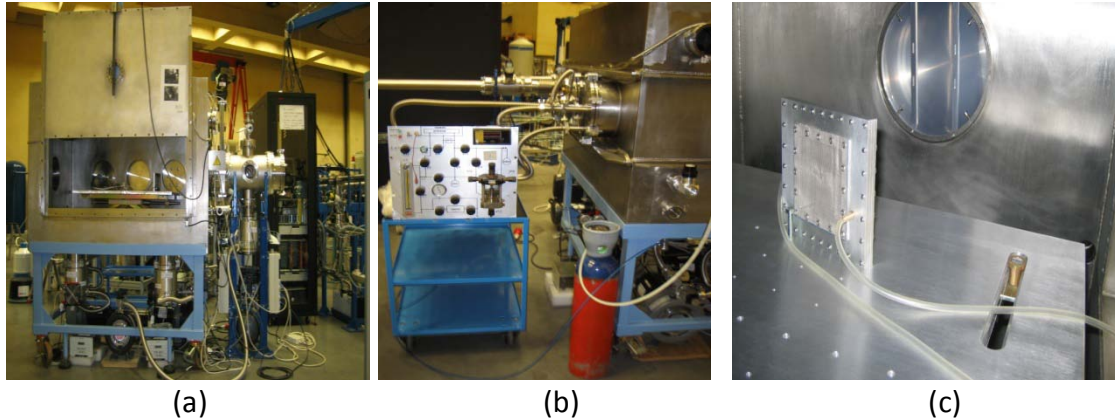


Figura 4.6: (a) Cámara de reacciones y trazado, de la línea de Física Nuclear Básica (FNB) del CNA; (b) Unidad de control de vacío y flujo de gas conectada a la cámara de reacciones de la línea de FNB del CNA; (c) prototipo mecánico simulador del volumen activo de un detector tipo SED instalado en el interior de la cámara de reacciones durante pruebas del sistema de vacío y gas / (a) Large chamber, for reactions and tracking, of the BNP beamline at CNA; (b) Gas control and flux measure unit connected to the chamber of the BNP line at CNA; (c) Mechanical prototype simulating the active volume of a secondary electron detector (SeD), installed inside the chamber of the BNP beamline, during vacuum and gas system tests

4.2.1 Desarrollo de sistemas de detectores de trazado de partículas para futuros aceleradores / Development of Tracking Systems Detectors for future particle accelerators

La unidad de investigación de FNB trabaja en colaboración con instituciones europeas que son líderes en el desarrollo de instrumentación nuclear, en el marco de diferentes proyectos y programas de cooperación, desarrollados en los últimos años. Entre otros, caben destacar los siguientes centros de investigación: “Commissariat a l’Energie Atomique” (CEA) de Saclay, Francia (www.cea.fr); más precisamente con el Departamento SEDI (“Le Service d’Electronique des Détecteurs et d’Informatique”) del “Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l’Univers” (IRFU); El laboratorio GANIL “Grand Accelérateur National de Ions Lourdes”, de Francia (www.ganil-spiral2.eu); El laboratorio GSI “Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH”, de Alemania (www.gsi.de); El “Laboratori Nazionali di Legnaro del Istituto Nazionale di Fisica Nucleare” (LNL-INFN) de Italia (www.lnl.infn.it) y finalmente la red europea “Diagnostics and Techniques for future particles Accelerators NETwork” (DITANET - www.liv.ac.uk/ditanet). Los laboratorios de haces radiactivos GANIL y GSI han comenzado a ampliar y optimizar sus instalaciones en el contexto de los proyectos europeos “Système de Production d’Ions RAdiatifs en Ligne de deuxième génération” (SPIRAL II) y “Facility for Anti-proton and Ion Research” (FAIR - www.gsi.de/fair/), respectivamente. Los proyectos SPIRAL II y FAIR, cuentan con importante participación de la comunidad científica española y prevén la construcción de nuevos aceleradores

que se usarán para estudiar la estructura nuclear de nuevos isótopos como los núcleos súper-pesados, los núcleos exóticos (núcleos ricos o con déficit de neutrones), o núcleos altamente deformados. Este hecho conlleva la necesidad de desarrollar una nueva generación de instrumentación para trabajar según los nuevos parámetros de dichos haces radiactivos. Un ejemplo práctico de esta necesidad está en el proyecto de "Heavy Ions Spectroscopy and Decay Spectroscopy" HISPEC/DESPEC del laboratorio FAIR donde la propuesta de desarrollo de sistemas de trazado de partículas para este proyecto, ha sido evaluada positivamente por el comité de análisis de proyectos científicos (PAC)

(http://www.gsi.de/fair/experiments/NUSTAR/hispec_e.html)

El grupo de FNB del CNA y del Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear (FAMN) de la Universidad de Sevilla (US), han asumido la responsabilidad de presentar una memoria técnica sobre detectores de trazado de partículas que puedan atender a las necesidades de los haces de núcleos exóticos de bajas energías asociados al proyecto HISPEC/DESPEC de FAIR, además de colaborar con los responsables en ofrecer soluciones para el proyecto SPIRAL II en el laboratorio GANIL en Caen, Francia.

Concretamente, dentro de esta línea de investigación estudiamos los detectores basados en hojas de emisiones de electrones, que actualmente componen la tecnología más fina de detección. Sin embargo, el acoplamiento de dichas hojas con detectores de gas a baja presión no está optimizado para las altas frecuencias de conteo previstas por los futuros aceleradores, lo que define una línea de investigación muy específica de la unidad de FNB: diferentes prototipos de detectores de electrones secundarios (SED de "Secondary Electron Detector") de baja presión, son construidos y probados con nuestra colaboración, acoplados a la tecnología de hojas de emisiones de electrones. Primeramente se realizan pruebas preliminares con fuentes radiactivas en laboratorio. En seguida son realizadas medidas en intensidades de corriente de haces de partículas nucleares, comparables a las previstas para la próxima generación de aceleradores que se encuentran en fase de construcción en Europa. Como ejemplo, en el periodo 16/06 – 02/07/2010 hemos realizado pruebas de 4 nuevos prototipos de detectores en el laboratorio GANIL, previamente diseñados, construidos y probados en los laboratorios del CEA-Saclay de Francia. Los análisis de datos fueron realizados por la unidad de FNB en colaboración con el laboratorio GANIL. Importantes resultados en resolución temporal, entre 100 y 200 ps, y la detección de tasas de conteo del orden de 10^6 partículas por segundo fueron alcanzados. Estos números suponen grandes avances en la tecnología de detección.

The research unit of FNB works in collaboration with European institutions that are leaders in the development of nuclear instrumentation, in the framework of various cooperation projects and programs developed in recent years. Among others, we would highlight the following research centers: the Commissariat 'Energie Atomique (CEA) in Saclay, France (www.cea.fr), more precisely with the Department SEDI ("Le Service d'Electronique et des Détecteurs 'Informatique ") of the Institut de Recherches sur les lois fondamentale de l'Univers" (IRFU), The laboratory GANIL, Grand National Accelérateur

Ions Lourdes, France (www.ganil-spiral2.eu); The laboratory GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Germany (www.gsi.de), The "Laboratori Nazionali di Legnaro of the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (LNL-INFN) from Italy (www.inl.infn.it) and finally the European network "Diagnostics and Techniques for Future Accelerators Particles NETWORK (DITANET - www.liv.ac.uk/ditanet). Radioactive beams laboratories like GANIL and GSI have begun to expand and improve its facilities in the context of European projects like "Système de Production d'Ions RAdiactifs en Ligne de deuxième génération "(SPIRAL II) and " Facility for Anti-proton and Ion Research "(FAIR - www.gsi.de/fair/), respectively. SPIRAL II and FAIR projects, have the participation of the Spanish scientific community for the construction of new accelerators that will be used to study the nuclear structure of new isotopes such as super-heavy nuclei, the exotic nuclei (nuclei rich or deficient in neutron), or highly deformed nuclei. All of this implies the need to develop a new generation of instrumentation to work under the new parameters of such radioactive beams. A practical example of this need is in the draft "Heavy Ions Spectroscopy and Decay Spectroscopy" HISPEC/DESPEC(http://www.gsi.de/fair/experiments/NUSTAR/hispec_e.html) from FAIR, where the proposal for development of particle tracking system in this project has been positively assessed by the review committee of scientific projects (PAC)

The FNB group of the CNA and the Department of Atomic Molecular and Nuclear Physics (FAMN), at the University of Seville (USE), have assumed the responsibility to file a technical report on particle tracking detectors where it can be found the needs of beams of exotic nuclei at low energies associated with the project HISPEC / DESPEC FAIR, besides collaborating with the leaders in providing solutions for the SPIRAL II project at GANIL laboratory in Caen, France.

We study detectors based on electron emission foils. The coupling of such foils with gas detectors at low pressure is not optimized for the high counting rate provided by future accelerators. Prototypes of secondary electrons detectors (SED) at low pressure are built and tested with our collaboration. First, tests with radioactive sources in the laboratory are done, after that; measurements in ion beams are taken. For example, in June 2010, 4 new prototypes of detectors were tested in the GANIL laboratory, previously designed, built and tested in the laboratories of the CEA-Saclay in France. Data analysis was performed by the unit of FNB in collaboration with GANIL. Important results of time resolution between 100 and 200 ps, and the detection of counting rates of about 10^6 particles per second were achieved. These numbers represent good advances with this technology of detection.

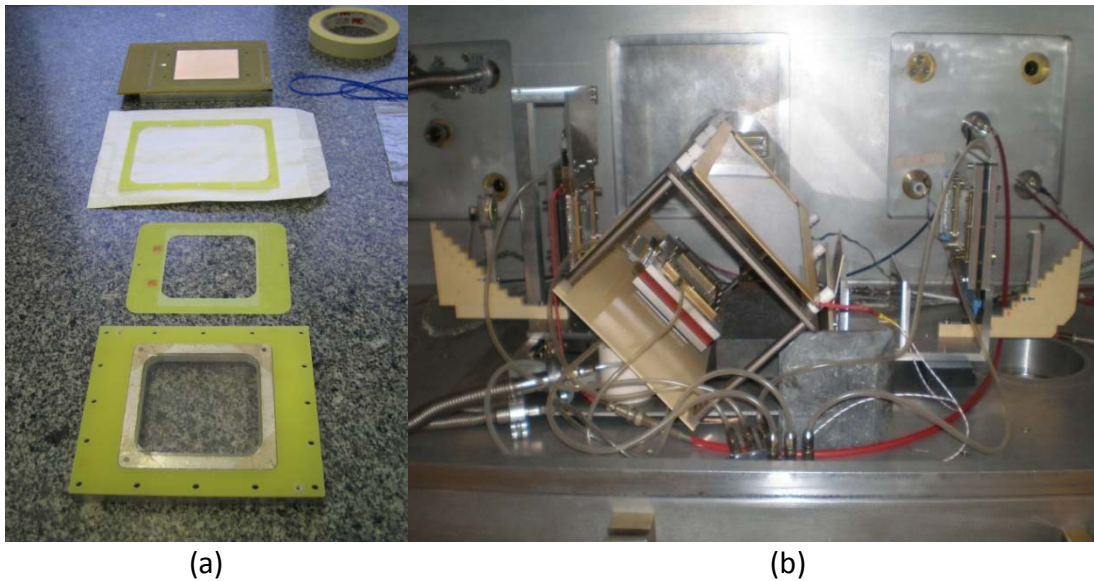


Figura 4.7: (a) Distintas partes de un mini-prototipo de detector de electrones secundarios (SED); (b) montaje experimental para testeo en laboratorio / (a) Different components of SeD; (b) Experimental set up for measurements in laboratory

4.2.2 Desarrollo de electrónica rápida para detectores de trazado de partículas / Fast electronics development for particle tracking detectors

La implementación correcta de dichos detectores conlleva al desarrollo de sistemas electrónicos suficientemente rápidos, que sean capaces de procesar las altas corrientes y tasas de conteos detectadas. Este hecho define otra línea de investigación específica en la que actúa la unidad de FNB, con colaboraciones también en el ámbito regional con la Universidad de Sevilla (USE) y el Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC), más precisamente con el grupo de diseño de circuitos integrados y de señal mixta (TIC-179) del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE), perteneciente al Centro Nacional de Microelectrónica (CNM), y los Departamentos de Electrónica y Electromagnetismo (DEE) y de Física Atómica Molecular y Nuclear (FAMN) de la Facultad de Física de la USE. Juntos, y en colaboración con el CEA-Saclay de Francia, hemos desarrollado entre 2009 y 2010 el primer prototipo de un pre-amplificador dedicado a la amplificación de señales de carga generada en el volumen activo de un detector SED y colectada por los electrodos utilizados en los prototipos de los detectores construidos. Todo el proyecto de simulaciones, conceptos, diseño, construcción y testeo de dicho pre-amplificador conocido como SEDA (de “Secondary Electron Detector Amplifier”) ha sido desarrollado. Este proyecto está financiado por el proyecto CONSOLIDER del Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN), bajo la referencia CPAN08-TS11, definido para el periodo 2009-2011.

Development of fast electronics systems is necessary to process the outputs signals from particle tracking detectors. Electronics front-ends must filter, amplify and shape high count rate current signals from this kind of detectors. So, front-ends research and development defines a new field of working for FNB Unity, in collaboration with “Departamento de Electrónica y Electromagnetismo” (DEE) and “Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear” (FAMN) from Seville University (USE), and “Grupo

de Diseño de Circuitos Integrados y de señal Mixta” (TIC-179) from “Instituto de Microelectrónica de Sevilla” (IMSE), who belongs to “Centro Nacional de Microelectrónica” (CNM) and “Consejo Superior de Investigación Científica” (CSIC). An international collaboration with CEA-Saclay (Saclay, France) in 2009 and 2010, allowed us to implement the first electronics front-end. It is a mixed signal preamplifier to process current/charge signals from Secondary Electron Detectors (SED). That preamplifier is called “SEDA” (Secondary Electron Detector Amplifier), and the simulations, design, concepts and testing have been developed. This project is powered by CONSOLIDER Project CPAN08-TS11 (2009-2011) from “Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear” (CPAN).

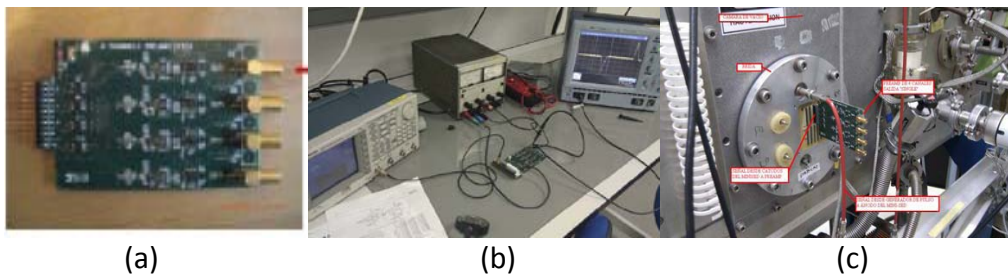


Figura 4.8: (a) Primero prototipo de un pre-amplificador de 4 canales desarrollado para medidas de amplificación de cargas generadas en los electrodos de los prototipos de detectores de electrones secundarios (b) montaje experimental para pruebas en bancada con generadores de pulso (c) montaje experimental para pruebas en cámara de reacción con fuentes radiactivas de fragmentos de fisión / (a) First SEDA prototype. 4 channels preamplifier outside the vacuum chamber (b) 4 channels SEDA tests in Mixed Signal Electronics Laboratory at IMSE-CNM, Seville (c) First experiment at CEA-Saclay facilities

4.2.3 Desarrollo de diagnóstico y técnicas de medida para futuros aceleradores de partículas / Development of diagnostic and measurements techniques for future particle accelerators

La unidad de investigación de FNB del CNA también forma parte de la red Europea DITANET “Diagnostic and Techniques for future particle Accelerators NETwork” financiado por la Asociación Marie Curie, bajo la referencia PITN-GA-2008-215080. Esta red, formada por 10 de los principales centros de investigación en Europa en materia de Física Nuclear, incluyendo Universidades líderes en producción científica y asociada con la industria del sector, tiene como objetivo fundamental desarrollar las técnicas de diagnóstico de las futuras instalaciones basadas en aceleradores de partículas y a la vez formar estudiantes y jóvenes investigadores dentro de una única estructura Europea.

Este proyecto financia los contratos y la formación de D. Ziad Abou-Haidar y el Dr. Alessio Bocci dentro de la unidad FNB del CNA. Con base a esta colaboración y contratos, en la línea de investigación de instrumentación nuclear del grupo FNB, monitores ópticos no-interceptivos, basados en la fluorescencia de gases (conocidos como “Fluorescence Profile Monitors” - FPM) , diseñados y construidos por el “Centro de Investigaciones Energéticas, Medio-ambientales y Tecnológicas” – CIEMAT, de

Madrid, fueron probados en el CNA con la colaboración de la unidad FNB y la unidad técnico-científica de la línea de haz externo del ciclotrón.

Un monitor basado en un conjunto linear de equipamientos de inyección de carga intensificada (ICID camera) y un segundo monitor basado en tubos fotomultiplicadores comerciales fueron por primera vez probados en el CNA, más precisamente en la línea de haz externo del ciclotrón, utilizando haces de deuterones a 9MeV con intensidades de corriente entre 400nA y 40µA. Parte de la preparación y pruebas de instrumentación y de viabilidad de ejecución del experimento fueron realizadas en la línea de FNB del CNA.

Estos tipos de monitores de diagnóstico de haces ofrecen una técnica no-invasiva para la caracterización de los perfiles de haces de iones a medias y altas corrientes. Fueron realizadas comparaciones entre los diferentes perfiles, barridos sistemáticos de corriente de haz y presión de los distintos gases (N, Xe). Fue verificado el principio de funcionamiento de ambos monitores, en condiciones próximas a las que se esperan obtener en el proyecto IFIMIF (“International Fusion Materials Irradiation Facilities”), que está siendo proyectado para trabajar con haces de 9MeV de deuterones y corrientes de hasta 125 mA.

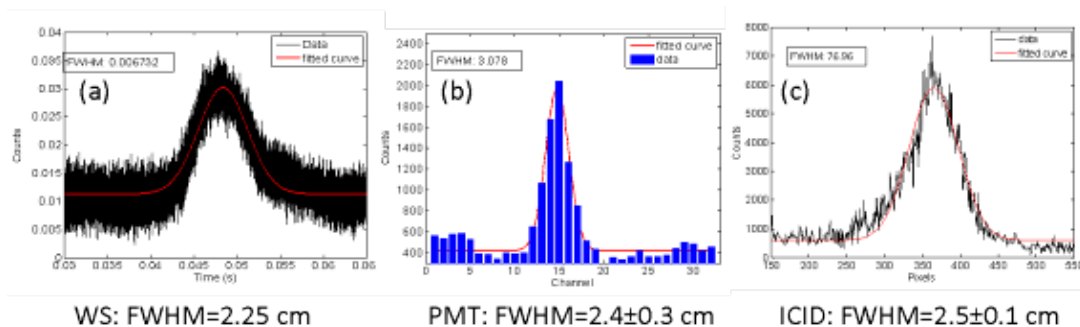


Figura 4.9: Perfiles de los primeros haces de deuterones de 15 µA de corriente, medidos en la línea de haz externo del ciclotrón del CNA. (a) perfil de haz medido por un BPM tipo “wire scanner” de la empresa NEC; (b) perfil de haz medido por un conjunto de tubos foto multiplicadores (PMT) construídos por el CIEMAT; (c) perfil de haz medido por una cámara intensificadora de carga (CID) también construida por el CIEMAT / Deuteron beam profiles for 15 µA of current measured at the external beamline of the cyclotron at CNA (a) Profile measured using a rotating wire scanner (BPM-83 from NEC Corp.) (b) Beam profile detected using a PMT-FPM detector (model H7260 Hamamatsu Photonics) customized by CIEMAT (c) Profile measured using an ICID-FPM detector developed by CIEMAT

Estos resultados indican la viabilidad de establecer líneas de investigación dedicadas al desarrollo de instrumentación nuclear con base en las instalaciones del CNA.

The FNB research group of CNA is part of the European network DITANET: "Diagnostic and Techniques for future particle Accelerators NETWORK", an Initial Training Network (ITN) funded by the Marie Curie Association, supported by the EU under contract PITN-

GA-2008-215080. This network consists of 10 major Nuclear Physics research centers in Europe, including leading universities and industries that work on this field. The aim of this project is to develop diagnostic techniques for future particle accelerator facilities and to train PhD students and young researchers within European research centers.

This project funds contracts of Ziad Abou-Haidar and of Dr. Alessio Bocci, within the FNB group. Based on this partnership and contracts on nuclear instrumentation, non-interceptive optical monitors based on gas fluorescence (Fluorescence Profile Monitors, FPM) have been tested at the external beam line of the Cyclotron at CNA. The instrumentation was designed and built by the CIEMAT: the Research Centre for Energy, Environment and Technology (Madrid, Spain). These profiles have been designed for use on the IFIMIF project: the International Fusion Materials Irradiation Facilities, currently under development. These measurements have been performed with the support of the FNB group and with the scientific-technical staff responsible of the external beam line of the Cyclotron.

A custom intensified Charge Injection Device (ICID) camera and a Photo Multiplier Tube (PMT) linear array were tested at the Cyclotron experimental beam line of CNA. For these tests 9 MeV deuteron beams with beam currents from 400nA to 40µA have been injected. For the feasibility of the experiment, part of the instrumentation used on the Cyclotron beam line has been preliminarily tested on the nuclear beam line of the CNA Tandem.

To detect hadron beam at medium and high currents, the diagnostic monitors tested are based on a non-destructive technique. Comparisons between different profiles, obtained varying both beam currents and gas pressures and using different gases (N₂, Xe) have been obtained. The operating principle of both monitors has been verified with success using physical conditions useful to extrapolate beam characteristics that will be produced in the IFIMIF project. This experiment will produce 9MeV deuteron beams with currents up to 125 mA.

These results indicate the feasibility of establishing a research activity devoted to test and develop nuclear instrumentation at CNA facilities.

4.2.4 Aplicaciones de instrumentación y reacciones nucleares en Física Médica / Applications of Nuclear Instrumentation and Reactions to Medical Physics

Entre las líneas de investigación y los objetivos de los proyectos DITANET y DETNEXIN, descritos anteriormente, está la aplicación de la investigación en instrumentación nuclear a la Física Médica, más precisamente en los tratamientos de Radioterapia con Intensidad Modulada (IMRT). Con este objetivo, la unidad de FNB ha tomado parte en el proyecto “Diseño y desarrollo de un nuevo sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)” - RADIA2, resultado de un acuerdo de colaboración específica entre Instalaciones Inabensa S.A. y la Fundación de Investigación de la US (FIUS), bajo referencia contractual 68/63-0214/0129.

Con esta colaboración, una aplicación del código GEANT4 fue desarrollada para simular la energía depositada en un detector de tiras de silicio, siendo irradiado con haces producidos por un acelerador linear tipo PRIMUS de la empresa Siemens, instalado en el Hospital Virgen de Macarena de Sevilla, operando en modo de photons sometidos a un voltaje de 6MV. Para corroborar los resultados de las simulaciones, una campaña de medidas experimentales ha sido realizada en el periodo 2009-2010 en el acelerador del Hospital. Fueron utilizados detectores de silicio, manufacturados y comercializados por la empresa Micron Semiconductors Ltda, los cuales son normalmente utilizados en medidas experimentales de reacciones nucleares realizadas por la unidad de FNB. El objetivo de las simulaciones es estimar la sensibilidad de este tipo de tecnología de detección de silicio, en diferentes situaciones, de acuerdo con la energía depositada en cada tira de silicio (electrodo). La aplicación desarrollada incluye el modelado de la geometría del cabezal del acelerador, incorporando un colimador multi-laminas (MLC), un detallado modelado del detector de multi-tiras de silicio, modelo W1SS-500, utilizado en las medidas experimentales para validar dichas simulaciones, y dos diferentes maniquís que simulan la presencia de tejido humano en el montaje experimental: uno en formato plano de 30x30cm² compuesto por un material de densidad equivalente a la del agua y otro en formato cilíndrico de 15 cm de diámetro, cuasi-antropomórfico y compuesto de polietileno. Para calibrar los resultados de las simulaciones, los cálculos de GEANT4 de la dosis transmitida en un tanque de agua son comparados con medidas experimentales realizadas en condiciones de referencia. Con el detector situado dentro del maniquí plano, posicionado perpendicular a la dirección del haz, calculamos la dosis media detectada en cada tira de silicio del detector en diferentes situaciones experimentales de campo de radiación y espesores de material entre la radiación y el detector. Con respecto al maniquí cilíndrico, las simulaciones Monte Carlo recrean las condiciones más cercanas al ambiente clínico, tridimensional, normalmente encontrado. Diferentes ángulos de rotación del maniquí son considerados de manera que se pueda estudiar la respuesta del detector en diferentes orientaciones.

La unidad de FNB ha tomado parte en la campaña de medidas experimentales y asumido la responsabilidad de los análisis de datos tomados en el Hospital Virgen de Macarena. A pesar de la necesidad de un desarrollo más avanzado del montaje experimental e instrumentación asociada, este método ha probado su viabilidad y los resultados serán patentados.

Aún dentro de la investigación en Física Médica y del contexto y objetivos de los proyectos DITANET y DETNEXIN, el 06 de mayo de 2010, la unidad de investigación de FNB del CNA y el Departamento FAMN de la USE, han entrado oficialmente juntos en la colaboración internacional "Fragmentation of Ions Relevant for Space and Therapy – FIRST". De esta manera a partir de 2010, dicha colaboración reúne a los laboratorios INFN de Italia, CEA-Saclay de Francia, GSI de Alemania y la USE/CNA de Sevilla-España. Hemos asumido la responsabilidad de puesta a punto de detectores de partículas y electrónica, además del desarrollo de simulaciones para reconstrucción de experimentos de fragmentación en las reacciones nucleares $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ a altas energías,

con interés y aplicaciones en el campo de las Ciencias del Espacio y de Terapia hadrónica. El experimento tiene previsto su realización en 2011 en el laboratorio GSI - Alemania.



Figura 4.10: Imagen del acelerador de electrones instalado en el Hospital Virgen de Macarena de Sevilla / Electron linear accelerator installed at Hospital Virgen Macarena, Seville

One of the research lines and objectives of the previously described projects, DITANET and DETNEXIN, is the application of the research in nuclear instrumentation to medical physics; specifically, to Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT). With this scope, the Basic Nuclear Physics (BNP) unit has participated in the project “RADIA-2: Design and Development of a Novel Detection System for IMRT Treatment Verification”, a collaboration between Instalaciones Inabensa S.A. (a company of Abengoa group) and the Research Foundation of the University of Seville (FIUS), under contract ref. 68/63-0214/0129.

Essentially, this collaboration aims at designing, building and testing a dosimetric system for IMRT treatment verification, based on a silicon strip detector inside a phantom. The main tasks carried out during 2009-2010 can be divided as follows: a set of experimental measurements, the detailed analysis of the data obtained, and Monte Carlo simulations.

The experimental measurements were performed at the Hospital Virgen Macarena of Seville, irradiating a silicon strip detector placed inside a phantom with gamma ray beams produced by a Siemens PRIMUS electron linear accelerator (linac) operating in photon mode at 6 MV. The silicon detector is a commercial one (model W1SS-500, manufactured by Micron Semiconductor Ltd., UK), of a type normally used by the BNP group for experimental nuclear reaction studies. Measurements were performed with the detector inside two different phantoms:

- A slab polyethylene phantom (30 cm x 30 cm), where the detector is placed with its surface perpendicular to the beam direction, covered by several depths of solid water and irradiated with different radiation fields. This provides a first calibration of the response of each detector strip.

- A cylindrical (15 cm diameter), quasi-anthropomorphic, polyethylene phantom, for detailed dose measurements. In this case the detector surface is parallel to the beam direction, and the phantom is rotated in order to measure at different angles between the detector strips and the beam direction.

In parallel to these measurements, an application of the GEANT4 code was developed to simulate the energy deposition on the detector inside the phantom irradiated in the conditions just mentioned. These simulations involve modelling in detail the geometry and composition of: the accelerator head, including a multileaf collimator (MLC); the silicon strip detector; and the two polyethylene phantoms. In order to calibrate the results of these simulations, first the GEANT4 calculations are compared to Treatment Planning System (TPS) calculations of dose deposition in water at standard, reference conditions. The GEANT4 simulations have also been used to estimate the sensitivity of the detector in different experimental configurations, according to the dose deposited in each strip.

The FNB group has participated in planning and performing the measurements at Hospital Virgen Macarena, and has assumed the responsibility of analysing the data obtained. The results of the work described above have shown the viability of the system and method, although further experimental advances are needed. As an outcome of part of these results, a patent is in preparation.

Also as part of the research in medical physics, and within the projects DITANET and DETNEXIN, a group of researchers of the BNP unit and the Department of Atomic, Molecular and Nuclear Physics of the University of Seville (USE) joined officially, on May 6th, 2010, the international collaboration "Fragmentation of Ions Relevant for Space and Therapy (FIRST)". Presently, this collaboration links laboratories of INFN (Italy), CEA-Saclay (France), GSI (Germany) and USE-CNA (Seville, Spain). We have assumed the responsibility of setting up particle detectors and electronics, as well as developing simulations to reconstruct fragmentation processes in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ nuclear reactions at high energies. These processes are of interest for space sciences and hadron therapy. Experimental measurements of this reaction are planned for 2011 at GSI.

4.2.5 Estudio de reacciones nucleares de núcleos estables y exóticos / Study of nuclear reactions of stable and exotic nuclei

Además de los distintos trabajos referentes a instrumentación nuclear descritos, la unidad de FNB del CNA mantiene una continua y sistemática investigación en medidas y análisis experimentales y teóricos de reacciones nucleares con núcleos estables y exóticos. Esta línea de investigación ha estado basada, en los últimos años, en los proyectos “Few-body approaches applied to nuclear reactions with exotic nuclei” bajo la referencia PORT2008-05 y “Teoría y Experimentos de Dispersión con Núcleos Exóticos y Estables” bajo la referencia PCI2006-A7-0654”, ambos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y concluidos en 2009 y 2010, respectivamente. Actualmente esta actividad está prevista y financiada por el proyecto “Dispersión, Estructura, Trazado de Núcleos Exóticos e Instrumentación” (DETNEXIN), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, bajo la referencia FPA2009-08848 y por el proyecto “Núcleos lejos de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores”, proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía, bajo la referencia P07-FQM-02894. Con base a estos proyectos y los recursos concedidos por el proyecto DITANET, se ha realizado el trabajo de puesta a punto del sistema experimental de detección, electrónica, medida y análisis de datos de reacciones nucleares acoplados a la línea de FNB del CNA, en el periodo 2009–2010.

Actualmente, dentro del contexto de los mismos proyectos de investigación, desarrollamos un trabajo sistemático con los núcleos isotopos de Helio (^4He), $^{4,6,8}\text{He}$ y de Litio ($^{6,7,8,9,11}\text{Li}$). En lo que se refiere al núcleo de Helio, en los artículos “Nuclear Physics A 840 (2010) 19-38” y “Physics Letters B 693, 310 (2010)” hemos reproducido la dispersión elástica y la distribución de energía de las partículas α (^4He) producidas en la reacción $^6\text{He}+^{208}\text{Pb}$, en energías cercanas a la barrera coulombiana. Verificamos que la transferencia de 2 neutrones del “halo” nuclear de ^6He al continuo del ^{208}Pb es el principal mecanismo de esta reacción. Identificamos y cuantificamos los efectos de esta ruptura tanto de carácter coulombiano cuanto nuclear, definiendo a ambos como de largo alcance, en la dinámica de dicha reacción. Finalmente, cálculos de canales acoplados considerando 4 cuerpos y la discretización de estados del continuo han confirmado la existencia de potenciales de polarización reales e imaginarios de largo alcance en la reacción $^6\text{He}+^{208}\text{Pb}$.

Entre 20/09 y 08/10/2010, la unidad de investigación FNB ha tomado parte en la medida de la reacción $^8\text{He}+^{208}\text{Pb}$, en energías alrededor de la barrera coulombiana, realizada en el laboratorio GANIL en Francia. Los estudios y avances obtenidos para el núcleo ^6He serán la base para varios estudios sobre el núcleo ^8He en un futuro próximo.

En lo que se refiere a los isotopos de Litio, en el trabajo “Nuclear Physics A 836 (2010) 1-10” determinamos las densidades nucleares de los isotopos $^{6,7}\text{Li}$ a partir de un nuevo método de medidas experimentales asociadas a cálculos de reacciones nucleares.

En el trabajo “Physical Review C 82, 027309 (2010)” presentamos medidas de la vida media del isótopo ^8Li , propuestas por la Universidad de Granada (UGR), el “Laboratoire de Physique Corpusculaire” (LPC) de Caen – Francia y el grupo FNB, y realizadas en la línea de FNB del CNA. Estas medidas fueron realizadas utilizando centelladores plásticos y electrónica rápida. El resultado ha mejorado la medida más precisa ya existente en un factor de 2.5 ($T_{1/2}=838.60\pm 0.36$ ms). El isótopo ^8Li fue producido a través de la reacción de transferencia $^7\text{Li}(d,p)^8\text{Li}$, a partir de un haz de deuterones a aproximadamente 2MeV de energía y con intensidad de corriente de 40nA. Se ha utilizado por primera vez un sistema para pulsar el haz del Tándem del CNA.

Finalmente, la unidad de FNB en colaboración con el Departamento FAMN de la US realiza los análisis de datos experimentales y cálculos teóricos de las medidas de dispersión elástica y de ruptura de las reacciones $^9,^{11}\text{Li}+^{208}\text{Pb}$. El experimento fue realizado en el laboratorio TRIUMF en Canadá con nuestra participación, en julio y octubre de 2008, y analizado en el periodo 2009-2010.

Besides the different research lines on nuclear instrumentation mentioned above, the group FNB of the CNA performs continuous and systematic research on the measurements, experimental analysis and theory of nuclear reactions with both stable and exotic nuclei. This latter research line was based, during the last 2 years, on the two following projects: “Few-body approaches applied to nuclear reactions with exotic nuclei” referenced PORT2008-05 and “Theory and experiments on the scattering of exotic and stable nuclei, Teoría y Experimentos de Dispersión con Núcleos Exóticos y Estables” referenced PCI2006-A7-0654”. Both projects were financed by the ministry of science and innovation (Ministerio de Ciencia e Innovación), and concluded in 2009 and 2010, respectively. Presently, this research line is supported by the project “Dispersión, Estructura, Trazado de Núcleos Exóticos e Instrumentación – Scattering, Structure, and Tracking of Exotic Nuclei and Instrumentation” (DETNET) financed by the ministry of science and innovation (Ministerio de Ciencia e Innovación) under the reference FPA2009-08848 and by the excellence project “Núcleos lejos de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores – Nuclei far from the valley of stability at the CNA” from the board of Andalusia under the reference P07-FQM-02894. Based on those two projects, and on the support of the project DITANET. We worked on upgrading the Basic Nuclear Physics line (FNB). We installed and tested an experimental detection system, its associated electronics as well as a data acquisition system. Using these tools we performed nuclear reaction experiments in the FNB line and analyzed the data collected during 2009-2010.

Presently, within the work frame of the same projects, we are working on the isotopes of the Helium ($^4,^6,^8\text{He}$) and the Lithium ($^6,^7,^8,^9,^{11}\text{Li}$). Regarding the Helium nuclei, in the articles “Nuclear Physics A 840 (2010) 19-38” and “Physics Letters B 693, 310 (2010)” we reproduced the elastic scattering and the energy distribution of the alpha particles (^4He) produced by the reaction $^6\text{He}+^{208}\text{Pb}$ at energies near the coulomb barrier. We have verified that the two neutrons transfer, from the ^6He nuclear halo to the ^{208}Pb continuum states is the main mechanism of this reaction. We were able to identify and

quantify the Coulomb and nuclear breakup as long range effects, in the dynamic of this reaction. Finally, coupled channels calculations considering 4 bodies and the discretization of the continuum states confirmed the existence of real and imaginary long range polarization potentials in the reaction ${}^6\text{He}+{}^{208}\text{Pb}$.

Between the 20/09/2010 and the 08/10/2010, the basic nuclear physics FNB group participated in the measurement of the reaction ${}^8\text{He}+{}^{208}\text{Pb}$, at energies around the coulomb barrier performed in the laboratory GANIL in France. The studies and advances obtained on ${}^6\text{He}$ will be the basis of various studies on the ${}^8\text{He}$ in the near future.

Regarding the Lithium isotopes, in the work “Nuclear Physics A 836 (2010) 1-10”, we determine the nuclear densities of the ${}^{6,7}\text{Li}$ isotopes using a new method for experimental measurements associated to nuclear reaction calculations.

In the work “Physical Review C 82, 027309 (2010)”, we present measurements of the half life of the ${}^8\text{Li}$ isotope given by the University of Granada (UGR) -Spain, the “Laboratoire de Physique Corpusculaire” (LPC) Caen – France and the FNB group. Those measurements were performed in the FNB line at the CNA. Plastic scintillators and fast electronics were used for these measurements. The newly obtained result improved the precision of the already existing measurement by a factor of 2.5 ($T_{1/2}=838.60\pm 0.36$ ms). The ${}^8\text{Li}$ isotope was produced by a transfer reaction ${}^7\text{Li}(d,p){}^8\text{Li}$, using a deuteron beam at around 2 MeV of energy and 40nA of intensity. A pulsing system was used to pulse the Tandem of the CNA for the first time.

Finally, the FNB group, in collaboration with the FAMN department of the University of Seville, performed the analysis of experimental data and theoretical calculations of the measurement of the elastic scattering and breakup of the reactions ${}^{9,11}\text{Li}+{}^{208}\text{Pb}$. The experiment was carried out at the laboratory TRIUMPH in Canada with our participation in July and October 2008. The analysis was done during 2009-2010.

4.2.6 Física de neutrones y aplicaciones en Astrofísica de Partículas / Neutron physics for Nuclear Astrophysics and Nuclear Power Generation

Finalmente, también nos centramos en las aplicaciones con interés en el campo de neutrones y Astrofísica de Partículas, estas últimas previstas dentro de la colaboración n-ToF (tiempo de vuelo de neutrones) en el CERN (Organización Europea para Investigación Nuclear – www.cern.ch) con la participación del Dr. Javier Praena en dicha colaboración, como parte de su contrato/proyecto post-doctoral, financiado por el proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía “Núcleos lejos de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores”, bajo la referencia P07-FQM-02894.

En el contexto del CNA, esta línea de investigación se dedica al estudio de laminas de Litio (Li) recubiertas por Aluminio (Al) y “Diamond-like carbón” (DLC), a través de la técnica RBS (de Rutherford Back-Scattering). Los blancos de Litio usados en experimentos para la generación de neutrones se degradan durante la duración del

propio experimento, incluso en condiciones de vacío. La intención de este estudio, dentro de esta línea de investigación con neutrones, es el análisis del comportamiento en vacío de láminas de Litio recubiertas de: i-) Aluminio y óxido de Aluminio con un espesor total de 300 nm; ii-) "Diamond-like carbón" (DLC) de 150 nm. En esta línea se estudia la difusión y oxidación del Litio. La lámina de Litio tiene un espesor de 380 μm .

Otro trabajo ha estado definido por la caracterización de la homogeneidad y espesor de laminas de Aluminio (Al). El objetivo del trabajo es conocer con la mayor exactitud posible el espesor y homogeneidad de láminas de Aluminio. Dichas láminas se pueden utilizar para la degradación y conformación de un haz de protones monocromático a una distribución cuasi-gaussiana deseada, que haciéndola incidir sobre un blanco de Litio generará un espectro de neutrones. Estas láminas, pueden ser posteriormente utilizadas en experimentos que tienen como objetivo explicar la generación de espectros de neutrones estelares de interés en astrofísica nuclear.

Por lo tanto, la unidad de investigación de Física Nuclear Básica hace un estudio sistemático de reacciones nucleares utilizando tanto las instalaciones del CNA como instalaciones internacionales, además de participar y asumir responsabilidades en el diseño, implementación y caracterización experimental de instrumentación nuclear, especialmente nuevos detectores de radiación electromagnética y de partículas, y los circuitos electrónicos necesarios para adquisición, acondicionamiento y procesamiento digital asociado a dichos detectores. En conjunto con colaboraciones nacionales e internacionales se están obteniendo nuevos sistemas de detección optimizados en términos de resolución en tiempo y posición, junto a una electrónica suficiente rápida como para detectar, trazar y procesar la información producida, evento a evento, por un haz de partículas generado por los nuevos aceleradores y por los productos de las reacciones nucleares de dichas partículas contra determinados blancos. Entre otras ventajas, las nuevas tecnologías de detección desarrolladas, permiten extender su rango de aplicabilidad, incorporando grandes beneficios para la investigación en el campo de las reacciones nucleares, con el beneficio añadido para la sociedad en el ámbito de la medicina, donde el uso de tales detectores es cada vez más frecuente y esencial en diagnósticos y tratamientos con radioterapia. Medidas de contaminación neutrónica, constituyen un valor añadido que además, permiten obtener una importante información de la degradación de la electrónica diseñada en ambientes donde la dosis total de radiación absorbida puede suponer un grave problema. Finalmente, la capacidad de explicar la generación de espectros de neutrones estelares es de grande interés en astrofísica nuclear.

The group has focused also in these fields through the participation of Dr. Javier Praena in n _TOF collaboration (neutron time-of-flight) at CERN (European Organization for Nuclear Research - www.cern.ch) and the development of a neutron line in the CNA, as part of his post-doctoral position funded by the Excellence Project of the Junta de Andalucía "Nuclei far from stability in the National Accelerator Center" Under the reference P07-FQM-02894. The measurements at n _TOF are neutron capture and neutron fission cross sections of several isotopes with application to nuclear

astrophysics and nuclear power generation. The isotopes measured during 2010 have been: ^{54}Fe (n,g), ^{241}Am (n,g) with C6D6 and TAC detectors, ^{235}U (n,g)/ ^{235}U (n,f) with TAC and MICROMEFGAS detectors, fission fragment angular distribution with PPAC detectors of ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U and ^{237}Np .

In the CNA context, this line of research is devoted to the study of the production of neutrons with maxwellian energy spectrum, as such of the stellar sites. First step consisted in the study of material for neutron production, thus lithium. Lithium is highly reactive with air, also corrosive and poison, for avoiding problems related with this we studied the possibility of covering a lithium foil of 380 μm thickness with: i) Aluminum and aluminum oxide with a thickness of 300 nm and ii) "Diamond-like carbon (DLC) of 150 nm. The deposition of these elements was done by the collaboration with researchers of the ICMSE (Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla). Then the behaviour of covered lithium was study by RBS technique (Rutherford Back-Scattering). Lithium Targets used in experiments for the generation of neutrons are degraded during the duration of the experiment, even under vacuum. Some preliminary results has shown that the DLC covered could delay the diffusion of lithium and so its oxidation.

Also in CNA we have characterized the homogeneity and thickness of aluminum foils (Al) by proton transmission. The aim of the study is to determine as accurately as possible the thickness and homogeneity of aluminum foil. Aluminum foils are a fundamental part for the production of maxwellian neutron spectrum since they are used as proton shaper. Degrading the proton energy and shaping its energy distribution it is possible to select a Gaussian-line proton distribution that impinging onto a lithium target will generate the maxwellian neutron spectrum.

Finally, in the CNA we have investigated another part of the future set-up for neutron production: the composition of resin which covered the carbon fiber by RBS scattering with protons at 165° . The neutron reaction point will be surrounded by carbon fiber which is a quasi transparent material for neutrons. In this way, the neutrons will leave the chamber with no activation by backscattering neutrons. The composition is needed for simulations and backgrounds corrections.

4.3 Unidad Ciclotrón / Cyclotron Unit

4.3.1 Aplicación de microPET/TAC en el seguimiento de terapias antitumorales / MicroPET/CT application to monitor antitumour therapies

La terapia oxidativa es una estrategia anticancerígena que se fundamenta en la inducción de niveles altos de estrés oxidativo letales para las células tumorales. Miembros del grupo de Citología e Histología Normal y Patológica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sevilla han demostrado in vitro que la amitriptilina, un antidepresivo tricíclico, produce sobre células en cultivo un aumento de ROS (Reactive Oxygen Species) y una disminución de las defensas antioxidantes intracelulares de una

manera significativa, provocando apoptosis de las células de diferentes líneas tumorales humanas. Nuestro objetivo es el estudio in vivo del comportamiento de los tumores en los animales y el seguimiento de la terapia antitumoral mediante PET/TAC.

Se llevó a cabo el estudio del crecimiento de tumores en ratones C57BL/6J-ApcMin los cuales desarrollan espontáneamente tumores intestinales.

El estudio PET se realizó mediante la inyección intravenosa del radiofármaco ^{18}F -FDG para visualizar el consumo de glucosa en los tumores del modelo murino, detectándose la formación de pequeños adenocarcinomas de 1 mm en el intestino. Asimismo, se realizó un examen histológico del animal una vez finalizado el estudio in vivo.

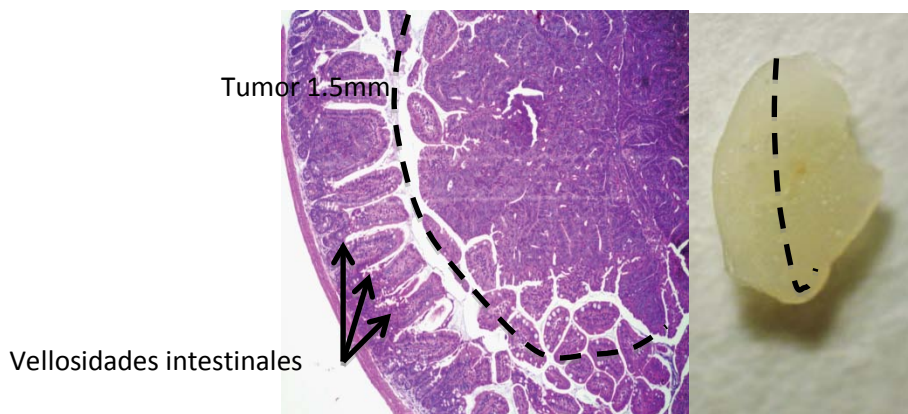


Figura 4.11: Fragmento de intestino cortado longitudinalmente con tumor e histología de este tumor/Small fragment cut longitudinally with tumor and histology of this tumor

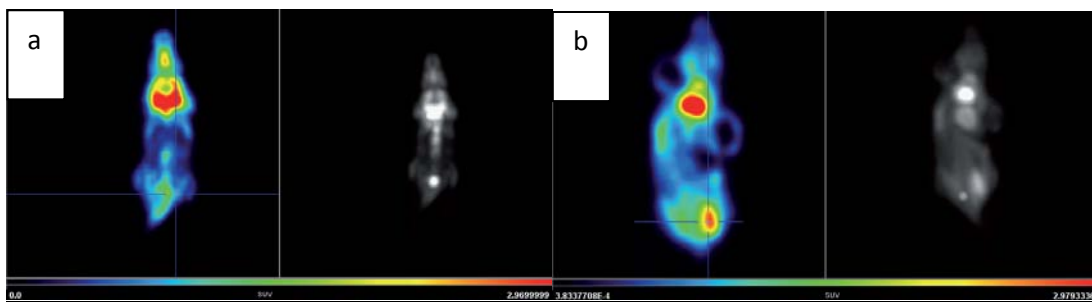


Figura 4.12: a) Imagen PET de animal de control con ^{18}F -FDG y b) imagen PET de animal con adenocarcinoma en estomago con ^{18}F -FDG / a) Image of control animal PET with ^{18}F -FDG b) animal PET imaging of adenocarcinoma in the stomach with ^{18}F -FDG

Conclusiones: La técnica PET/TAC, se ha mostrado como una herramienta imprescindible para estudios in vivo en la evaluación y detección de tumores y en este proyecto en el estudio de la terapia oxidativa.

Oxidative therapy is an anticancer strategy which is based on the induction of high levels of oxidative stress lethal to tumor cells. Members of the group of Cytology and

Histology Normal and Pathological Faculty of Medicine, University of Seville have shown that amitriptyline, a tricyclic antidepressant, on cells in culture produces an increase in ROS (Reactive Oxygen Species) and a decrease intracellular antioxidant defenses in a meaningful way, leading to apoptosis of cells from different human tumor cell lines. Our goal is to study in vivo behavior of tumors in animals and monitoring of anti-tumor therapy using PET / CT.

The growth of tumors in mice C57BL/6J-ApcMin which spontaneously develop intestinal tumors was conducted to study.

The PET study was performed by intravenous injection of the radiopharmaceutical ¹⁸F-FDG to visualize the glucose uptake in murine tumors, detecting the formation of small adenocarcinomas of 1 mm in the intestine. Also, histological examination was performed after completion of animal studies in vivo.

Conclusion: The technique PET/CT has proven to be an indispensable tool for in vivo studies in the evaluation and detection of tumor and this project in the study of oxidative therapy.

4.3.2 Medidas de la concentración de los agentes crioprotectores en órganos mediante tomografía axial computarizada (TAC) / Concentration of cryoprotectant agents measurements in organs by X-ray computed tomography (CT)

Uno de los principales retos en la criopreservación es lograr la vitrificación de órganos. Se sabe si un órgano puede ser vitrificado si ha sido perfundido con la cantidad suficiente de agente crioprotector (acp). La toxicidad de los crioprotectores y la conductividad térmica van a depender de la transferencia de calor y masa. Mientras que la temperatura se puede medir fácilmente a través de un termopar, la concentración de acp dentro de los órganos resulta más difícil de medir. Varios métodos han sido utilizados hasta el momento, tales como medida de la concentración del residuo de perfusión mediante un conductivímetro, diferencia de la densidad de la materia, resonancia magnética nuclear o diferencia de impedancia eléctrica de los tejidos a diferentes concentraciones. A pesar de ello, ninguno de ellos tiene la precisión necesaria para un adecuado control de la concentración de acp.

En este trabajo se ha medido la concentración de acp por tomografía axial de rayos X computarizada (TAC). Esta tecnología TAC se basa en la obtención de imágenes utilizando rayos X contrastando los objetos de medida por diferencia de densidades. Los rayos X son un excelente camino para medir la cantidad de acp dentro del órgano. En este trabajo, se han empleado 10 viales de 1,8 ml llenos de agua destilada, Phosphate Buffer Saline (PBS) y Dimetilsulfóxido (DMSO) con concentraciones de 1 a 8 Molar en medio PBS, obteniéndose un buen contraste en las imágenes de TAC. Las imágenes muestran la señal proporcional a la concentración de DMSO. Con este método, podremos conocer la distribución del acp dentro del órgano ya que la tecnología cuenta con la capacidad de desarrollar imágenes 3D que pueden ser reveladas en cualquier momento durante la perfusión. Con este sistema de medida

podemos registrar el momento exacto en que el órgano está listo para ser congelado sin sufrir daños por la posible formación de hielo dentro de él.

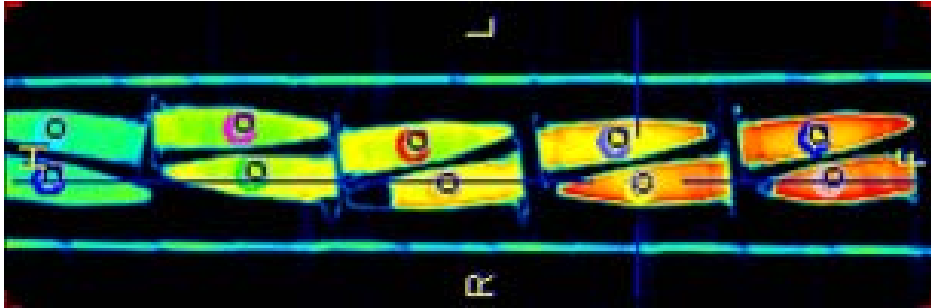


Figura 4.13: Perfiles de densidad TAC, de DMSO con concentraciones de 1 a 8 M; 1) PBS, 6) agua, 2)1M, 3)3M, 4)5M, 5)7M, 7)2M, 8)4M, 9)6M, 10)8M de DMSO./ Profiles of CT density, from 1 M to 8 M, 1) PBS, 6) Water, 2)1M, 3)3M, 4)5M, 5)7M, 7)2M, 8)4M, 9)6M, 10)8M DMSO.

La Figura 4.13 muestra la imagen de cada vial (1,8 ml de volumen de líquido) con una sonda esférica de aproximadamente 0,11 ml (alrededor de 14k píxeles en el interior) y tras su comprobación se recalculó la distribución de la densidad del TAC expresada en unidades Hounsfield.

Diferentes medidas se realizaron para viales que contenían PBS y concentraciones de DMSO del 10% al 80% (v/v). Los valores obtenidos en los escáneres TAC fueron representados frente al número de píxeles que se emplea como referencia del valor TAC. La figura 4.14 muestra las diferencias de concentración de los distintos viales preparados con DMSO. El píxel individual (voxel) mostro una dimensión de 0.2x0.2x0.2 mm en esta imagen. Esto nos indica que la utilidad de las medidas tan solo es posible si tenemos una curva de calibrado de referencia de las imágenes obtenidas en el escáner TAC.

Para este estudio se realizaron tres medidas TAC diferentes con PBS las cuales se han representado en el mismo gráfico frente al número de píxeles. De esta manera, se prueba la reproducibilidad de los valores TAC para la misma sustancia. Los diferentes valores de TAC para cada concentración fueron ajustados mediante regresión lineal. Se obtiene así, una curva de calibrado que permite conocer la concentración en cualquier punto de un sistema que utilice DMSO conociendo su valor TAC.

Conclusión: Con este método, podremos conocer la distribución del agente crioprotector dentro del órgano gracias a la imagen 3D en cualquier momento durante el proceso de perfusión. Por otro lado se ha conseguido mediante el uso de esta técnica controlar y monitorizar el órgano cuando este se encuentre en condiciones óptimas para ser vitrificado sin sufrir daños producidos por la posible formación de hielo.

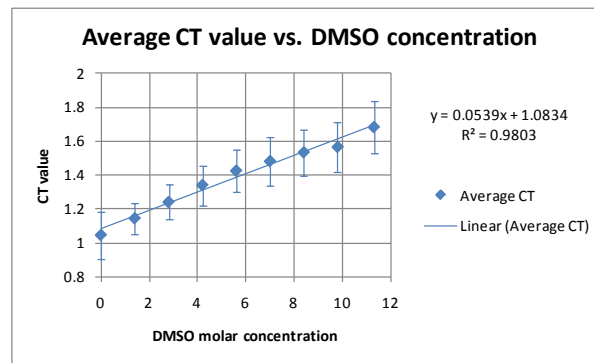


Figura 4.14: Curva de calibrado que estima densidad de imagen TAC frente a la concentración de DMSO / Callibration curve which estimates CT image density from known DMSO molar concentration

One of the main challenges in cryopreservation is to achieve the vitrification of bulky organs. It is known that an organ could be vitrified if it has been downloaded with enough amount of cryoprotectant agent (cpa). The toxicity of the cryoprotectant and the finite thermal conductivity of the organ turn this task an issue of heat and mass transfer. Whereas the temperature can be easily measured by a thermocouple, the cpa concentration inside the organs is more difficult to be monitored. Several methods have been used up to now, such as the concentration measurement of the residual perfusated by a conductivity-meter, matter density differences, nuclear magnetic resonance or the difference of electrical impedance of the tissues at different concentrations. Despite of that, any of them lacks the necessary precision required for a proper control of the cpa concentration.

In this work we have measured the cpa concentration by X-ray computed tomography (CT). Being CT based mainly on density differences, in principle X-rays based image technologies would be thought as little help. X-rays is an excellent way to measure the amount of this cryoprotectant inside the organ. In the experiment, 10 vials of 1.8 ml were filled with distilled water, PBS and different concentrations of Me₂SO in PBS, from 1 M to 8 M. It resulted that contrast in the CT images was excellent, showing the signal proportional to the concentration of Me₂SO. With this method, we will be able to know the distribution of the cryoprotectant inside the organ by having 3D at any time while the perfusion is taking place, knowing the moment when the organ is ready to be vitrified without suffering damage by ice.

It was sampled the image of each vial (which had 1.8 ml liquid inside) with the spherical probe of about 0.11 ml (about 14k pixels inside) and checked the recalculated distribution of CT density expressed in Hounsfield units (Figure 4.13)

Different measurements were performed for PBS and concentrations of Me₂SO from 10% to 80 % (v/v). The CT values were represented in the graph versus the number of pixels having a particular CT value. The graph convinces us that the differences in concentration can be seen, albeit are not perfectly linear dependent. Single pixel (voxel)

is 0.2x0.2x0.2 mm in that image. It gives us an idea of how useful these measurements are in order to have a reference curve to calibrate our CT images.

3 different measurements of CT in PBS were carried out and have been represented in the same graph versus the number of pixels. In this way it is proved the reproducibility of the CT value for the same substance. The different values of CT of every concentration were adjusted by a regression line. We have obtained a calibration curve, so we are able to know the concentration of any point of a system directly knowing its CT value.

Conclusion: With this method, we will be able to know the distribution of the cryoprotectant inside the organ by having 3D image at any time while the perfusion is taking place, monitoring and controlling the organ when it is ready to be vitrified without suffering damage by ice.

4.3.3 Imagen multimodal de glioma gl261 en ratones in vivo utilizando PET / RMI / TAC / Multimodal imaging of gl261 glioma in mice in vivo using PET/MRI/CT

El objetivo del trabajo fue determinar el tamaño del tumor in vivo para supervisar el tratamiento posterior de glioma en modelos de ratones murino intracraneal. Los métodos que se venían realizando ex vivo mediante la disección del cerebro y estudio de las zonas de interés mediante microscopia de fluorescencia de células de glioma transfectadas (GFP) no permite el estudio del tratamiento a la terapia en el mismo animal, aunque sus resultados han demostrado tener gran precisión.

Método: Se emplearon para el estudio ratones C57 adultos de 4 meses de edad, machos que fueron inyectados con 50000 células de glioma EGFP-GL261 mediante cirugía estereotáctica (Lugar de localización: AP 1.5 mm, L -1.5 mm, DV -3 mm). El ratón de control fue inyectado con una solución salina. 16 días después de la implantación de las células en los animales, estos fueron escaneados mediante PET (mosaic, Philips) utilizando [¹⁸F] fluoro-2-desoxi-D-glucosa (FDG) para observar el consumo celular de glucosa. Inmediatamente después del PET se escaneó con TAC (nanoCT, Bioscan) para obtener información anatómica y detección de la vascularización utilizando para ello un contraste de yodo (Iomeprol 350 mg de yodo por ml). La segunda exploración del animal inyectado con contraste se tomó tras la exploración con resonancia magnética (Vet-MR, ESAOTE) y PET empleando en este caso [18F]-fluoromisonidazol (FMISO) para identificar posible hipoxia en el tumor. Inmediatamente después del PET como en el caso anterior se le practico un escáner TAC. La resolución mostrada en el escáner TAC fue de 0,2 mm. Los tumores fueron localizados en el escáner PET-FDG en la región de la inyección celular, y posteriormente estos resultados fueron confirmados con las imágenes de resonancia magnética. Para la localización detallada del tumor y su medición del volumen que ocupa, se analizaron las imágenes obtenidas en el TAC antes y después de la inyección del contraste haciendo uso de la diferencia porcentual de las imágenes: $\frac{([\text{con contraste}] - [\text{sin contraste}])}{([\text{con contraste}] + [\text{sin contraste}])} \times 100$ (unidades BIA) y un suavizado mediante una gaussiana 0,4 mm FWHM.



Figura 4.15: RMT2 Vista dorsal del tumor después de 22 días de la implantación tumoral. La zona blanca en el lado derecho identifica el área afectada por el tumor afectado. / MRI T2 image of the tumor on 22th day after implantation in dorsal view. Light white on the right side is tumor-affected area

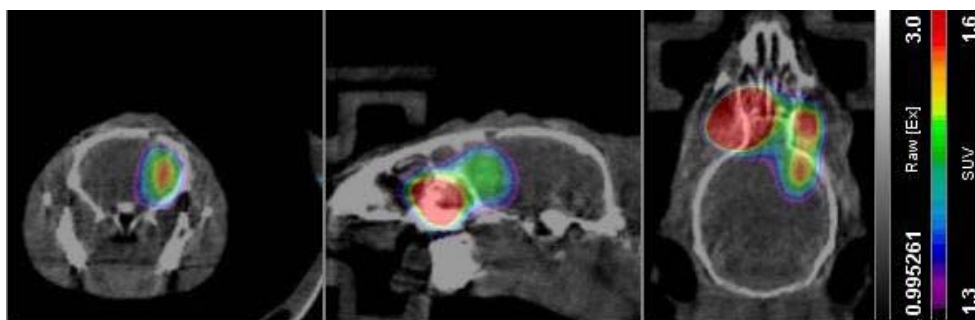


Figura 4.16: Imagen PET utilizando FDG (escala de colores UCLA) superpuesta sobre la imagen TAC (en escala de grises). Las imágenes fueron tomadas 17 días después de la implantación del tumor / PET FDG image (color UCLA scale) overlaid on CT image (grayscale) taken on 17th day after tumor implantation

En las imágenes TAC se pueden observar las vistas de corte transversal y sagital a través del cráneo. También se observa con claridad el lado frontal del tumor. Por otro lado la imagen muestra vista dorsal y sagital de las glándulas Harderianas. El volumen resultante de los datos de la imagen fue de 1.49 SUV, sin duda el valor obtenido se muestra influenciado por el efecto del volumen parcial. Finalmente el tumor no manifestó ser hipóxico según lo revelado en el escáner PET realizado con FMISO.

The objective of the work was to determine the size of the tumor in vivo for subsequent therapy monitoring of intracranial murine glioma. The previous method of slicing of the removed and fixed brain and following fluorescent microscope examination of GFP transfected glioma cells was not allowing the therapy monitoring in the same animal in vivo, although was giving very high precision of the measurement.

Methods: C57 wild type adult 4 month male mice were injected with 50000 EGFP-GL261 glioma cells in stereotactic apparatus at the location (AP +1.5 mm; L -1.5 mm; DV -3 mm). Control mouse was injected with saline. Starting 16th day after

*implantation, the animals were tomographically scanned in PET (Mosaic, Philips) with FDG (for cell glucose consumption) and immediately after in CT (nanoCT, Bioscan) for anatomical information and vascularization with iodine contrast Iomeron 350 mg iodine per ml (Iomeprol). The second full body scan of animal injected with contrast was taken followed by scanning in MRI (Vet-MR, ESAOTE) and with PET (FMISO for possible hypoxia in the tumor) and immediately after in CT. CT resolution was 0.2 mm. Tumors were localized in PET-FDG scan in the region of cell injection, and then in MRI image. For detailed localization of the tumor and its volume measurement, CT images before the injection of the contrast and after were analyzed using percentage difference image algebra $([contrasted]-[before])/([contrasted]+[before])/2*100$ (BIA units) and smoothed with Gaussian 0.4 mm FWHM filter.*

On CT image in transversal and sagittal views cut through the skull is seen. Ventral from this point tumor can be seen. More anterior on dorsal and sagittal view Harderian glands can be seen. Volume of interest drawn at 1.49 SUV level gave 9.9 microl volumes, definitely influenced by partial volume effect. Tumor is not hypoxic as indicated by FMISO scan (not shown).

4.3.4 Metabolismo cerebral: Hipoxia-Isquemia / Cerebral metabolism: Hypoxia-Ischemia

En este proyecto se describe la detección y seguimiento del daño cerebral severo producido en ratas mediante TAC y PET y el diseño de los radiotrazadores específicos para su estudio.

El daño cerebral grave traumático es en la actualidad unos de los retos a los que se enfrentan muchos profesionales clínicos y de la salud, ya que debido a los avances en materia de medicina los pacientes que sobreviven a este trastorno constituyen una población en aumento. El abordaje de estos trastornos exige un trabajo multidisciplinar y el uso de metodologías válidas. Este proyecto se está desarrollando en colaboración con Unidad de Neurocirugía Pediátrica del Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla, el Grupo de Investigación "Física Interdisciplinar. Fundamentos y Aplicaciones (GFI) de la Escuela superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla y el Instituto Cartuja de Sevilla.

Tras un traumatismo craneoencefálico son diversos los mecanismos que intervienen en la repercusiones del daño cerebral: así durante la primera fase del daño cerebral son de especial relevancia factores como el daño cerebral primario (daño producido como consecuencia del impacto físico inicial tales como las contusiones y hemorragias), el daño cerebral secundario (mecanismos de respuesta cerebral ante la agresión sufrida en el encéfalo, como la hipertensión endocraneana, las herniaciones cerebrales o la isquemia), y el daño cerebral terciario (mecanismos bioquímicos que alteran la estructura y función neuronal y glial).

Durante la fase evolucionada, las consecuencias del daño cerebral pueden generar diferentes síndromes como disfunciones cognitivas, conductuales y emocionales,

disfunciones motoras (hipertonías, espasticidad, paresias) y déficit sensoriales. Las consecuencias de estas disfunciones o de su combinación pueden causar importantes repercusiones en las diferentes esferas de la vida de los pacientes.

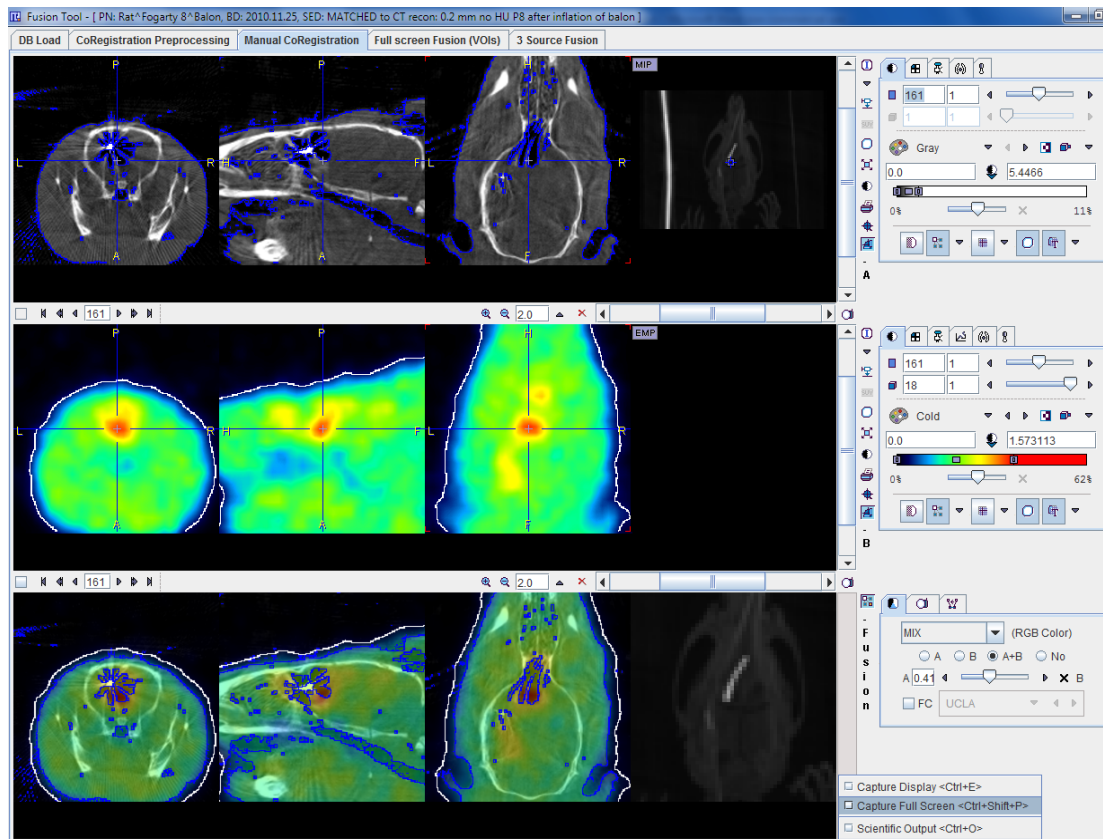


Figura 4.17 Área hipóxica producida por el daño provocado a la rata obtenida por escáner PET con el radiotrazador. Parte superior muestra el TAC de la cabeza de la rata. Las líneas azules muestran el área de baja densidad. Parte media escáner PET empleando como radiotrazador FMISO después de 3 horas de provocada la lesión. Parte inferior. Fusión de imágenes PET y TAC. Imágenes de plano de corte al cual la captura de FMISO es óptima / Hypoxic area due to the damage produced in the rat. . TOP row: CT scan of the rat head. Blue lines delineate low density area. MIDDLE row: FMISO PET scan about 3 hrs after injury. BOTTOM row: PET and CT images coregistered. Image planes cross at the maximum FMISO capture

Para este estudio se ha hecho en los laboratorios de radiofarmacia del CNA [^{18}F] Fluoromisonidazol (FMISO) el trazador PET más utilizado en estudios de hipoxia tumoral. Este compuesto pertenece a la familia de los nitroimidazoles, los cuales quedan atrapados mediante mecanismos reductores en los tejidos hipóxicos y apenas es captado por tejidos con oxigenación normal. La hipoxia en tumores malignos está asociada con la progresión de estos tumores. Los pacientes que presentan tumores con alto grado de hipoxia suelen tener una supervivencia menor que los pacientes con tumores mejor oxigenados. Los tumores peor oxigenados son más resistentes a la radioterapia y además son más resistentes a otras formas de tratamiento, puesto que

son tumores más agresivos y con más facilidad para desarrollar metástasis. Sin embargo se necesitan más estudios preclínicos para validar las aplicaciones del FMISO.

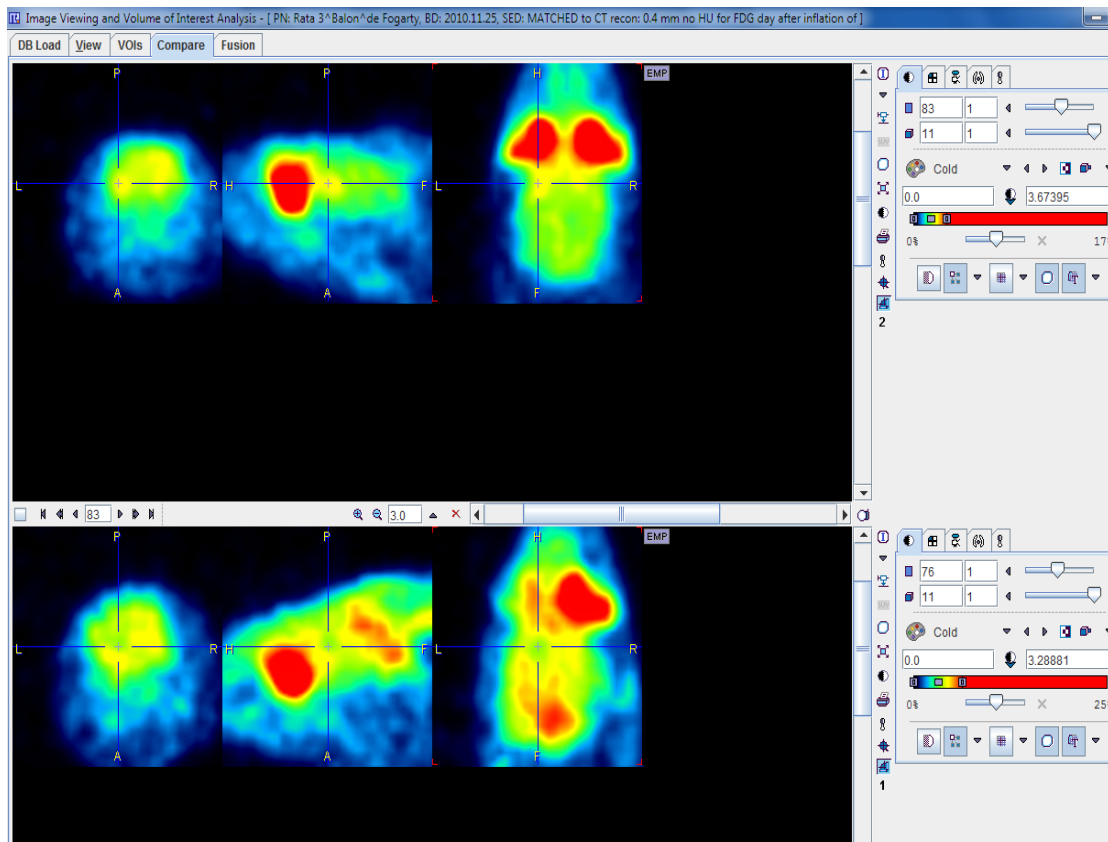


Figura 4.18: Escáner PET de rata con lesión. Parte superior muestra la imagen tomada dos horas después del desinflado del balón de Fogarty. Parte inferior muestra la imagen del mismo animal 24 horas después de la lesión. Las imágenes en el primer estadio de la lesión muestran un aumento en la captación de glucosa mientras que este consumo disminuye al día siguiente de la misma / PET FDG scan of injured rat. TOP row shows image done about 2 hrs after balloon deflation. BOTTOM row shows an image of the same animal 24 hrs after injury. At the image plane crossing, on the first step one can see increase of the glucose consumption while on the following day there is a decrease of glucose consumption.

El modelo animal se basa en la inserción de un balón de Fogarty vía craneal y posteriormente se procede a su inflado manteniéndolo durante 30 minutos a una presión dada. Junto con el balón se implantan un sensor de presión y un sensor de presión de oxígeno en el tejido en la zona próxima al balón para monitorizar sus efectos. El balón se infla con aire y se bloquea con contraste líquido. Durante el proceso de inflado se escanea con TAC para reconocer la zona lesionada y el correcto posicionamiento de los sensores. Inmediatamente después de la pérdida de presión del balón se lleva a cabo un escáner en modo dinámico con FDG (1:15 horas) o FMISO (3 horas). Pasadas 24 horas se continúa con el control del animal escaneándolo con el mismo radiotrazador al empleado el día anterior.

Este modelo de isquemia cerebral en ratas mediante PET podría ser válido para el estudio de funcionalidad y viabilidad de tejido isquémico provocado por lesión expansiva.

This project encompasses the detection and monitoring of severe brain injury in rats imaged by CT and PET and the choice of specific radiotracers for this study.

Severe traumatic brain injury is now one of the challenges faced by many clinicians, due to advance in medicine, patients who survive this disorder are a growing population. The management of these disorders requires a multidisciplinary approach and the use of valid methodologies. This project is being developed in collaboration with the Pediatric Neurosurgery Unit, Hospital Universitario Virgen del Rocío, Seville.

After a head injury there are three phases involved in the effects of brain damage. The first phase of brain damage, consist of the damage due to the initial physical impact such as bruising and bleeding. Secondary brain damage consist of cerebral mechanisms in response to the attack on the brain, including intracranial pressure, brain herniations or ischemia. Tertiary brain damage consists of biochemical mechanisms that change the structure and function of neurons and glia).

During the evolving phase, the brain damage can produce different syndromes such as cognitive dysfunction, behavioral and emotional, motor dysfunction (hypertonia, spasticity, and paresis) and sensory deficits. The consequences of these disorders or their combination can cause a major impact on different areas of patients' life.

For this study in the laboratories of the CNA [^{18}F] fluoromisonidazole (FMISO) PET tracer most commonly used in studies of tumor hypoxia was produced. This compound belongs to the family of the nitroimidazoles, which are trapped by reducing mechanisms in hypoxic tissues and barely picked up by normal tissue oxygenation.

The animal model consists of insertion of balloon of Fogarty via skull opening and inflating it for 30 min. Together with balloon intracranial pressure sensor and sensor of oxygen pressure in the tissue are inserted in the area close to the balloon. Balloon is inflated with air and blocked with the liquid. During the inflation time CT scan is done to localize the damage area and placement of the sensors. Immediately after balloon disinflation a dynamic PET scan with FDG (1:15 hrs) or FMISO (3 hrs) is done. If the animal survives, the scan with the same radiotracer is repeated at 24 hrs after injury.

This model of cerebral ischemia in rats by FMISO and FDG PET could be valid for the study of functionality and viability of ischemic tissue injury caused by expansion.

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

4.4.1 Aplicaciones de AMS a la detección de radionúclidos en residuos radiactivos / Applications of AMS to the determination of radionuclides in nuclear waste

Durante los años 2009 y 2010, se han venido desarrollando dos proyectos de investigación financiados por la empresa ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.) para el análisis de radioisótopos de semivida grande en residuos radiactivos de media y baja actividad. La motivación de estos estudios se encuentra en la necesidad de caracterizar los residuos nucleares, entre otras cosas, por la presencia de radionúclidos de semivida grande, lo cual puede determinar su clasificación y almacenamiento posterior. Entre estos radionúclidos se encuentran el ^{14}C , el ^{129}I , el ^{36}Cl y los isótopos de Pu.



Figura 4.19: Horno microondas Anton Paar Multiwave 3000 / Microwave Anton Paar Multiwave 3000

El primero de los proyectos realizados se basó en el desarrollo de la técnica de detección del ^{129}I en residuos de media y baja actividad, tales como lodos desecados, resinas de intercambio, etc. El estudio consistió, por un lado, en adaptar los métodos radioquímicos utilizados tradicionalmente en la unidad de AMS del CNA, desarrollados

originalmente para muestras de muy baja actividad, a este tipo de sustancias. Se han aplicado para ello modificaciones en diversos métodos originales hasta encontrar que la opción más eficaz era la digestión en microondas seguida de extracción en fase orgánica (Figura 4.19).

During 2009 and 2010 two new research projects have been developed at CNA funded by ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.) to analyze long-lived radionuclides stored in low and medium-activity nuclear wastes. The motivation of these studies is the necessity of description for these nuclear wastes to be classified and stored. Among these radionuclides are ¹⁴C, ¹²⁹I, ³⁶Cl and Pu isotopes.

The first project was based in the development of the technique for the determination of ¹²⁹I in these low and medium activity nuclear wastes, such as wet ionic interchange resins and dried muds. The first part involved the adaptation of classic radiochemical procedures, optimized for environmental samples, to these new kinds of matrices. From this point of view it was demonstrated that the best option was an acid digestion in microwave (Figure 4.19) followed by extraction with organic compound.

Asimismo, se ha desarrollado la metodología de medida, buscando minimizar las interferencias producidas por otros iones presentes en la muestra. Los resultados mostraron que es factible la determinación de los niveles de ¹²⁹I en este tipo de muestras, tal como se muestra por ejemplo en la Tabla 1.

Also the methodology for ¹²⁹I AMS measurements in these new matrices was developed, looking for to minimize the interferences from other radionuclides present in the samples. Results showed the feasibility of the technique for the determination of ¹²⁹I in these samples (Table 1).

Muestra / Sample	Tipo / Kind	Actividad ¹²⁹ I (Bq/g) Activity ¹²⁹ I (Bq/g)	Error (%)
ENR5	Resina húmeda Wet resin	4,22 × 10 ⁻⁵	6,35
		3,84 × 10 ⁻⁵	6,84
		7,67 × 10 ⁻⁵	2,57
ENR6	Lodos desecados Dried muds	2,98 × 10 ⁻⁵	2,26
		2,53 × 10 ⁻⁵	2,30
ENR7	Lodos desecados Dried muds	1,97 × 10 ⁻⁵	4,40
		1,68 × 10 ⁻⁵	5,56
ENR8	Resina bola Ball resin	2,78 × 10 ⁻⁶	5,37
		5,98 × 10 ⁻⁶	8,40

Tabla 1. Determinación de ¹²⁹I en residuos radiactivos de baja actividad / ¹²⁹I concentration in low-activity nuclear wastes

De igual modo, se ha experimentado la determinación de otros radionúclidos en estas muestras, como los isótopos de Pu (Tabla 2). Los resultados han mostrado un efecto

que también ha podido ser observado en las medidas de ¹²⁹I: la inhomogeneidad de las muestras en cuanto a la distribución de los radioisótopos en las mismas.

En la actualidad se viene desarrollando un nuevo proyecto que busca adaptar la metodología puesta a punto en el proyecto anterior a otras muestras más complejas (cementos, metales, etc.) y evaluar las posibilidades del sistema de AMS del CNA para determinar otros isótopos tales como el ³⁶Cl. Los primeros resultados son prometedores, ya que si bien muestran que el límite de detección no está al nivel de otras instalaciones de mayor energía, sí pueden ser suficientes para la resolución de este tipo de problemas.

It has been made experiments concerning the determination of other radionuclides in these samples, as plutonium isotopes (Table 2). Obtained results showed inhomogeneity distributions of these radionuclides in the samples, as for ¹²⁹I.

Nowadays a new project is being developed looking for the adaptation of the methodology set up before to more complex matrices and evaluating the possibility of measure other radionuclides, such as ³⁶Cl.

				AMS				Datos Enresa
Muestra			M _{muestra} (g)	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu	Error	A(²³⁹⁺²⁴⁰ Pu) (mBq/g)	Error (mBq/g)	A(²³⁹⁺²⁴⁰ Pu) (mBq/g)
2	ENR1	Lodo desecado	0,48	0,1059	0,0032	7,06	0,10	6
4	ENR2	Resina Húmeda	0,43	0,1324	0,0041	12,53	0,19	55
5	ENR3	Resina Húmeda	0,14	0,2752	0,0073	115,15	1,52	156
6	ENR4	Resina Húmeda	0,101	0,2475	0,0063	49,95	0,62	56,52
			0,101	0,2453	0,0067	25,89	0,35	56,52
			0,101	0,2471	0,0067	37,30	0,50	56,52

Tabla 2. Medida de Pu en residuos radiactivos de baja actividad / Pu isotopes measurements in low-activity nuclear wastes

4.4.2 Medida de ¹²⁹I en muestras ambientales / ¹²⁹I measurement in environmental samples

La actividad científica relacionada con el ¹²⁹I llevada a cabo en el CNA se ha dividido fundamentalmente en dos vías. En primer lugar, y tras la conclusión de la puesta a punto del acelerador SARA y las oportunas pruebas para determinar la viabilidad de la medida de ¹²⁹I mediante la técnica de AMS, se ha optimizado su medida a niveles de fondo y sensibilidad comparables con los de otras instalaciones internacionales. En segundo lugar, se ha desarrollado un método radioquímico de preparación de muestras que consiste en una digestión en un entorno altamente oxidante (con HNO₃)

obtenido mediante un microondas funcionando a alta temperatura y alta presión. Siguiendo este método de preparación de muestras se han preparado y medido por AMS más de 300 muestras ambientales, entre las que se incluyen líquenes, algas, turbas, filtros atmosféricos y materiales de referencia de organismos internacionales.

The scientific activity related to ^{129}I measurements held at the CNA is divided in two mainly ways. First, after finishing the experimental set-up of the accelerator SARA and appropriate tests to determine its feasibility for ^{129}I measurements by AMS technique, these measurements have been optimized from the point of view of background levels and sensitivity, obtaining results which confirm the viability of this facility to make routine measurements of ^{129}I at environmental levels, comparable with other international facilities. Secondly, a radiochemical method of sample preparation has been developed. It consists of a digestion in a microwave operating at high temperature and pressure, using HNO_3 as oxidizing agent. Over 300 environmental samples have been prepared following this radiochemical procedure and have been measured by AMS, including lichens, algae, peat bogs, air filters and reference materials from international agencies.

Brevemente, el yodo es extraído de la fuente de iones como anión I^- que, tras sufrir el proceso de stripping a 1 MeV en un blanco de argón, es analizado como I^{3+} en la zona de alta energía donde, finalmente, es cuantificado en una cámara de ionización con una ventana de nitruro de silicio de 40 nm de espesor. Actualmente existen varias colaboraciones con distintos organismos, de las cuales las más importantes son las siguientes. Con la Universidad Autónoma de Barcelona se han llevado a cabo medidas de ^{129}I mediante la técnica de AMS en aguas del Ártico. Con la IAEA (International Atomic Energy Agency) se participó en un ejercicio de intercomparación que ha servido para certificar la concentración de ^{129}I en agua de mar (material IAEA-418). Se ha colaborado con la Universidad de Lund para la medida de ^{129}I en líquenes, algas y turbas procedentes de diferentes puntos de Suecia, llegándose a medir actividades del orden de $0.1 \mu\text{Bq g}^{-1}$, valor que está por debajo o cercano a los límites de detección de las técnicas radiométricas y que muestra la extrema sensibilidad de la técnica de AMS para la medida de ^{129}I . Todos estos trabajos han dado lugar a la publicación de tres artículos en revistas de reconocido prestigio y a tres aportaciones a congresos internacionales.

Briefly, a beam of negative iodine ions is extracted from the cathode containing silver iodide mixed with niobium powder using the Cs^+ high-intensity sputter source. After stripping process through argon gas, the detection of $^{129}\text{I}^{3+}$ ions is performed with a two-anode gas ionization detector provided with a 40 nm thick $8 \times 8 \text{ mm}^2$ silicon nitride entrance window and isobutene as counting gas. The terminal voltage is set to 1 MV. Actually there are some collaborations with different international organisms, as follow: ^{129}I measurements in arctic seawater with Universidad Autónoma Barcelona, intercomparison exercise with International Atomic Energy Agency to certify ^{129}I concentration in material IAEA-418 (seawater), collaboration with Lund University to measure ^{129}I concentration in lichens, algae and peat bogs samples from different

places around Sweden. An activity of $0.1 \mu\text{Bq g}^{-1}$ was measured in the oldest lichen samples (collected in 1962), a value that is behind the limit of detection of radiometric techniques and which shows the sensibility of AMS technique for the measurement of ^{129}I in environmental samples. All these data have been published in three papers and three contributions to international congresses.

En la siguiente figura, Figura 4.20, se muestran las concentraciones de ^{129}I medidas en líquenes recogidos en el Lago Rogen (Suecia Central) durante los períodos 1962-1975 y 1987-1998. Tras el análisis de los resultados obtenidos y la comparación con otros datos publicados en la literatura, se llegó a la conclusión de que el ^{129}I presente en dichas muestras procedía de dos fuentes distintas, en función del año de recogida: las pruebas nucleares atmosféricas de los años 60-70 en el caso de las muestras más antiguas, y el accidente de Chernobyl en el caso de las más modernas. Estos datos se han reflejado en el trabajo “Level and origin of ^{129}I and ^{137}Cs in lichen samples (*Cladonia alpestris*) in Central Sweden”, publicado en la revista “Journal of Environmental Radioactivity”.

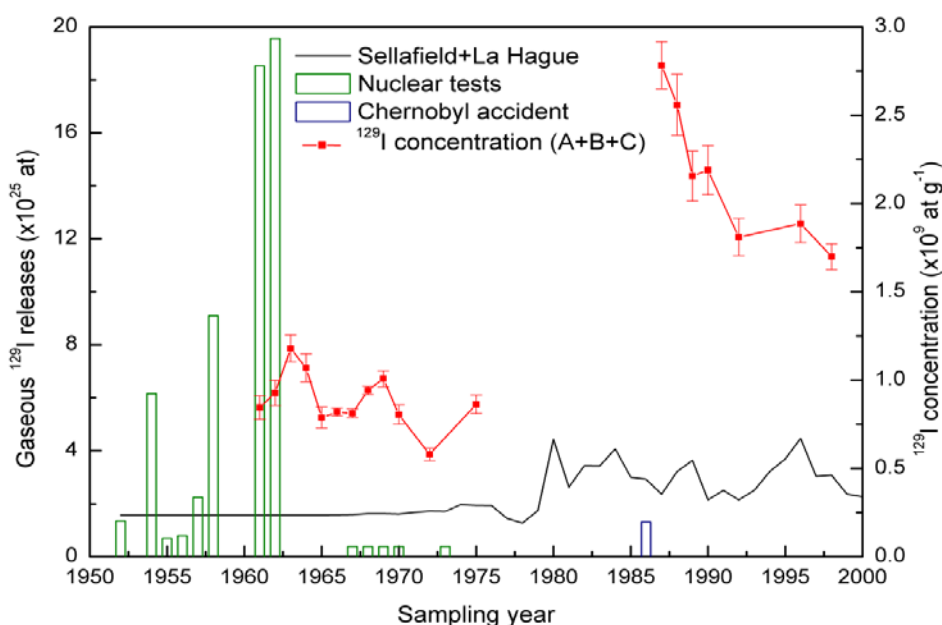


Figura 4.20: Concentración de ^{129}I (línea roja) en los líquenes (at g^{-1}) del lago Rogen (Suecia) y emisiones gaseosas (at) de ^{129}I procedentes de: las plantas de reprocesamiento de combustible nuclear de Sellafield y La Hague (línea negra), el accidente de Chernobyl (barra azul) y las pruebas nucleares (barras verdes) / Concentration of ^{129}I (red line) in lichens (at g^{-1}) from Lake Rogen (Sweden) and emissions (atoms) from reprocessing facilities Sellafield and La Hague (black line), the Chernobyl accident (blue bar) and nuclear tests (green bars)

Figure 4.20 shows the evolution of the ^{129}I concentrations in lichens collected in Lake Rogen (Central Sweden) during the periods 1962-1975 and 1987-1998 and the amount of ^{129}I gaseous releases from different sources in the studied period. After analysis of

*the results and comparison with other data published in different papers, the obtained conclusion was the influence of two different artificial ^{129}I sources: fallout from nuclear tests for samples collected before 1976 and the Chernobyl accident for samples collected after 1987. These conclusions have been published in paper "Level and origin of ^{129}I and ^{137}Cs in lichen samples (*Cladonia alpestris*) in Central Sweden (Journal of Environmental Radioactivity)".*

4.4.3 Medida de actínidos por AMS / Actinides Measurement by AMS

Dentro de la familia de los actínidos, existen una serie de radionucleidos que, debido a su largo periodo de semidesintegración y a su escasez en los diferentes compartimientos ambientales, difícilmente pueden cuantificarse por técnicas de recuento de la actividad. Tales son los casos del ^{236}U ($T_{1/2}=23,5 \cdot 10^6$ a) y del ^{237}Np ($T_{1/2}=1,4 \cdot 10^6$ a). El primero se produce por activación neutrónica del ^{235}U ; el segundo procede fundamentalmente de la desintegración del ^{241}Am . Por tanto, ambos están íntimamente relacionados con la industria nuclear.

Además, es importante mencionar los casos del ^{239}Pu ($T_{1/2}=24 \cdot 110$ a) y del ^{240}Pu ($T_{1/2}=6 \cdot 524$ a). Tradicionalmente, se han medido por espectrometría alfa pero, debido a la dificultad de los detectores de estado sólido para discriminar sus emisiones, esa técnica sólo aporta información sobre la actividad conjunta de ambos. Se pierde así información sobre la relación isotópica $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$, que ofrece una valiosísima información sobre el origen del plutonio. La espectrometría de masas con aceleradores de baja energía ha demostrado ser en los últimos años una técnica competitiva en el campo de la cuantificación de estos radionucleidos. Con una mínima inversión en la radioquímica se pueden alcanzar límites de detección del orden del fg (10^{-15} g) sin prácticamente efectos de matriz, gracias a la eliminación de moléculas en el stripping y a los filtros cinemáticos básicos existentes en este tipo de dispositivos.

Among the actinides, there are different radionuclides that cannot be radiometrically measured due to their long half-life and their scarcity in the general environment. These are the cases of ^{236}U ($T_{1/2}=23,5$ My) and ^{237}Np ($T_{1/2}=1,4$ My). The former is produced by neutron activation on ^{235}U ; the later comes from ^{241}Pu , through ^{241}Am . Therefore, both are related to the nuclear industry.

Moreover, it is important to mention ^{239}Pu ($T_{1/2}=24 \cdot 110$ y) and ^{240}Pu ($T_{1/2}=6 \cdot 524$ y), traditionally measured by alpha-spectrometry with one important limitation: the impossibility of obtaining information on the $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atomic ratio at environmental levels, which informs about the origin of the plutonium. In the last decade, Accelerator Mass Spectrometry (AMS) has demonstrated to be a competitive technique in this field. With a very simple radiochemistry, detection limits of about 1 fg (10^{-15} g) per sample can be afforded, thanks to the elimination of molecules in the so-called stripping process and to the introduction of different cinematic filters.

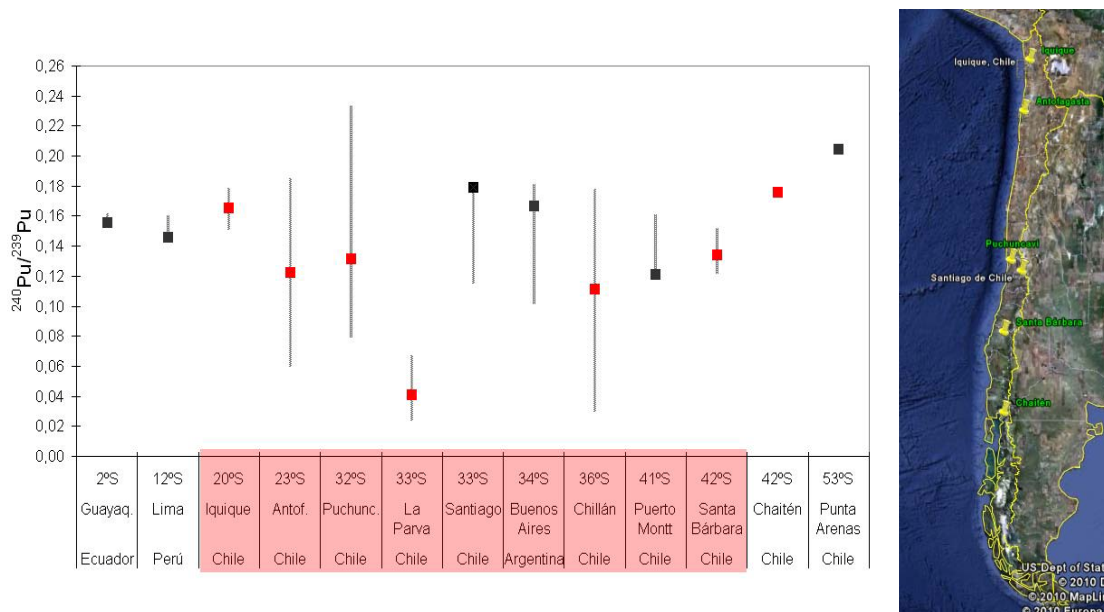


Figura 4.21: Relaciones isotópicas $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ en diferentes zonas de Sudamérica: los símbolos representan los valores promedio (en rojo los medidos en el CNA); las barras el rango de cocientes medidos en cada caso. La variabilidad de los cocientes entre 20 y 42°S es un indicativo de la inhomogeneidad de la contaminación por plutonio.

Resultados aceptados para su publicación en la revista Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B (NIMB) / $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atomic ratios reported in different areas of South America: the symbols represent the average values obtained in each case; the bars the reported variability ranges according to the individual results. The variability of the atomic ratios between 20 and 42°S point out to the presence of debris from the French nuclear tests performed in the Polynesia between 1960 and 1980 (to be published in NIMB)

Desde hace varios años, en la instalación de AMS del CNA se vienen realizando estudios de $^{239,240}\text{Pu}$ en diferentes matrices ambientales (suelos, sedimentos, filtros de aire, agua de mar, y turbas), en colaboración con diferentes instituciones (IAEA, Universidad de Sevilla, Universidad de Extremadura). Además, en colaboración con el CIEMAT, se ha puesto a punto un método de cuantificación de ^{239}Pu en muestras de orina, para estudios de dosimetría interna, rutinarios en las labores de vigilancia radiológica de instalaciones nucleares. Por tanto, la técnica de medida de isótopos de plutonio está totalmente establecida. En el último año, se han realizados experimentos para la puesta a punto del método de medida de ^{236}U .

Asimismo, se han optimizado métodos radioquímicos para la extracción y purificación del uranio a partir de muestras de diferente naturaleza. Los límites de detección obtenidos por el momento, expresados en términos de relaciones isotópicas $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$, son del orden de 10^{-9} , comparables a los obtenidos en instalaciones de AMS convencionales.

Since 2007, a wide variety of studies on $^{239,240}\text{Pu}$ in different environmental compartments (soils, sediments, air-filter samples, sea-water, peat-bogs) in collaboration with different national and international institutions (IAEA-MEL; University of Seville, University of Extremadura and Barcelona (Spain); University of Lund (Sweden)) have been performed. For instance, in the following figure we display the published results for the $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atomic ratio in different areas of South America. The low $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ average atomic ratio and the variability observed in soils from Chile, as measured by AMS at the CNA, point out to the presence of debris from the atmospheric nuclear tests performed by France in the French Polynesia between 1960 and 1980. This work has been performed in collaboration with the University of Extremadura. On the other hand, in collaboration with the CIEMAT (Madrid, Spain), a procedure to determine ^{239}Pu in urine samples for internal dosimetry studies had been set up and tested. Therefore, we can conclude that the Pu AMS technique is fully established at the CNA.

In the last year, different experiments to set up the ^{236}U measurement technique by AMS have been performed. Also, radiochemical procedures to extract and purify the uranium fraction have been tested. To date, we have been able to achieve $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratios as low as 10^{-9} , which compare with the attainable ones on other conventional AMS facilities.

4.4.4 Medidas de ^{26}Al / ^{26}Al Measurements

El ^{26}Al ($T_{1/2} = 0,72 \cdot 10^6$ a) se produce en la atmosfera mediante espalación de Ar y en rocas mediante espalación de Si. También puede producirse antropogénicamente, con el uso de aceleradores de partículas. La tasa de producción en la litosfera depende de la latitud y son muy altas para el cuarzo. Por esta razón, la producción de ^{26}Al proveniente de la sílice representa más del 70% del total terrestre. Se produce a una tasa que es 6 veces mayor que ^{10}Be . Así, el cociente $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ es una herramienta muy importante para el estudio de procesos terrestres como la erosión en rocas o datación mediante la medida del tiempo de exposición de las mismas a la radiación cósmica.

A su vez, durante los últimos años la toxicidad del aluminio ha sido ampliamente reconocida, sin embargo hoy en día, el estudio de la química biológica del aluminio se ha visto acotada por la falta de un apropiado isótopo trazador. Sólo el ^{26}Al tiene la suficiente vida para usarlo como trazador en experimentos. La combinación del alto coste y baja actividad específica hace que este isótopo también sea caro para el uso general como radiotrazador y el interferente isobárico, ^{26}Mg , hace que el uso de la espectrometría de masas convencional (incluso de alta resolución), sea impracticable para este tipo de isótopos. Por ello la técnica AMS, se convierte en la más idónea para el estudio de este radionucleido, por lo que la medida de ^{26}Al en AMS ha motivado su uso para estudios en procesos metabólicos en sistemas vivos. Enfermedades patológicas, renales o incluso la enfermedad del Alzheimer, son estudiadas con este isótopo.

Todo ello ha motivado que durante el año 2010 se haya llevado a cabo la optimización de la medida de ^{26}Al en AMS de 1 MV en las instalaciones de CNA. Con el fin de obtener las condiciones y parámetros idóneos para la realización de medidas rutinarias de este isótopo en dicha técnica, se han realizado estudios de transmisión de haz, calibración y valores de fondo en varios estados de carga. El trabajo de optimización ha dado lugar a la realización de las primeras medidas de ^{26}Al en muestras reales en el CNA, que en este caso corresponden a muestras de mineral Caolín. El cociente $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ obtenido para cada muestra, permitirá relacionar el valor de dicho cociente con su localización y origen, y también observar si hay similitudes entre los cocientes de diferentes muestras de caolines y localizaciones. El estudio del cociente $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$, proporcionará información para la datación de los distintos caolines.

^{26}Al ($T_{1/2} = 0,72 \text{ My}$) is produced in the atmosphere by spallation of Ar and in rocks by spallation of Si. The production rates in the lithosphere depend on altitude and latitude and are very high in quartz. For this reason, the production of ^{26}Al from silicon implies that about 70% of total terrestrial. The production rate is 6 times higher than ^{10}Be . Thus, the ratio $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ is a very important tool to the study of terrestrial process like erosion in rocks or surface exposure dating by the measurement of exposure time of the rocks to cosmic rays flux.

At the same time, over the last years, aluminium has emerged as an important toxic element; however, until recently, the study of the biological chemistry of aluminium was hampered by the lack of a suitable tracer isotope. Only ^{26}Al is sufficiently long-lived for its practical use in tracer experiments in living systems. The combination of high cost and low specific activity render this isotope too expensive for general use as a radiotracer, and the isobaric interference, ^{26}Mg , makes the use of conventional mass spectrometry (even at high resolution) all but impracticable for this isotope. Therefore, the AMS become useful technique to study this radionuclide, so the measurement of ^{26}Al in AMS has motivated its use to study metabolic process in life systems. Pathologic, renal or even Alzheimer's disease is studied with this isotope.

All this has meant that during 2010 has been carried out the optimization of measurement of ^{26}Al in 1MV AMS at CNA facilities. In order to obtain the parameters and conditions for making routine measurements of ^{26}Al in this technique, studies of beam transmission, calibration and background values have been carried out in several charge states. The optimization work has led to make the first measurements of ^{26}Al in terrestrial samples at CNA, which in this case have been Kaolin ore samples. $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ratio obtained for each sample, will let us relate the value of this ratio with its location and origin, and we will be able to see if there are similarities among the ratios of different samples of kaolin an locations. $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ratio study will provide information to the dating of the different kaolins.

4.4.5 Medida de ^{14}C / ^{14}C Measurement

Los años 2009 y 2010 han sido años de consolidación para el Servicio de Datación por Radiocarbono del CNA. Tras su inauguración en el año 2007, el servicio ha funcionado

como herramienta indispensable para un gran número de usuarios, lo que se ha visto reflejado en el alto número de solicitudes recibidas. En estos dos últimos años se ha llevado a cabo la datación de más de 500 muestras provenientes de diferentes instituciones, de modo que a finales de 2010 se han realizado un total de 839 medidas dentro del servicio de datación.

Los procesos de preparación de la muestra no han sufrido cambios significativos dado los buenos resultados obtenidos, sin embargo, se ha comenzado el proceso de implementar dos nuevos protocolos para la preparación de muestras de hueso y de madera. Además, a finales de 2010 se ha comenzado el proceso de diseño y puesta a punto de un nuevo laboratorio de preparación de muestras que contendrá un nuevo sistema de grafitización automático, que permitirá preparar un mayor número de muestras.

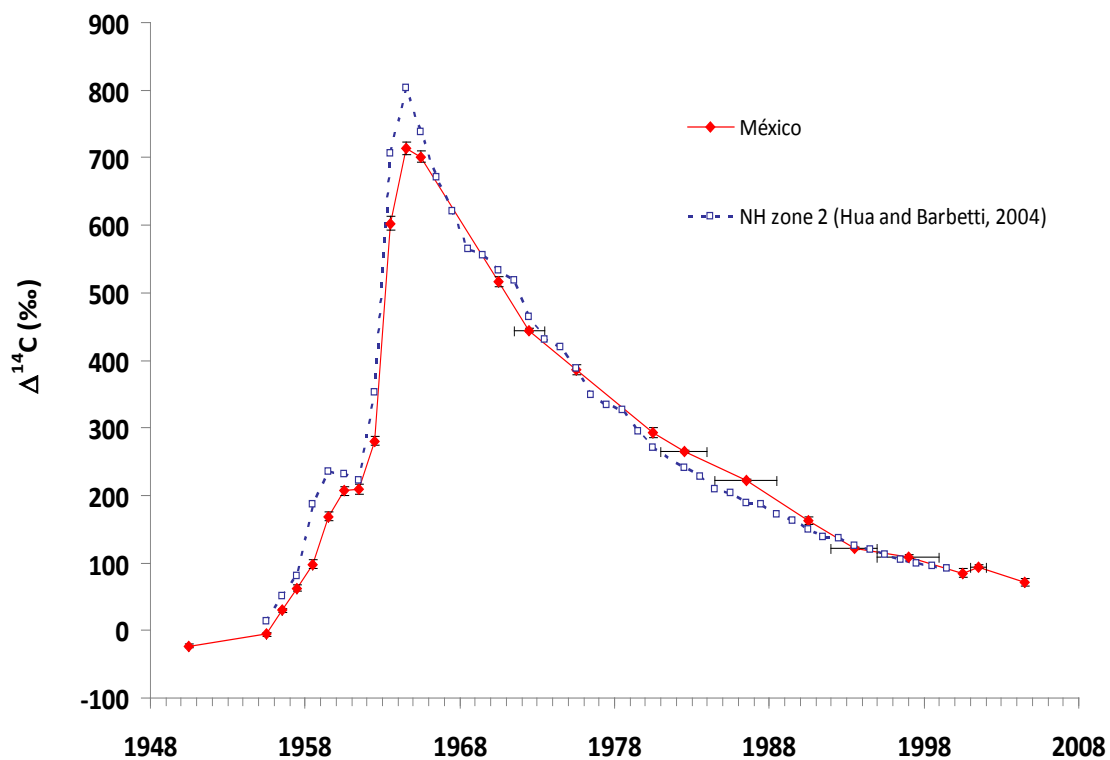


Figura 4.22: Comparativa entre las concentraciones de ^{14}C en un árbol de México y el valor propuesto para la misma zona geográfica a partir de otros estudios / Comparison between the concentrations of ^{14}C in a tree in Mexico and the proposed value for the same geographical area from other studies

Respecto al sistema de medida, durante el año 2010 se ha confirmado la adquisición de un nuevo sistema de medida ultracompacto, Micadas, dotado de una alta estabilidad y que simplificará el proceso de medida. Se espera que pueda ser instalado a lo largo del año 2011.

Durante estos años, además de ofrecer un servicio externo a todos aquellos usuarios que lo requieran, el CNA ha realizado trabajos de investigación en ^{14}C en colaboración con diferentes entidades. En el año 2009 se completaron las medidas que permitieron obtener un perfil de concentración de ^{14}C en anillos de un árbol de México, lo que ha permitido obtener interesante información acerca de la distribución espacial del ^{14}C producido durante las pruebas nucleares de los años 1950-1960. Los resultados obtenidos han sido presentados en la 20th International Radiocarbon Conference (Hawaii, mayo 2009) y posteriormente publicados en la revista Radiocarbon.

También, casi desde el inicio del servicio, se ha venido realizando un seguimiento de la concentración de ^{14}C en la dieta humana típica en tres localizaciones del país diferentes, en muestras trimestrales.

Actualmente, se está trabajando en la determinación de ^{14}C en un perfil de turba proveniente de Suecia, una zona afectada por el llamado efecto Suess, consistente en la menor concentración de ^{14}C debido a la quema de combustibles fósiles. Se trata además de una zona afectada por el accidente nuclear de Chernobyl.

The years 2009 and 2010 were years of consolidation for Radiocarbon Dating Service of CNA. After its opening in 2007, the service has worked as an indispensable tool for a large number of users, which is reflected in the high number of applications received. In the last two years the service has carried out the dating of more than 500 samples from different institutions, so that by the end of 2010 a total of 839 measures in the dating service had been made.

The processes of sample preparation have not been significantly altered given the good results obtained; however, implementation of two new protocols for the preparation of bone and wood samples has begun. In addition, in late 2010 it has begun the process of design and development of a new sample preparation lab containing a new automatic graphitization system, which will allow us to prepare a larger number of samples.

Regarding the measuring system, in 2010 it has been confirmed the acquisition of a new ultra-compact measurement system, Micadas, equipped with high stability and which will simplify the measurement process. It is expected to be installed during 2011.

During these years, while providing an external service to users who require it, CNA has conducted research in collaboration with different entities. In 2009 we finished the measurements to obtain a profile of ^{14}C concentration in tree rings from Mexico, which has yielded interesting information about the spatial distribution of ^{14}C produced during the nuclear tests of the years 1950-1960. The results have been presented at the 20th International Radiocarbon Conference (Hawaii, May 2009) and subsequently published in the journal Radiocarbon.

Also, almost from the start of the service, we have carried out the monitoring of the ^{14}C concentration in typical human diet in three different locations around the country in quarterly samples.

Currently, work is in progress in the determination of ^{14}C in a peat profile from Sweden, an area affected by the so-called Suess effect, consisting of the lower ^{14}C concentration from burning fossil fuels. This is also an area affected by the Chernobyl nuclear accident.

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

El estudio del Medio Ambiente Físico contempla una serie de temas prioritarios íntimamente relacionados, en los que trabajan los investigadores que forman esta Unidad de Investigación. Las líneas que actualmente están desarrollando son las siguientes:

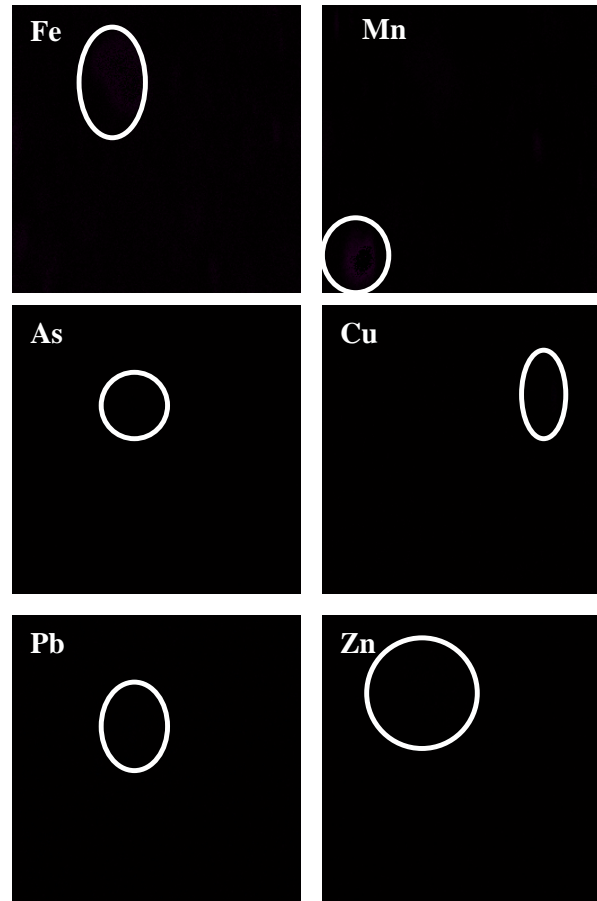
- Contaminación de suelos y sedimentos de ríos y lagos.
- Drenaje ácido de minas.
- Contaminación atmosférica: Material particulado y Emisiones de gases F, Cl y S producidos por la cocción de arcillas cerámicas.
- Contaminación atmosférica: Material particulado procedente de escombreras mineras.
- Efectos ambientales en la degradación del Patrimonio pétreo
- Física medioambiental y Biofísica.
- Recursos hídricos. Calidad y gestión de las aguas.
- Tecnologías para la prevención y tratamiento de la contaminación.

El principal interés en el uso de las instalaciones del CNA por parte de esta unidad se ha centrado en implantar técnicas analíticas de metales, precisas y no destructivas (e.g. PIXE), en aerosoles atmosféricos, suelos, sedimentos y plantas.

Además de lo comentado anteriormente, se ha aprovechado la capacidad que tiene el AMS para medir muy pequeñas concentraciones de radionucleidos en muestras naturales, lo que le hace muy útil para la resolución de problemas ambientales actuales o pasados.

La técnica de microPIXE se ha usado para estudiar la especiación química y mineralógica de suelos contaminados por elementos traza. Esta técnica mostró la asociación de elementos traza como As, Pb, Cu y Zn a diversas fases minerales como óxi-hidróxidos de Fe, calcopirita y galena. Consecuentemente la técnica se propone

como alternativa o complementaria a otras técnicas utilizadas para estudiar la especiación de elementos traza en suelos.



Elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	Cu	Zn	As	Pb
RT-21-1 Total	48.6	14.8	7.5	1751	496	501	115	567
RT-21-1 Fe	30.0	9.9	27.9	1857	472	1362	319	1061
RT-21-1 Mn	37.7	10.0	9.2	1716	463	530	187	577
RT-21-1 As	21.2	7.5	31.7	1767	658	1837	1849	4276
RT-21-1 Cu	37.0	10.5	5.5	14111	5911	N.C.	N.C.	N.C.
RT-21-1 Pb	19.0	6.5	31.4	N.C.	772	1480	2551	5806
RT-21-1 Zn	30.3	9.6	29.8	1854	497	1470	355	1060

Tabla 1: Análisis químico de mayoritarios (%) y trazas (ppm) de la muestra total (amarillo) y de las acumulaciones destacadas en la figura / Chemical analysis of majority (%) and trace (ppm) of the total sample (yellow) and prominent accumulations in figure

The study of the Physical Environment considers a series of priority issues closely related, in which the researchers of this Research Unit are working. The lines that are currently being developed are the following:

- Pollution of soils and river and lake sediments.*
- Acid mine drainage.*
- Atmospheric pollution: Atmospheric particulate materials and emissions of gases F, Cl and S produced by the firing of ceramic clays.*
- Atmospheric pollution: Atmospheric particulate materials coming from waste mining dumps.*
- Environmental effects on the stone degradation.*
- Environmental Physic and Biophysics*
- Water Resources. Quality and Management of water.*
- Technologies for the prevention and treatment of pollution.*

The main interest of this Research Unit in the use of the facilities of the CNA has been focused on implementing accurate and non-destructive analytical techniques for metals (e.g. PIXE) in atmospheric particulates, soils, sediments and plants.

In addition to the above we use the capacity that has AMS to measure very small concentrations of radionuclides in natural samples, which makes it very useful for the resolution of current or previous environmental problems.

The microPIXE technique has been used for chemical and mineralogical speciation of soils polluted by trace elements. The technique showed the association between trace elements such as As, Pb, Cu y Zn and several mineral phases such as iron oxyhydroxides, chalcopyrite and galena. As a matter of fact, this technique has been proposed as an alternative or complementary in chemical-mineralogical studies of soils polluted by trace elements.

5. 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 units is shown:

5.1. Participación en Proyectos, Convenios y Contratos / Research Projects, Conventions and Contracts

5.1.1 Proyectos Internacionales / International Projects

Consolidation of European Nuclear Education, Training and knowledge Management (ENEN-II)

Investigador principal: Peter de Regge

Investigador local: Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

FP6-036414

6º Programa Marco de la U.E. Commission of the European Communities (Research Directorate-General)

01/10/2006-31/03/2009

Novel diagnostic techniques for future particle accelerators: a Marie Curie initial training network

Investigador principal: Carsten Welsch

Investigador local: Joaquín Gómez Camacho

PITN-GA-2008-215080

Proyecto Marie Curie. Commission of the European Communities (Research Directorate-General)

01/01/2008-31/12/2010

5.1.2 Proyectos Nacionales / National Projects

Aplicación de Técnicas de Datación por Isótopos Radiactivos en Ecosistemas Naturales Andaluces

Investigador principal: Rafael García Tenorio García-Balmaseda

P07-RNM-02567

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa)

31/01/2008-30/01/2012

Análisis de elementos ligeros mediante la técnica NRA con haces de deuterio

Investigador principal: Javier García López

IFN08-04

OPN - Instituto Nacional de Física Nuclear (MICINN)

01/10/2008-30/09/2009

Aplicaciones multidisciplinares de la línea de implantación iónica del Centro Nacional de Aceleradores

Investigador principal: Javier García López

P06-TEP-01739

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación)

11/04/2007-10/04/2010

Implantación de sustratos de SiC con metales de transición: creación de semiconductores magnéticos para aplicaciones en espintrónica

Investigador principal: Javier García López

MAT2006-03519

Plan Nacional del 2006 (MEC)

1/10/2006-30/09/2009

Caracterización de la colección del Museo Provincial de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis

Investigador principal: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

EXC/2005/HUM-493

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación)

01/03/2006-28/02/2009

Comercio e Intercambio de metales en el Mediterráneo occidental y central (Siglo V A.C. a I D.C.)

Investigador Principal: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

HUM2006-03154

Plan Nacional del 2006 (MEC)

01/10/2006-31/03/2010

Centro para ensayos de irradiación de circuitos integrados

Investigadora principal: Yolanda Morilla García

ESP2007-65914-C03-02

Plan Nacional del 2007 (MEC)

01/10/2007-30/09/2010

Nuevos desarrollos en espectrometría de masas con aceleradores de baja energía: medidas en la instalación del Centro Nacional de Aceleradores

Investigador principal: Manuel García León

FIS2008-01149

Plan Nacional del 2008 (MICINN)

01/01/2009-31/12/2011

Desarrollo de modelos de respuesta rápida para la dispersión de contaminantes en las aguas comunes a España y Marruecos (Golfo de Cádiz y mar de Alborán)

Investigador principal: Raúl Periañez, Guillermo Manjón
PCI-Mediterráneo A/017351/08
AECID (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación)
10/01/2009-10/01/2010

Determinación tasas extracción y velocidades sedimentación mediante radionúclidos reactivos en columnas de aguas costeras; Aplicación a la modelización de la dispersión de contaminantes

Investigador principal: Juan Pedro Bolívar Raya
CTM2009-14321-C02-01
Plan Nacional de I+D+I Fundamental no Orientada (MICINN)
01/01/2010-31/12/2012

Núcleos lejos de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores

Investigador principal: Manuel Lozano Leyva
P07-FQM-02894
Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa)
01/01/2008-31/12/2011

Dispersión, Estructura y Tracking de Núcleos Exóticos

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho
FPA2006-13807-C02-01
Plan Nacional del 2006 (MEC)
01/10/2006-30/03/2010

Datación de vestigios carbonatados por Carbono-14 y su aplicación a estudios arqueológicos de yacimientos prehistóricos al norte de Marruecos

Investigador principal: Francisco Javier Santos Arévalo, Nadia Ziad
PCI-Mediterráneo A/010038/07
AECID (MAEC)
16/01/2008-16/01/2009

Aplicaciones a la radioecología del espectrómetro de masas con acelerador del Centro Nacional de Aceleradores

Investigador principal: Gert Elis Gustaf Holm
P05-RNM-1197
Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación)
01/06/2008-31/05/2009

Mejora de equipamiento para el CNA: Instalación de un irradiador

Investigador principal: Manuel García León
ICTS2009-42
MICINN
2009-2010

Dispersión, estructura y trazado de núcleos exóticos e instrumentación nuclear

Investigador principal: Joaquín José Gomez Camacho

FPA2009-08848

Plan Nacional del 2009 (MICINN)

01/01/2010 – 31/12/2012

Centro para Ensayos de Irradiación en Dispositivos para Espacio - CEIDES

Investigador principal: Yolanda Morilla García

TEC2010-22095-C03-02

Plan Nacional del 2010 (MICINN)

01/01/2011- 31/12/2013

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

Investigador principal: Javier García López

MAT2009-07160

Plan Nacional del 2009 (MICINN)

01-01-2010 - 31-12-2012

Riqueza, valor y precio: el metal como referente en las sociedades mediterráneas (S. V A.C. – I D.C.)

Investigador Principal: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

HAR2009-07449

Plan Nacional del 2009 (MICINN)

01/01/2010 – 31/12/2012

Análisis de la colección pictórica de los siglos XV-XVI del Museo de Bellas Artes de Sevilla mediante técnicas nucleares no destructivas

Investigador responsable: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

HUM-4544

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación)

03/02/2010 – 03/02/2014

Mineralogía y geoquímica del material particulado atmosférico en el entorno de la cuenca minera de Riotinto, faja pirítica ibérica.

Investigador principal: Jesús de la Rosa Díaz

CGL2008-06270-C02-02/CLI

Plan Nacional de I+D+I Fundamental no Orientada (MICINN)

01/01/2009-31/12/2011

Estudio de la contaminación atmosférica por material particulado en la Comunidad Autónoma de Andalucía

Investigador principal: Jesús de la Rosa Díaz

289/2009/C/00

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía

01/10/2009-30/09/2011, renovable dos años más hasta 2013

Análisis de riesgos de suelos potencialmente contaminados por actividades mineras en la provincia de Huelva

Investigador principal: Juan Carlos Fernández Caliani

Consejo Social, Universidad de Huelva

02/2009-11/2009

Evaluación integral del impacto de las emisiones de partículas de los automóviles en la calidad del aire urbano -EPAU-

Investigador principal: María de Mar Viana (CSIC) / Sergio Rodríguez González (UHU)

B026/2007/3-10.1

Ministerio de Medio Ambiente

01/11/2007-31/12/2009

AER-REG: Estudio sobre la formación y transporte del aerosol atmosférico regional en Andalucía Occidental.

Investigador principal: Sergio Rodríguez González (UHU)

P07-RNM 03125

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas)

01/02/2008-31/01/2011

Radionucleidos como trazadores de los procesos sedimentarios: aplicación al estudio del impacto ambiental existente en el estuario de los ríos Tinto y Odiel

Investigador principal: Juan Pedro Bolívar Raya

CTM2006-08148

Plan Nacional del 2006 (MEC-CICYT)

01/12/2006-30/11/2009

Aproximación multidisciplinar para el estudio de la contaminación y sus efectos en los organismos. Aplicación al estero Domingo Rubio

Investigador principal: Emilio Galán Huertos

EXC/2005/RNM-523

Proyecto de Excelencia de La Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación)

01/03/2006-28/02/2009

Origen, composición y efectos ambientales del material particulado atmosférico derivado de residuos mineros, en la calidad del aire y de los suelos de la comarca de Riotinto (Huelva)

Investigadora principal: Isabel González Díez

CGL2008-06270-C02-01

Plan Nacional del 2008 (MICINN)

10/10/2008-09/10/2011

Problemática postminera derivada de la explotación de sulfuros polimetálicos

Investigadora principal: Isabel González Díez

CGL2008-00247-E

OPN-Acción complementaria (MEC)

17/11/2008-16/11/2009

Efectos ambientales del material particulado atmosférico derivado de residuos mineros, en la calidad del aire y de los suelos de la comarca de Riotinto (Huelva)

Investigadora principal: Isabel González Díez

P09-RNM-5163

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas)

1/01/2010-30/12/2012

Caracterización físico-química y modelo de dispersión de alta resolución de metales derivados de emisiones industriales. Sistema integrado de modelización de calidad del aire en andalucía -SIMAND-

Investigador principal: Jesús de la Rosa Díaz

P07-RNM 02729

Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía (Consejería de Innovación, Ciencia y Empresas)

01/02/2008-31/01/2011

5.1.3 Convenios y Contratos / Conventions and Contracts

Contrato de explotación temporal del laboratorio de Radiofarmacia asociado al Ciclotrón del CNA

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho

IBA Molecular

2004-Actualidad

Convenio de colaboración entre Ciemat y CNA

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho

Ciemat

2006-Actualidad

Convenio específico de colaboración para la realización de actividades investigadoras del Programa Consolider-Ingenio 2010

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho

CPAN

2008-Actualidad

Convenio de colaboración entre el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH) y el CNA

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho

IAPH

2008-Actualidad

Convenio de colaboración entre la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía y la Universidad de Sevilla para llevar a cabo el programa de captación del conocimiento para Andalucía (C2A)

Investigador principal: Joaquín Gómez Camacho

Junta de Andalucía

2009-2013

5.1.4 Otros Proyectos / Other Projects

Actividades de investigación en medida de muestras de suelos para su caracterización radiológica

Investigador principal: Rafael García-Tenorio García Balmaseda

OG-005/08

Contrato 68/83 (Ciemat)

25/07/2007-25/07/2009

Diseño y desarrollo de un nuevo sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)

Investigador principal: María Isabel Gallardo Fuentes

0214/0129

Contrato 68/83 (Instalaciones Inabensa S.A)

01/06/2008-31/05/2009

Desarrollos de metodologías en AMS de baja energía con aplicación a problemas de residuos radioactivos

Investigador principal: José M^a López Gutiérrez

0388/0223

Contrato 68/83 (Enresa)

25/05/2009-31/12/2009

Análisis radiométrico de muestras por espectrometría alfa y gamma para el estudio y caracterización de radioelementos para la recuperación de las balsas de fosfoyesos en las marismas de Huelva: fase de diagnóstico y propuesta de regeneración

Investigador principal: Juan Pedro Bolívar Raya

55/2009

Contrato 68/83 (Tecnologías y Servicios Agrarios S.A)

14/10/2009-14/11/2009

Análisis y medición de radionucleidos en muestras de diferentes productos aportadas por tioxide y elaboración de informes para el CSN sobre diversas muestras con diversos porcentajes de tionite

Investigador principal: Juan Pedro Bolívar Raya

10/2009

Contrato 68/83 (Tioxide Europe S.L)

02/02/2009-02/02/2010

Análisis e identificación de las fases en las que se encuentra el As de la materia particulada, suspendida en el aire de las áreas de almacén de concentrados de cobre, trituración de escorias y planta de secado de escorias

Investigador principal: Emilio Galán Huertos

0324/0149

Contrato 68/83 (Atlantic Copper, S.A. (Huelva))

10/03/2009-10/06/2009

Sistema integrado de modelización pronóstico de contaminación atmosférica proveniente de intrusiones saharianas y fuentes puntuales en la Comunidad de Andalucía

Investigador principal: Jesús de la Rosa Díaz

38/2008

Contrato 68/83 (EGMASA, Junta de Andalucía)

2008-2009

Nuevos desarrollos de metodologías en AMS de baja energía

Investigador principal: José M^a López Gutiérrez

0775/0223

Contrato 68/83 (Enresa)

15-04-2010/31-12-2010

5.2. Artículos publicados / Published Articles

5.2.1 Artículos ISI / ISI Articles

Characterisation of the plutonium isotopic composition of a sediment core from Palomares, Spain, by low-energy AMS and alpha-spectrometry

E. Chamizo, M.C. Jiménez-Ramos, S.M. Enamorado, M. García-León, R. García-Tenorio, J.L. Mas, P. Masqué, J. Merino, J.A. Sánchez-Cabeza

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 1-4 (2009)

On the measurement of ¹⁰Be on the 1 MV compact AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

A. Ruiz-Gómez, E. Chamizo, J.M. López-Gutierrez, M. García-León, A.M. Müller, M. Christl

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 733-735 (2009)

Radiocarbon measurement programme at the Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

F.J. Santos, I. Gómez-Martínez, M. García-León

Radiocarbon 51 (2), 883-889 (2009)

XRF analysis of two terracotta polychromated sculptures by Pietro Torrigiano

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega

X-Ray spectrometry 38, 169-174 (2009)

Tuning the Er³⁺ sensitization by Si nanoparticles in nanostructured as-grown Al₂O₃ films

S.N. Sánchez, R. Serna, J. García López, A.K. Petford-Long, M. Tanase, B. Kabius

J. Appl. Phys 105, 013118 (2009)

Electrical characteristics of mixed Zr-Si oxide thin films prepared by ion beam induced chemical vapor deposition at room temperature

F.J. Ferrer, F. Frutos, J. García López, C. Jiménez, F. Yubero

Thin Solid Films 517, 5446-5452 (2009)

Dynamic annealing study of SiC epilayers implanted with Ni ions at different temperatures

J. Garcia Lopez, Y. Morilla, J.C. Cheang Wong, G. Battistig, Z. Zolnai, J.L. Cantin

Nucl. Instr. Meth. B. 267, 1097-1100 (2009)

Influence of the growth conditions on the stoichiometry and on the optical properties of titanium oxide thin films prepared by reactive sputtering

Argelia Pérez Pacheco, C. Prieto, R. Castañeda-Guzmán, J. García López

Thin Solid Films 517, 5415-5418 (2009)

Determination of nitrogen partition coefficients in superduplex stainless steels by NRA using a nuclear microprobe

C. Muñoz Luque, Y. Morilla, J. García López, A. Paul Escolano, J.A. Odriozola

Nucl. Instr. Meth. B.267, 2208-2211 (2009)

Characterisation of Terrestrial Hot Particles from the Palomares Accident using Destructive and Non-Destructive Analytical Techniques

M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, R. García-Tenorio, M. García-León

Radioprotection 44, nº 5, 345-350 (2009)

A short-time to measure the radon potential of porous materials

I. López-Coto, J.P. Bolívar, J.L. Más, R. García-Tenorio

Applied Radiation Isotopes 67, 133-138 (2009)

Occupational dosimetric assessment (inhalation pathway) from the application of phosphogypsum in agriculture in South West Spain

J.M. Abril, R. García-Tenorio, R. Periañez, S. M. Enamorado, L. Andreu, A. Delgado

Journal of Environmental Radioactivity 100, 29-34 (2009)

Behaviour and fluxes of natural radionuclides along the production process of a phosphoric acid plant

J.P. Bolívar, J.E. Martín, R. García-Tenorio, J.P. Pérez-Moreno, J.L. Más
Applied Radiation Isotopes 67, 345-356 (2009)

Extensive radioactive characterization of a phosphogypsum stack in SW of Spain: ^{226}Ra , ^{238}U , ^{210}Po concentrations and ^{222}Rn exhalation

J. M. Abril, R. García-Tenorio, G. Manjón
Journal of Hazardous Materials 164, 790-797 (2009)

In-vitro analysis of the dissolution kinetics and systemic availability of plutonium ingested in the form of 'hot particles' from the Semipalatinsk NTS

M. Conway, L. León VINTRÓ, P.I. Mitchell, R. García-Tenorio, M.C. Jiménez-Ramos, M. Burkitbayev, N.D. Priest
Applied Radiation and Isotopes 67, 884-888 (2009)

Natural Radioactivity in Aerosols collected in a NORM Industry: radiological implications

E.G. San Miguel, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio
Radioprotection 44, 377-382 (2009)

Coincidence summing corrections in gamma-ray spectrometry using GEANT4 code

S. Hurtado, R. García-Tenorio, M. García León
IEEE Transactions on Nuclear Science 56, 1531-1536 (2009)

Physicochemical characterization of raw materials and co-products from the titanium dioxide production industry

M.J. Gázquez, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, F. Vaca
Journal of Hazardous Materials 166, 1429-1440 (2009)

External radiation assessment in a wet phosphoric acid production plant

J.P. Bolívar, J.P. Pérez-Moreno, J.L. Más, J.E. Martín E. G. San Miguel, R. García-Tenorio
Applied Radiation and Isotopes 67, 1930-1938 (2009)

Radioactivity contents in Dicalcium Phosphate and the potential radiological risk to population

N. Casacuberta, P. Masqué, J. García-Orellana, J. M. Bruach, M. Anguita, J. Gasa, M. Villa, S. Hurtado, R. García-Tenorio
Journal of Hazardous Materials 170, 814-823 (2009)

Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases

M. Villa, A. Absi, G. Manjón, R. Periañez, R. García-Tenorio
Science of the Total Environment 408, 69-77 (2009)

Characteristic times in the English Channel from numerical modelling: Supporting decision-making

Raúl Periañez Rodríguez, Conrado Miró

Journal of Radiological Protection Vol. 29 Num. 2, 219-237 (2009)

Contamination and restoration of an estuary affected by phosphogypsum releases

María Villa Alfajeme, Fernando Mosqueda Peña, Santiago José Hurtado Bermúdez, Juan Mantero Cabrera, Guillermo Manjón Collado, Raúl Periañez Rodríguez, Federico Vaca, Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

Science of the Total Environment Vol. 408 Num 1, 69-77 (2009)

Environmental modelling in the Gulf of Cadiz: Heavy metal distributions in water and sediments

Raúl Periañez Rodríguez

Science of the Total Environment Vol. 407 Num 10, 3392-3406 (2009)

Modelling radioactivity dispersion in the Alboran Sea, western mediterranean

Raúl Periañez Rodríguez

Radioprotection Vol. 44 Num 5, 5-10 (2009)

Models for radioactivity dispersion assessments in Andalusian coastal waters: gulf of Cadiz and Alboran Sea

Raúl Periañez Rodríguez

Radioprotection Vol. 44 Num 5, 17-22 (2009)

The role of physical processes controlling the behaviour of radionuclide contaminants in the aquatic environment: a review of the state-of-the-art modelling approaches

Luigi Monte, Raúl Periañez Rodríguez, Patrick Boyer, J. Smith, John Brittain

Journal of Environmental Radioactivity Num 100, 779-784 (2009)

Time scales for conservative and non-conservative radionuclide transport in the English Channel

Raúl Periañez Rodríguez, Conrado Miró

Radioprotection Vol. 44 Num 5, 11-16 (2009)

Transfer of CD, Pb, Ra and U from phosphogypsum amended soils to tomato plants

Santiago Miguel Enamorado Báez, Raúl Periañez Rodríguez, Antonio Delgado

Water, Air and Soil Pollution Vol. 203, 65-77 (2009)

A method to obtain a Maxwell-Boltzmann neutron spectrum at kT=30 keV for nuclear astrophysics studies

J. Praena, P. F. Mastinu, G. Martín Hernández

Astronomical Society of Australia Vol 26, Num 3 (2009)

High-accuracy ^{233}U (n,f) cross-section measurement at the white-neutron source n_TOF near-thermal to 1 MeV neutron energy

M. Calviani, J. Praena for the n_TOF collaboration
Physical Review C 80, 044604 (2009)

A method to obtain a Maxwell-Boltzmann neutron spectrum at $kT=30$ keV for astrophysics studies

P. F. Mastinu, G. Martín Hernández, J. Praena
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 601, 333-338 (2009)

Observation of narrow states in nuclei beyond the proton drip line: ^{15}F and ^{16}Ne

I. Mukha, N. K. Timofeyuk, K. Summerer, L. Acosta, M. A. G. Álvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina-Gil, J. M. Espino, A. Fomichev, J. E. García-Ramos, H. Geissel, J. Gómez-Camacho, L. Grigorenko, J. Hofmann, O. Kiselev, A. Korshennikov, N. Kurz, Yu. Litvinov, I. Martel, C. Nociforo, W. Ott, M. Pfutzner, C. Rodríguez-Tajes, E. Roeckl, M. Stanoiu, H. Weick, P.J. Woods
Phys.Rev. C 79, 061301 (2009)

Four-body continuum-discretized coupled-channels calculations

Manuela Rodríguez Gallardo, Jose Miguel Arias Carrasco, Joaquín Gómez Camacho, Antonio Matías Moro, Ian Thompson, Jeff Tostevin
Physical Review c: Nuclear Physics 051601(r)-1-5 (2009)

Signature of a strong coupling with the continuum in $^{11}\text{Be} + ^{120}\text{Sn}$ scattering at the coulomb barrier

Luis Acosta; Marcos. Álvarez, Maria Victoria Andrés Martín, M Borge, Miguel Cortés Giraldo, Jose Manuel Espino Navas, Daniel Galavitz, Joaquín Gómez Camacho, A Maira, I Martel, Antonio Matías Moro Muñoz, Ivan Mukha, Francisco Pérez Bernal, E Reillo, Daniel Rodríguez Rubiales, K Rusek, Ángel Miguel Sánchez Benítez, O. Tengblad
European Physical Journal a 461-464 (2009)

Analytical transformed harmonic oscillator basis for continuum discretized coupled channels calculations

Antonio Matías Moro Muñoz, Jose Miguel Arias Carrasco, Joaquín Gómez Camacho, Francisco Pérez Bernal
Physical Review c: Nuclear Physics 054605-1-054605-9 (2009)

Determinación de ^{239}Pu y ^{240}Pu en muestras de nieve y suelos de Chile mediante Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS)

C. Miró, E. Chamizo, M. García-León, F. Cereceda, X. Fadic, A.L. Llanos, V. Vidal, V. Vildoso, E. Pinilla
Revista de la Sociedad Nuclear Española 299, 73 (2009)

Las vidrieras del Monasterio de las Huelgas de Burgos. Proceso de conservación-restauración. Caracterización de un vidrio rojo medieval

M. P. Alonso, F. Capel, E. Barrio, F. J. Valle, A. de Pablos, I. Ortega, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza
Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio V. 48, 4, 179-186 (2009)

Growth mechanism and chemical structure of amorphous hydrogenated silicon carbide (α -SiC:H) films formed by remote hydrogen microwave plasma CVD from a triethylsilane precursor: Part 1

A. M. Wrobel, A. Walkiewicz-Pietrzykowska, M. Ahola, I. J. Vayrynen, F. J. Ferrer, A. R. Gonzalez-Elipe
Chemical Vapor Deposition 15, 39-46 (2009)

Caracterización de un vidrio rojo medieval procedente de las vidrieras del Monasterio de las Huelgas de Burgos

M. P. Alonso, F. Capel, E. Barrio, F. J. Valle, A. de Pablos, I. Ortega, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza
Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 48.4, 179-186 (2009)

Characterization and Origin of EC and OC Particulate Matter near the National Park of Doñana (SW of Spain)

Sánchez de la Campa. AM, Pio, C., de la Rosa, J.D., Querol, X., Alastuey, A., González-Castanedo, Y
Environmental Research 109, 671-681 (2009)

Heavy metal pollution in soils around the abandoned mine sites of the Iberian Pyrite Belt (Southwest Spain)

J.C. Fernández-Caliani, C. Barba-Brioso, I. González, E. Galán
Water, Air and Soil Pollution, 200, 211-226 (2009)

Physicochemical characterization of raw materials and co-products from the titanium dioxide industry

Gázquez M., Bolívar J.P., Galán F., R. García-Tenorio
Journal of Hazardous Materials, 166, 1429-1440 (2009)

Behaviour and fluxes of natural radionuclides in the production process of a phosphoric acid plant

J.P. Bolívar, J.E. Martín, R. García-Tenorio, J.P. Pérez-Moreno, J.L. Mas
Applied Radiation and Isotopes, 67, 345-356 (2009)

Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences. A tool for mapping and evaluation stone

Vázquez M.A., Galán E., Guerrero M.A., Ortiz P.
Construction Building Materials, 25, 1603-1611 (2010)

Geochemical characterization of Cu-smelter emission plumes with impact in an urban area of SW Spain

Fernández Camacho R, de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, González Castanedo Y, Alastuey A, Querol X, Rodríguez S
Atmospheric Research 96, 590-601 (2010)

Assessment of the impact on the PM10 and PM2.5 level and chemical composition due to ceramic industries of bricks in Bailén (South of Spain)

Sánchez de la Campa. AM, de la Rosa, J.D., González-Castanedo Y, Fernández Camacho R. Alastuey, A Querol, X., Pio, C
Atmospheric Research 96, 633-644 (2010)

Variations in vanadium, nickel and lanthanoid element concentrations in urban air

Moreno T, Querol X, Alastuey A, de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, Minguillón MC, Pandolfi M, González-Castanedo Y, Monfort E, Gibbons W
Science of Total Environment 408, 4569-4579 (2010)

Source apportionment of PM10 and PM2.5 at multiple sites in the Strait of Gibraltar by PMF: Impacto of shipping emissions

Pandolfi M, González-Castanedo Y, Alastuey A., de la Rosa J.D., Mantilla E., Sánchez de la Campa A, Querol X, Pey J, Amato F, Moreno T
Environmental Science and Pollution Research (2010)

Sources and processes contributing to ultrafine particles concentration in an industrial city (Huelva, Southern Europe)

Fernández-Camacho R, Rodríguez S, de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, Viana M, Alastuey A, Querol X (2010)
Atmospheric Chemistry and Physics (2010)

Using geochemical maps in PM10 defining the atmospheric pollution in Andalusia (Southern Spain)

De la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, Alastuey A, Querol Y, González Castanedo Y, Fernández Camacho R, Stein AF
Atmospheric Environment (2010)

The life cycle impact assessment applied to the Domingo Rubio tidal system by the study of seasonal variations of the aquatic eutrophication potential

C. Barba-Brioso, G. Quaranta, E. Galán, J.C. Fernández-Caliani, A. Miras
Science of the Total Environment, 408, 5897-5902 (2010)

Metal immobilization in hazardous contaminated minesoils after marble slurry waste application. A field assessment at the Tharsis mining district (Spain)

J.C. Fernández-Caliani, C. Barba-Brioso
Journal of Hazardous Materials, 181, 817-826 (2010)

Multi-source water pollution in a highly anthropized wetland system associated with the estuary of Huelva (SW Spain)

C. Barba-Brioso, J.C. Fernández-Caliani, A. Miras, J. Cornejo, E. Galán
Marine Pollution Bulletin, 60, 1259-1269 (2010)

Origin and geochemical evolution of the Nuevo Montecastelo kaolin deposit (Galicia, NW Spain)

J.C. Fernández-Caliani, E. Galán, P. Aparicio, A. Miras, M.G. Márquez
Applied Clay Science, 49, 91-97 (2010)

Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): From phosphate rock ore to the environment

Pérez-López, R., Nieto, J.M., López-Coto, I., Aguado, J.L., Bolívar, J.P., Santisteban, M.
Applied Geochemistry 25, 705-715 (2010)

Radiocarbon dating of medieval manuscripts from the University of Seville

F.J. Santos, I. Gómez-Martínez, M. García-León
Nucl. Instr. Meth. B268, 1038-1040 (2010)

Modern radiocarbon levels for northeastern Mexico derived from tree rings – A comparison with Northern Hemisphere zones 2 and 3 curves

Beramendi-Orosco Laura E., González-Hernández Galia, Villanueva-Díaz Jose, Santos-Arévalo Francisco J., Gómez-Martínez Isabel, Cienfuegos Edith, Morales Pedro, Urrutia-Fucugauchi Jaime
Radiocarbon 52 (2-3) 907-914 (2010)

Measurement of ^{239}Pu in urine samples at ultra-trace levels using a 1 MV compact AMS system

H. Hernández-Mendoza, E. Chamizo, A. Yllera, M. García-León, A. Delgado
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 268, 1331-1333 (2010)

The relevance of ion optics for the development of small AMS facilities

Martin Suter, Elena Chamizo, Arnold Milenko Müller, Hans-Arno Synal
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 268, 722-725 (2010)

Simultaneous analysis of elastic scattering and transfer/breakup channels for the $^6\text{He}+^{208}\text{Pb}$ reaction at energies near the Coulomb barrier

J. P. Fernández-García, M. A. G. Álvarez, A. M. Moro, M. Rodríguez-Gallardo
Physics Letters B 693, 310-315 (2010)

Long range effects on the optical model for ^6He around the Coulomb barrier

J. P. Fernández-García, M. Rodríguez-Gallardo, M. A. G. Álvarez, A. M. Moro
Nuclear Physics A 840, 19-38 (2010)

Measurement of the ^8Li half-life

X. Flechard, E. Lienard, O. Naviliat-Cuncic, D. Rodríguez, M. A. G. Álvarez, G. Ban, B. Carniol, D. Etasse, J. M. Fontbonne, A. M. Lallena, J. Praena
Physical Review C 82, 027309 (2010)

Probing the $^{6,7}\text{Li}$ nucleon densities through a new breakup process approach

D.P. Sousa, D. Pereira, J. Lubian, L.C. Chamon, J.R.B. Oliveira, E.S. Rossi, Jr., E.S. Rossi, C.P. Silva, P.N.de Faria, V. Guimaraes, R. Lichtenthaler, M.A.G. Álvarez
Nuclear Physics A 836, 1-10 (2010)

Spectroscopy of proton unbound nuclei by tracking their decay products in flight: one and two-proton decay of ^{15}F , ^{16}Ne and ^{19}Na

I. Mukha, N.K. Timofeyuk, K. Summerer, L. Acosta, M.A.G. Álvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D.Cortina-Gil, J.M. Espino, A. Fomichev, J.E. García-Ramos, H.Geissel, J. Gómez-Camacho, L. Grigorenko, J. Hofmann, O. Kiselev, A. Korshennikov, N. Kurz, Yu. Litvinov, I. Martel, C. Nociforo, W. Ott, M. Pfutzner, C. Rodríguez-Tajes, E. Roeckl, M. Stanoiu, H. Weick, P. J. Woods.
Physical Review C 82, 054315 (2010)

Radiocarbon dating of medieval manuscripts from the University of Seville

F.J. Santos, I. Gómez-Martínez, M. García-León
Nucl. Instr. Meth. B268, 1038-1040 (2010)

Modern radiocarbon levels for northeastern Mexico derived from tree rings – A comparison with Northern Hemisphere zones 2 and 3 curves

Beramendi-Orosco L.E., González-Hernández G., Villanueva-Díaz J., Santos-Arévalo F.J., Gómez-Martínez I., Cienfuegos E., Morales P., Urrutia-Fucugauchi J.
Radiocarbon 52 (2-3) 907-914 (2010)

Early Works on the Nuclear Microprobe for microelectronics irradiation tests at the CEICI (Sevilla, Spain)

F.R. Palomo, Y. Morilla, J.M. Mogollón, J. García-López, J.A. Labrador, M.A. Aguirre
Nuclear Instruments and Methods B, (Pendiente para su publicación)

Enhanced photoluminescence response of Er^{3+} -Si nanoparticle codoped Al_2O_3 films by controlled synthesis in the nanoscale and thermal processing

S. Núñez-Sánchez, P.M. Roque, R. Serna, J. García López
Thin Solid Films 518, 4644-4647 (2010)

$\text{Si}_i\text{C}_{\text{Si}}$ antisite pairs in SiC identified as paramagnetic defects with strongly anisotropic orbital quenching

U. Gerstmann, A.P. Seitsonen, D. Ceresoli, F. Mauri, H.J. von Bardeleben, J.L. Cantin, J. García López
Phys. Rev. B81, 195208 (2010)

SiOxNy thin films with variable refraction index: Microstructural, chemical and mechanical properties

V. Godinho, M.C. Jiménez de Haro, J. García López, V. Goossens, H. Terryn, M.P. Delplanke-Ogletree, A. Fernández

Applied Surface Science, Vol 256, Issue 14, 4548-4553 (2010)

A comparison of two micro-beam X-ray emission techniques for actinide elemental distribution in microscopic particles originating from the hydrogen bombs involved in the Palomares (Spain) and Thule (Greenland) accidents

M.C. Jiménez Ramos, M. Eriksson, J. García López, Y. Ranebo, R. García Tenorio, M. Betti, E. Holm

Spectrochimica Acta Part B 65, 823-829 (2010)

Test of “Crab-Waist” Collisions at the DA ΦNE Factory

M. Zobov, D. Alesini, M. E. Biagini, C. Biscari, A. Bocci, R. Boni, M. Boscolo, F. Bossi, B. Buonomo, A. Clozza, G. O. Delle Monache, T. Demma, E. Di Pasquale, G. Di Pirro, A. Drago, A. Gallo, A. Ghigo, S. Guiducci, C. Ligi, F. Marcellini, G. Mazzitelli, C. Milardi, F. Murtas, L. Pellegrino, M. A. Preger, L. Quintieri, P. Raimondi, R. Ricci, U. Rotundo, C. Sanelli, M. Serio, F. Sgamma, B. Spataro, A. Stecchi, A. Stella, S. Tomassini, C. Vaccarezza, M. Schioppa, M. Esposito, P. Branchini, F. Iacoangeli, P. Valente, E. Levichev, P. Piminov, D. Shatilov, V. Smaluk, N. Arnaud, D. Breton, L. Burmistrov, A. Stocchi, A. Variola, B. F. Viaud, S. Bettoni, K. Ohmi, D. Teytelman

Phys. Rev. Lett. A Volumen: 104, 174801 (+5) (2010)

Characterization of the plutonium isotopic composition in a sediment core from Palomares, Spain, by low-energy AMS and alpha-spectrometry

E. Chamizo, M.C. Jiménez-Ramos, S.M. Enamorado, M. García-León, R. García-Tenorio, P. Masqué, J.L. Más, J. Merino, J.A. Sánchez-Cabeza

Nuclear Instruments and Methods, Serie A 268, 1273-1276 (2010)

^{239}Pu , ^{240}Pu , and ^{241}Am determination in hot particles by low level gamma-spectrometry

M.C. Jiménez-Ramos, S. Hurtado, R. García-Tenorio, E. Chamizo, L. León-Vintró, P.I. Mitchell

Environmental Science and Technology 44, 4247-4252 (2010)

Distribution and biokinetic analysis of ^{210}Pb and ^{210}Po in poultry due to ingestion of dicalcium phosphate

N. Casacuberta, F.L. Traversa, P. Masqué, J. García-Orellana, M. Anguita, J. Gasa, R. García-Tenorio

Science of the Total Environment 408, 4695-4701 (2010)

¿Es necesario adoptar medidas de protección radiológica ocupacionales en algunas industrias NORM españolas dedicadas al procesado de minerales o materias primas?

R. García-Tenorio, J. P. Bolívar

Radioprotección 64, 40-46 (2010)

The use of micro-PIXE and micro-XRF techniques for elemental characterisation of hot U/Pu particles originated in the accidents of Palomares (Spain) and Thule (Greenland)

M.C. Jiménez-Ramos, Y. Ranebo, J. García-López, M. Eriksson, R. García-Tenorio, E. Holm

Spectrochimica Acta, Part B, Atomic Spectrometry 65, 823-829 (2010)

Radioanalytical determination of actinides in refractory matrices by alkali fusion

J. Mantero, M. Lehitane, S. Hurtado, R. García-Tenorio

Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 286, 557-563 (2010)

Measurement of plutonium isotopes, ^{239}Pu and ^{240}Pu , in air-filter samples from Seville (2001-2002)

Chamizo, E., García León, M., Enamorado, S.M., Jiménez-Ramos, M.C., Wacker L.

Atmospheric Environment 44, 1851-1858 (2010)

Neutron-induced fission cross section of ^{234}U and ^{237}Np measured at the CERN n_TOF facility

C. Paradela *et al.* (n_TOF collaboration)

Physical Review C 82, 034601 (2010)

Neutron physics of the Re/Os clock. I. Measurement of the (n, γ) cross sections of $^{186,187,188}\text{Os}$

M. Mosconi *et al.* (n_TOF collaboration)

Physical Review C 82, 015802 (2010)

Neutron physics of the Re/Os clock. III. Resonance analyses and stellar (n, γ) cross sections of $^{186,187,188}\text{Os}$

K. Fujii *et al.* (n_TOF collaboration)

Physical Review C 82, 015804 (2010)

^{197}Au (n, γ) cross section in the resonance region

C. Massimi *et al.* (n_TOF collaboration)

Physical Review C 81, 044616 (2010)

The ^{92}Zr (n, γ) reaction and its implications for stellar nucleosynthesis

G. Tagliente *et al.* (n_TOF collaboration)

Physical Review C 81, 055801 (2010)

Measurement of ^{239}Pu in urine samples at ultra-trace levels using a 1 MV compact AMS system

H. Hernández-Mendoza, E. Chamizo, A. Yllera, M. García-León, A. Delgado

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 7-8, 1331-133 (2010)

Arctic Ocean sea ice drift origin derived from artificial radionuclides

E P. Cámara-Mor, P. Masqué, J. García-Orellana, J.K. Cochran, J.L. Mas, E. Chamizo, C. Hanfland
Science of the Total Environment 408, 3349-3358 (2010)

A new reference material for radionuclides in the mussel sample from the Mediterranean Sea (IAEA-437)

M.K. Pham, M. Betti, P.P. Povinec, M. Benmansour, R. Bojanowski, P. Bouisset, E. Chamizo, G.J. Ham et al
Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 283, 851-859 (2010)

A highly sensitive method for the reassessment and quantification of ²³⁹Pu in urine samples based on a 1 MV accelerator mass spectrometry system

H. Hernández-Mendoza, E. Chamizo, A. Yllera, M. García-León, A. Delgado
Journal of Analytical Atomic Spectrometry 25, 1410-1415 (2010)

Non-destructive characterization of a Gilded Roman Ceiling Combining PIXE or XRF with gamma-Ray Transmisión

I. Ortega Feliu, A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, F. J. Ager, M. A. Respaldiza, S. García-Dils, O. Rodríguez-Gutiérrez
Nuclear Instr. and Meth. in Physics Research B268, 1920-1923 (2010)

Red layered medieval stained glass window characterization by means of micro-PIXE technique

I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, F. Capel
Nuclear Instr. and Meth. in Physics Research B (Pendiente para su publicación)

Certified reference material IAEA-418: ¹²⁹I in Mediterranean Sea water

M. K. Pham, M. Betti P. P. Povinec, V. Alfimov, D. Biddulph, J. Gastaud, W. E. Kieser, J. M. López Gutiérrez, G. Possnert, J. A. Sánchez-Cabeza, T. Suzuki
J Radioanal Nucl Chem 286, 121–127 (2010)

On the measurement of ¹⁰Be on the 1 MV compact AMS system at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

A. Ruiz-Gómez, E. Chamizo-Calvo, J.M. López-Gutiérrez, M. García-León, A.M. Müller, M. Christl
Nuclear Instruments and Methods B 268, 733-735 (2010)

Analysis of ¹²⁹I in lichens by accelerator mass spectrometry through a microwave-based sample preparation method

J.M. Gómez-Guzmán, J.M. López-Gutiérrez, A.R. Pinto, E. Holm, M. García-León
Nuclear Instruments and Methods B 268, 1171-1174 (2010)

Spectroscopy of proton-unbound nuclei by tracking their decay products in-flight: One- and two- proton decays of ^{15}F , ^{16}Ne , and ^{19}Na

I. Mukha, K. Sümmerer, L. Acosta, M. A. G. Álvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina-Gil, I. A. Egorova, J. M. Espino, A. Fomichev, J. E. García-Ramos, H. Geissel, J. Gómez-Camacho, L. Grigorenko, J. Hofmann, O. Kiselev, A. Korshennikov, N. Kurz, Yu. A. Litvinov, E. Litvinova, I. Martel, C. Nociforo, W. Ott, M. Pfützner, C. Rodríguez-Tajes, E. Roeckl, M. Stanoiu, N. K. Timofeyuk, H. Weick, P. J. Woods
Phys. Rev. C 82, 054315 (2010)

Exploring continuum structures with a pseudo-state basis

J. A. Lay, A. M. Moro, J. M. Arias, J. Gómez-Camacho
Phys. Rev. C 82, 024605 (2010)

Elastic Scattering and Reaction Mechanisms of the Halo Nucleus ^{11}Be around the Coulomb Barrier

A. Di Pietro, G. Randisi, V. Scuderi, L. Acosta, F. Amorini, M. J. G. Borge, P. Figuera, M. Fisichella, L. M. Fraile, J. Gómez-Camacho, H. Jeppesen, M. Lattuada, I. Martel, M. Milin, A. Musumarra, M. Papa, M. G. Pellegriti, F. Perez-Bernal, R. Raabe, F. Rizzo, D. Santonocito, G. Scalia, O. Tengblad, D. Torresi, A. Maira Vidal, D. Voulot, F. Wenander, M. Zadro
Phys. Rev. Lett. 105, 022701 (2010)

Four-body continuum-discretized coupled-channels calculations: Application to $^6\text{He}+^{64}\text{Zn}$ at 13.6 MeV

M. Rodríguez-Gallardo, J. M. Arias, J. Gómez-Camacho, A. M. Moro, I. J. Thompson, J. A. Tostevin
AIP Conf. Proc. 1231, 235 (2010)

Dynamic studies of ^{11}Li and its core ^9Li on ^{208}Pb near the Coulomb barrier

M. Cubero, M. J. G. Borge, L. Acosta, M. Alcorta, M. A. G. Álvarez, C. Diget, D. Galaviz, J. P. Fernández-García, J. Gómez-Camacho, J. A. Lay, M. Madurga, I. Martel, A. M. Moro, I. Mukha, A. M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden
AIP Conf. Proc. Volume 1231, 211-212 (2010)

Study of reaction mechanisms For $^{9,10,11}\text{Be}+^{64}\text{Zn}$ systems around the Coulomb Barrier

V. Scuderi, A. Di Pietro, L. Acosta, F. Amorini, M. J. G. Borge, P. Figuera, M. Fisichella, L. M. Fraile, J. Gómez-Camacho, H. Jeppesen, M. Lattuada, I. Martel, M. Milin, A. Musumarra, M. Papa, M. G. Pellegriti, R. Raabe, G. Randisi, F. Rizzo, D. Santonocito, E. M. R. Sánchez, G. Scalia, O. Tengblad, D. Torresi, A. M. Vidal, M. Zadro
AIP Conf. Proc. Volume 1231, 191-192 (2010)

Elastic scattering of ^6He and ^7Be on a ^9Be target

K. C. C. Pires, I. Mukha, A. M. Moro, R. Lichtenthäler, J. Gómez-Camacho
AIP Conf. Proc. 1231, 173 (2010)

Structure effects in collisions induced by halo and weakly bound nuclei around the Coulomb Barrier

Scuderi, V, Di Pietro, A, Acosta, L, Amorini, F, Borge, M. J. G, Figuera, P, Fisichella, M, Fraile, L. M., Gomez-Camacho, J., Jeppesen, H., Lattuada, M., Martel, I., Milin, M., Musumarra, A., Papa, M., Pellegriti, M. G., Raabe, R., Randisi, G., Rizzo, F., Santonocito, D., Sanchez, E. M. R., Scalia, G., Tengblad, O., Torresi, D., Vidal, A. M., Zadro, M.
International journal of Modern e-Nuclear Physics, 19, 1236-1240 (2010)

Growth and characterization of nitrogen-doped TiO₂ thin films prepared by reactive pulsed laser deposition

G. Sauthier, F.J. Ferrer, A. Figueras, E. György
Thin Solid Films 519, 1464 (2010)

Evolution of ferromagnetism with sputtering gas in Mn:ZnO films

E. Céspedes, J. Sánchez-Marcos, J. García López and C. Prieto
Journal of Magnetism and Magnetic Materials 322, 1201-1204 (2010)

Level and origin of ¹²⁹I and ¹³⁷Cs in lichen samples (*Cladonia alpestris*) in central Sweden

J.M. Gómez Guzmán, J.M. López Gutiérrez, E. Holm, A.R. Pinto Gómez
Journal of Environmental Radioactivity, 102, 200-205 (2010)

Control de calidad en laboratorios de medida de radiactividad ambiental

F. Legarda, R. García-Tenorio, R. Nuñez-Lagos
Radioprotección 65, 37-41 (2010)

5.2.2 Artículos NON ISI / NON ISI Articles

The application of PIXE in the chemical-mineralogical speciation of trace elements in polluted soils

González, I., López, M., Fernández Caliani, J., Romero, A., Galán, E.
14th International Clay Conference
Castellaneta Marina (Italia)
14-20 Junio 2009

Radionuclide fluxes at a titanium dioxide plant

Juan Mantero Cabrera; Rafael García-Tenorio García-Balmaseda; Juan Pedro Bolívar Raya; M Gázquez; Santiago José Hurtado Bermúdez; Federico Vaca Galán
International conference on radioecology and environmental radioactivity
Bergen (Noruega)
15-20 Junio 2009

Geochemical map for major and trace elements in PM10 of Andalucía (South of Spain)

De la Rosa JD, Alastuey, A, Querol X, Ramos JL, González Castanedo Y, Sánchez de la Campa AM, Fernandez Camacho R, Contreras J, Godoy F, Lozano A

Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A275-A275 Suppl S
2009

Origin of Rare Earth Elements in atmospheric aerosols

González-Castanedo Y, de la Rosa JD, Alastuey A, Querol X
Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A453-A453 Suppl S
2009

10 years of Arsenic in atmospheric particles in Southwestern of Spain

Sánchez de la Campa AM, de la Rosa J, Alastuey A, Querol X, Ramos JL, González
Castanedo Y, Fernández Camacho R, Rodríguez S, Sánchez Rodas D, Stein A, García
Orellana I
Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A1151-A1151 Suppl S
2009

Nuevo sistema portátil de micro-fluorescencia de rayos X basado en óptica de policapilares para aplicaciones en Patrimonio Histórico y Cultural

F. J. Ager, M. A. Respaldiza, B. Gómez-Tubio, A. I. Moreno-Suárez, M. A. Ontalba-Salamanca, I. Ortega-Feliú
Libro de resúmenes de la 10ª Reunión de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC: "La ciudad histórica: Espacio de encuentro de las Humanidades y las Ciencias Experimentales", Pag 16
Granada (España)
14-17 Octubre 2009

A panel painting by the Master of the Female Half-Lengths analysed by portable XRF

A. Kriznar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
Libro de resúmenes de la 10ª Reunión de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC: "La ciudad histórica: Espacio de encuentro de las Humanidades y las Ciencias Experimentales", Pag. 25
Granada (España)
14-17 Octubre 2009

Las vidrieras del rosetón del sarmental de la catedral de Burgos: caracterización físico-química de algunos vidrios

M. P. Alonso, F. Capel, E. Barrio, F. J. Valle Fuentes, A. de Pablos, I. Ortega-Feliú, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza
Libro de resúmenes del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría, Pag. 51
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Combinación de técnicas nucleares no destructivas para el estudio de monedas romanas de bronce de Ilipa (II-I a. C.)

A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, F. Chaves, I. Ortega-Feliú, M. A. Ontalba-Salamanca, F. J. Ager

Libro de resúmenes del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría, Pag. 62
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Caracterización de la colección del museo de bellas artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis

A. Kriznar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
Libro de resúmenes del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría, Pag. 104
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Non-destructive characterization of a Gilded Roman Ceiling Combining PIXE or XRF with g-Ray Transmission

I. Ortega Feliu, A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, F. J. Ager, M. A. Respaldiza, S. García-Dils, O. Rodríguez-Gutiérrez
Proceedings of the 19th Int. Conf. on Ion Beam Analysis, Pag 213
Cambridge (Reino Unido)
7 -11 Septiembre 2009

Characterization of Nitrogen content in atmospheric aerosol samples by nuclear reaction analysis

I. García-Orellana, J. García-López, M. A. Respaldiza, G. Calzolari, M. Chiari, F. Lucarelli, S. Nava, S. Becagli and R. Udisti
Proceedings of the 19th Int. Conf. on Ion Beam Analysis, Pag 354
Cambridge (Reino Unido)
7 -11 Septiembre 2009

Fluxes of the ²³⁸U-Series isotopes in the industrial production of dicalcium phosphate and the radiological impact due to the incorporation to poultry diets

Nuria Casacuberta, Pere Masqué, Jordi García Orellana, J. M. Bruach-Menchen, J. Gasa, M. Anguita, María Villa Alfageme, Santiago José Hurtado Bermúdez, Guillermo Manjón Collado, Rafael García-Tenorio
International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity
Bergen (Noruega)
15-20 Junio 2009

Taux de pollution des eaux de surface par des éléments radioactifs issus des districts miniers de la Haute Moulouya

E. al Ibrahim, Said Chakiri, A. Choukri, Guillermo Manjón Collado, Ignacio Vioque Romero, O. -K Hakam, Zohra Bejjaji, Abdeslam Absi
5^{èmes} Journées Internationales Des Géosciences de L'environnement
Fes (Marruecos)
13-15 Mayo 2009

Secondary electrons detectors for beam tracking: micromegas and wire chambers

J. Pancin, T. Chaminade, A. Drouart, B. Fernández, M. Kebbiri, F. Naqvi, M. Riallot
1st International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors, IOP Publishing Ltd and SISSA
Creta (Grecia)
12-15 Junio 2009

Análisis de la dispersión elástica y los canales de ruptura del sistema ${}^6\text{He}+{}^{208}\text{Pb}$ em torno a la barrera de Coulomb

J. P. Fernández-García, M. Rodríguez-Gallardo, M. A. G. Álvarez, A. M. Moro
Libro de resúmenes de la XXXII Biental de Física de la Real Sociedad Española de Física, Pag 463
Ciudad Real (España)
7-11 Septiembre 2009

Análisis de la reacción ${}^{11}\text{Li}+{}^{208}\text{Pb}$ a energías em torno a la barrera usando el método de canales acoplados con discretización del continuo (CDCC)

J. A. Lay, L. Acosta, M. Alcorta, M. A. G. Álvarez, M. J. G. Borge, M. Cubero, J. P. Fernández-García, J. Gómez-Camacho, I. Martel, A. M. Moro, I. Mukha, M. Rodríguez-Gallardo, A. M. Sánchez-Benítez, O. Tengblad
Libro de resúmenes de la XXXII Biental de Física de la Real Sociedad Española de Física, Pag 469
Ciudad Real (España)
7-11 Septiembre 2009

Estudio de las reacciones de dispersión y ruptura del núcleo con halo ${}^{11}\text{Li}$ em ${}^{208}\text{Pb}$ a energías próximas a la barrera culombiana

M. Cubero, M. J. G. Borge, L. Acosta, M. Alcorta, M. A. G. Álvarez, C. Diget, D. Galaviz, J. P. Fernández-García, J. Gómez-Camacho, J. A. Lay, M. Madurga, I. Martel, A. M. Moro, I. Mukha, A. M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden
Libro de resúmenes de la XXXII Biental de Física de la Real Sociedad Española de Física, Pag 477
Ciudad Real (España)
7-11 Septiembre 2009

MEMS solar sensor testing for satellite applications

J. García Ortega, C.L. Tarrida, J.M. Quero, F.J. Delgado, P. Ortega, L. Castañer, M. Reina, M. Angulo, Y. Morilla, J. García López
Proceedings of the 7th Spanish Conference on Electron Devices (CDE 2009), Pag 31-32
Santiago de Compostela (España)
11-13 Febrero 2009

Scattering of ${}^{11}\text{Be}$ around the Coulomb barrier

Luis Acosta, M.A.G. Álvarez, María Victoria Andrés Martín, M.J.G. Borge, Miguel Antonio Cortés Giraldo, José Manuel Espino Navas, Daniel Galavitz, José Joaquín

Gómez Camacho, A Maira, I Martel, Antonio Matías Moro Muñoz, Iván Mukha, E Reillo, K Rusek , O. Tengblad
American Institute of Physics Conference Proceedings Series, Pag 317-320
Dubrovnik (Croacia)
4-8 Mayo 2009

Understanding ^6He induced reactions at energies around the Coulomb barrier

Antonio Matías Moro Muñoz, Luis Acosta, José Miguel Arias Carrasco, M.J.G. Borge, Diego Escrig, José Joaquín Gómez Camacho, I Martel, Manuela Rodríguez Gallardo, Ángel Miguel Sánchez Benítez, O. Tengblad
American Institute of Physics Conference Proceedings Series, Pag 3-10
Dubrovnik (Croacia)
4-8 Mayo 2009

Urban air quality impairment by nanoparticles emissions in Huelva city (SW Spain)

R. Fernández Camacho, S. Rodríguez, J.D. De La Rosa
SETAC Europe 20th Annual Meeting. Poster
Sevilla (España)
23-27 Mayo 2010

Estimation of shipping emission contribution to ambient PM₁₀ and PM_{2.5} levels at Algeciras Bay (Southern Spain)

M. Pandolfi, Y. Gonzalez Castanedo, A. Alastuey, J. D. de la Rosa, E. Mantilla, A. Sanchez de la Campa, X. Querol, J. Pey, F. Amato, T. Moreno
IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010. Poster
Granada (España)
28-30 Junio 2010

Correlations of levels and chemical composition particulate matter with aerosol optical depth in a rural background station in SW (Spain)

González Castanedo Y, Cachorro V.E., de la Rosa J. D., Sánchez de la Campa A.M., A. M. de Frutos
IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010. Poster
Granada (España)
28-30 Junio 2010

Geochemistry of Atmospheric Aerosols in Andalusia (Southern Spain)

De la Rosa, J.D., Sánchez de la Campa, A.M., Alastuey, A, Querol, X., Ramos J.L., González Castanedo, Y., Fernández-Camacho, R., Rodríguez, S., Contreras, J., Godoy, F., Lozano, A.
IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010. Poster
Granada (España)
28-30 Junio 2010

Sources apportionment at atmospheric pollution in PM₁₀ of Andalusia (South Spain)

Sánchez de la Campa, A.M., de la Rosa, J.D., Fernández-Camacho, R., González Castanedo, Y., Wang, Y., Querol, X., Alastuey, A., Ramos, J.L.

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010. Poster

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Sources of ultrafine particles in Huelva industrial city

Fernández-Camacho R., Rodríguez S., de la Rosa J. (2010)

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010. Poster

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Sources of ultrafine particles in Huelva industrial city

Fernández-Camacho, Rocío; Rodríguez, Sergio; de la Rosa, Jesús

Internacional Aerosol Conference 2010. Poster

Helsinki (Islandia)

29 Agosto-3 Septiembre 2010

Sources apportionment at atmospheric pollution in PM10 of Andalusia (South Spain)

Sánchez de la Campa, Ana; de la Rosa, Jesús; Fernández-Camacho, Rocío; González Castanedo, Yolanda; Wang, Yaqiang; Querol, Xavier; Alastuey, Andrés; Ramos, Juan L.

Internacional Aerosol Conference 2010. Poster

Helsinki (Islandia)

29 Agosto-3 Septiembre 2010

Geochemical characterization of atmospheric aerosols in the Iberian Pyrite Belt, Spain

de la Rosa, Jesús; Sánchez de la Campa, Ana; González Castanedo, Yolanda; Wang, Yaqiang; Fernández-Caliani, Juan C.

Internacional Aerosol Conference 2010. Poster

Helsinki (Islandia)

29 Agosto-3 Septiembre 2010

Datos Químicos y Mineralógicos Preliminares de las Partículas Atmosféricas Sedimentables en la Cuenca Minera de Riotinto (Huelva)

Fernández Caliani JC, de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, González Castanedo Y, González Díez I Romero A, Galán E

Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía.

Madrid (España)

13-16 Septiembre 2010

Spatial distribution of trace elements and risk assessment in agricultural soils affected by sulphide exploitation in Riotinto (Iberian Pyrite Belt, SW Spain)

González, I., López Pérez, M., Romero, A., Galán, E., González Peñaloza, F.

European Geosciences Union

Viena (Austria)
02-07 Mayo 2010

A methodological approach to follow trace element mobilization in soils affected by spills. Application to the Guadiamar soils (SW Spain)

Romero, A.; González, I.; Fernández, M.; Galán E
SEA-CSSJ-CMS Trilateral Meeting on Clays
Sevilla (España)
06-11 Junio 2010

FT-RAD, a tool suite for dynamical radiation testing of digital ASIC's

F.R. Palomo, J.M. Mogollón, Y. Morilla, J. García-López, J.A. Labrador
Proceedings of ISIE 2010
Bari (Italia)
4-7 Julio 2010

Fast IR Array Detector for Transverse Beam Diagnostics at DAΦNE

Alessio Bocci, Mariangela Cestelli Guidi, Alberto Clozza, Alessandro Drago, Antonio Grilli, Augusto Marcelli, Agostino Raco, Rossano Sorchetti, Lisa Gambicorti, Antonio De Sio, Emanuele Pace, Jozef Piotrowski
Proceedings of IPAC10
Kyoto (Japón)
23-28 Mayo 2010

First Measurements of Non-Interceptive Beam Profile Monitor Prototypes for Medium to High Current Hadron Accelerators

J.M. Carmona, A. Ibarra, I. Podadera Aliseda, Z. Abou-Haidar, A. Bocci, B. Fernández, J. García López, M.C. Jiménez-Ramos, M. Álvarez
Proceedings of HB2010
Morschach (Suiza)
27 Septiembre-1 Octubre 2010

Geant4 Simulation to Study the Sensitivity of a MICRON Silicon Strip Detector Irradiated by a SIEMENS PRIMUS Linac

Miguel A. Cortés-Giraldo, M. Isabel Gallardo, Rafael Arráns, José M. Quesada, Alessio Bocci, J. M. Espino-Navas, Z. Abou-Haidar, M. A. G. Álvarez
Proceedings of SNA-MC2010
Tokio (Japón)
17-21 Octubre 2010

Measurements of the concentration of cryoprotectant agents in organs by X-ray computed tomography (CT)

Ramón Risco, Joaquín Cobos, Ariadna Corral, Marcin Balcerzyk, Francisco García, Alberto Olmo
Proceedings of 47th Annual Meeting of the Society for Cryobiology CRIO2010

Bristol (Reino Unido)
17-20 Julio 2010

Producción de radiotrazadores PET para investigación clínica y preclínica en el centro nacional de aceleradores

Francisco García Argüello, Marcin Balcerzyk, Joaquín Cobos
Proceedings of IX Jornadas Andaluzas Salud Investiga
Cádiz (España)
20-22 Octubre 2010

Aplicación de microPET/TAC en el seguimiento de terapias antitumorales

Joaquín Cobos, Manuel de Miguel, Marcin Balcerzyk, Francisco García Argüello, Ángel Parrado
Proceedings of IX Jornadas Andaluzas Salud Investiga
Cádiz (España)
20-22 Octubre 2010

Neuronal overexpression of ICER in transgenic rat model; the impact on seizure susceptibility and glucose metabolism

A Klejman, K Biegańska, M Wawrzyniak, D Owczarek, M Balcerzyk, P Bańska, J Javela González, M Delgado, L García-García, A Vegas, Michał Dąbrowski, P Lisowski, L Kaczmarek
Proceedings of Workshop CNA
Sevilla (España)
20-21 Septiembre 2010

Radiolabeled compounds PET and molecular imaging studies at CNA

J. Cobos, A. Parrado, F. García, M. Balcerzyk
Proceedings of Workshop CNA
Sevilla (España)
20-21 Septiembre 2010

Production of PET radiotracers at Centro Nacional de Aceleradores

Francisco García Argüello, Marcin Balcerzyk, Joaquín Cobos, Ángel Parrado
Proceedings of Workshop CNA
Sevilla (España)
20-21 Septiembre 2010

Nuclear Physics tools and applications

J. Benlliure, A. Boston, Ph. Chomaz, M. Durante, S. Gammino, J. Gómez Camacho, M. Huyse, J. Kucera, S. Leray, E. Nappi, L. Sihver, C. Trautmann
NuPECC Long Range Plan 2010
Estrasburgo (Francia)
Noviembre 2010

Elastic scattering of ${}^9\text{Li}$ on ${}^{208}\text{Pb}$ at energies around the Coulomb barrier

M. Cubero, J. P. Fernández-García, J.A. Lay, L. Acosta, M. Alcorta, M. A. G. Álvarez, M.J.G. Borge, L. Buchmann, D. G. Digetk, B. Fultonk, H. O. U. Fynbo, D. Galaviz, J. Gómez-Camacho, I. Martel, A. M. Moro, I. Mukha, T. Nilsson, A. M. Sánchez-Benítez, A. Shotter, O. Tengblad, P. Walden
Proceedings FINUSTAR 2010 conference
Rhodos (Grecia)
23-27 Agosto 2010

Study of the dynamics of halo nuclei collisions at Coulomb barrier energies

L. Acosta, M. Cubero, D. Escrig, J.P. Fernández-García, J.A. Lay, A.M. Moro, M. Rodríguez-Gallardo, A.M. Sánchez-Benítez, M. Alcorta, M.A.G. Álvarez, M.V. Andrés, C. Angulo, M.J.G. Borge, L. Buchmann, J. Cabrera, S. Cherubini, M.A. Cortés, P. Demaret, C.G. Diget, A. Di Pietro, J.M. Espino, P. Figuera, L. M. Fraile, M. Freer, B. Fulton, H.O.U. Fynbo, D. Galaviz, J.E. García-Ramos, M.E. Gómez, J. Gómez-Camacho, M. Gulino, O.R. Kakuee, M. Madurga, A. Maira-Vidal, I. Martel, C. Metelko, A. Musumarra, I. Mukha, F. Pérez-Bernal, J. Rahighi, G. Randisi, E. Reillob, J. Rodríguez-Quintero, K. Rusek, V. Scuderi, A. Shotter, D. Smirnov, O. Tengblad, P. Van Duppen, P. Walden, V. Ziman
Proceedings CAARI 2010 Conference
Fort Worth, Texas (USA)
8-13 Agosto 2010

XRF analysis of silver coins from the Ptolemaic period (4th-1st centuries BC)

V. Kantarelou, F. J. Ager, D. Eugenidou, F. Chaves, A. Andreou, E. Kontou, N. Katsikosta, M. A. Respaldiza, P. Serafin, A. G. Karydas
Book of abstracts EXRS 2010 – European Conference on X-Ray Spectrometry. Pag 244
Figueira da Foz, Coimbra (Portugal)
20-25 Junio 2010

Types of mortars in wall paintings by the “Older Villach’s Workshop” and their followers (15th Century)

A. Križnar, A. Ruíz-Conde, and P. J. Sánchez-Soto
Book of Abstracts, ITAM, 2nd Historic Mortars Conference (HMC 2010). Pag. 77
Praga (República Checa)
22-24 Septiembre 2010

Types of mortars in wall paintings by the “Older Villach’s Workshop” and their followers (15th Century)

A. Križnar, A. Ruíz-Conde, and P. J. Sánchez-Soto
J. Valek, C. Groot, and J. J. Hughes (eds.): Historic Mortars and RILEM TC 203-RHM Final Workshop HMC 2010, Proceedings of the 2nd Conference 22-24 September Prague, RILEM Publications s.a.r.l., Bagneux 2010. Pag. 673-681

Gross-alpha and gross-beta measurements. Critical remarks and a better alternative LSC approach

Franz Schoenhofer, Rafael García-Tenorio
Proceedings LSC2010 Coinference
Paris (Francia)
6-10 Septiembre 2010

5.2.3 Capítulos en libros / Chapters in books

Numerical Modelling of Marine pollutants: Radioactivity Dispersion. Atlantic and Indian Oceans

Raúl Periañez Rodríguez

Capítulo en libro

New Oceanographic Research. Nueva York. Nova Science Publishers. Pag 1-60

ISBN: 978-1-60692-4

(2009)

Physical processes in aquatic ecosystems. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments

Luigi Monte, Raúl Periañez Rodríguez, Patrick Boyer, J. Smith, John Brittain

Capítulo en libro

IAEA. Pag 419-434

Viena (Austria)

(2009)

Problemática ambiental provocada por las emisiones de flúor, cloro y azufre en la industria de cerámica estructural de Andalucía. Factores condicionantes y propuestas de mejora. Geomateriales. Materiales de Construcción y Desarrollo Sostenible

González, I., Galán, E., Miras, A. y Aparicio, P.

Capítulo en libro

Excmo. Ayuntamiento de Castellón de la Plana. Concejalía de Cultura Pag 385-407

ISBN: 978-84-96-983-20-5

(2009)

Captura y Almacenamiento de CO₂

Galán E. (Editor)

Libro

Captura y Almacenamiento de CO₂. Monografías de la Real Academia Sevillana de Ciencias, Volumen 2, Sevilla, 2005 Pags

(2009)

An approach to the diagnostic studies of stone degradation

Galán E., Aparicio P.

Capítulo en libro

I Materiali Lapidei: Tra Georisorsa e Beni Culturali". Letture di Georisorse e Ambiente Vol II, G. Saviano (Ed.). Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Latina. Pag 94-124

(2009)

Mineralogical and geochemical constraints on the origin of the residual kaolin deposits derived from variscan granitoids of Galicia (Spain)

Fernández Caliani J.C, Galán E., Aparicio P., Miras A., Márquez MG

Capítulo en libro

SME Annual Meeting Preprints. Pag 180-186

(2010)

Stone conservation in the marine environment. The case of the ignimbrites used in Campania (Italy)

Papa L., Colella A., De Gennaro M., Vázquez M.A., Galán E., Langella A., Ortiz P.

Capítulo en libro

8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. Pag 203-204

(2010)

Characterization and applications of industrial wastes with high content of gypsum

M. J. Gázquez, J. P. Bolívar, J. Mantero, R. García-Tenorio and F. Vaca

Capítulo en el libro

Gypsum: Properties, Production and Applications

Editor: Delia H. Sampson. Nova Science Publishers Inc. Capítulo 3 (21 páginas)

(2010)

El Tesoro de El Carambolo: Técnica, simbología y poder

M. L. de la Bandera, B. Gómez-Tubio, M. A. Ontalba, M. A. Respaldiza, I. Ortega-Feliu

Capítulo en el libro "El Carambolo: 50 años de un tesoro"

M. L de la Bandera, E. Ferrer (Editores), Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Pag 297-334

ISBN 978-84-472-1218-7

Sevilla (España)

(2010)

Los elementos de oro prehistóricos y protohistóricos de las últimas campañas de excavación (2002-2005) en el yacimiento de El Carambolo (Camas, Sevilla)

M. A. Hunt Ortiz, M. A. Ontalba-Salamanca, I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, A. Fernández Flores, A. Rodríguez Azogue

Capítulo en el libro "El Carambolo: 50 años de un tesoro"

M. L de la Bandera, E. Ferrer (Editores), Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Pag 335-344

ISBN 978-84-472-1218-7

Sevilla (España)

(2010)

5.3 Participación en Congresos / Meeting Participations

5.3.1 Congresos Internacionales / International Meetings

The application of PIXE in the chemical-mineralogical speciation of trace elements in polluted soils

González, I., López, M., Fernández Caliani, J., Romero, A., Galán, E.

14th International Clay Conference

Castellaneta Marina (Italia)

14-20 Junio 2009

Geochemical map for major and trace elements in PM10 of Andalucía (South of Spain)

De la Rosa JD, Alastuey, A, Querol X, Ramos JL, González Castanedo Y, Sánchez de la Campa AM, Fernandez Camacho R, Contreras J, Godoy F, Lozano A

Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A275-A275 Suppl S

2009

Origin of Rare Earth Elements in atmospheric aerosols

González-Castanedo Y, de la Rosa JD, Alastuey A, Querol X

Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A453-A453 Suppl S

2009

10 years of Arsenic in atmospheric particles in Southwestern of Spain

Sánchez de la Campa AM, de la Rosa J, Alastuey A, Querol X, Ramos JL, González Castanedo Y, Fernandez Camacho R, Rodríguez S, Sánchez Rodas D, Stein A, García Orellana I

Geochimica et Cosmochimica Acta 73 A1151-A1151 Suppl S

2009

Radionuclide fluxes at a titanium dioxide plant

Juan Mantero Cabrera; Rafael Garcia-Tenorio Garcia-Balmaseda; Juan Pedro Bolívar Raya; M Gazquez; Santiago Jose Hurtado Bermudez; Federico Vaca Galán

International conference on radioecology and environmental radioactivity

Bergen (Noruega)

2009

Raised peat bogs as archives for radioactive fallout

E. Chamizo, J.M. Gómez-Guzmán, E. Holm, J.M. López-Gutiérrez, A.R. Pinto, N. Niagolova, D. Struminska-Parulska

VI International Symposium on Nuclear and Related Techniques (NURT)

La Habana (Cuba)

9-12 Febrero 2009

Modern radiocarbon levels for northeastern Mexico derived from tree rings – A comparison with Northern Hemisphere zones 2 and 3 curves

Beramendi-Orosco L.E., González-Hernández G., Villanueva-Díaz J., Santos-Arévalo F.J., Gómez-Martínez I., Cienfuegos E., Morales P., Urrutia-Fucugauchi J.

20th International Radiocarbon Conference

Hawai (USA)

31 Mayo- 5 Junio 2009

Non-destructive characterization of a Gilded Roman Ceiling Combining PIXE or XRF with g-Ray Transmisión

I.Ortega Feliu, A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, F. J. Ager, M. A. Respaldiza, S. García-Dils, O. Rodríguez-Gutiérrez

19th Int. Conf. on Ion Beam Analysis

Cambridge (Reino Unido)

7-11 Septiembre 2009

Mortars in medieval mural paintings of Carinthia and its influence in Slovenia

A. Križnar, A. Ruíz-Conde, P. J. Sánchez-Soto

3rd International Meeting on Architectural of the Mediterranean (RIPAM 2009)

Lisboa (Portugal)

15-17 Septiembre 2009

Characterization of Nitrogen Content in Atmospheric Aerosol Samples by Nuclear Reaction Analysis

I.García-Orellana, J. García-López, M. A. Respaldiza, G. Calzolari, M. Chiari, F. Lucarelli, S. Nava, S. Becagli, R. Udisti

19th Int. Conf. on Ion Beam Analysis

Cambridge (Reino Unido)

7-11 Septiembre 2009

Lattice site location of Ni and Co ions implanted in SiC epilayers

J.García López, Y. Morilla, J.C. Cheang Wong, G. Battistig, Z. Zolner, J.L. Cantin

10th International Conference on Applications of Nuclear Techniques

Creta (Grecia)

14-20 Junio 2009

U-isotopes and ²¹⁰Po in waters collected along the Almonte-Marismas aquifer (SW of Spain)

R.García-Tenorio

Journée sur la radioactivite dans les eaux naturelles: Implications Radiologiques

Kenitra (Marruecos)

21-22 Diciembre 2009

Sequential separation of U and Th in environmental samples by extraction-chromatography for their determination by alpha-particle spectrometry

M. Lehitani, J. Mantero, S. Hurtado, G. Manjón, R. García-Tenorio
Journée sur la radioactivite dans les eaux naturelles: Implications Radiologiques
Kenitra (Marruecos)
21-22 Diciembre 2009

U-isotopes and ^{210}Po in rivers affected by former mining activities

A. Absi, I. Díaz, J. Mantero, I. Vioque, G. Manjón, S. Chakiri, A. Choukri, R. García-Tenorio
Journée sur la radioactivite dans les eaux naturelles: Implications Radiologiques
Kenitra (Marruecos)
21-22 Diciembre 2009

Measurement of ^{233}U (n,f) cross-section at the n_TOF facility. Statistical analysis

Javier Praena
VI International Symposium on Nuclear & Related Techniques
La Habana (Cuba)
9-12 Febrero 2009

Development of Beam Tracking Detectors and Exotic Nuclei Reactions

Z. Abou-Haidar, B. Fernández, M.A.G. Alvarez, J.P.Fernández, J.Praena, A. Garzón, J. Gomez-Camacho, J.Espino, I. Mukha
DITANET School at RHUL in London on Beam Diagnostics
Londres (Reino Unido)
30 Marzo-4 Abril 2009

Beam Tracking Detectors Developments

Marcos Álvarez
DITANET Workshop on Low Energy, Low Intensity Beam Diagnostics
Hirschberg (Alemania)
23-25 Noviembre 2009

Research Activities at CNA

Alessio Bocci
CARAT workshop on "advanced diamond detectors" at GSI
Darmstadt (Alemania)
13-15 Diciembre 2009

Lattice site location of Ni and Co ions implanted in SiC epilayers

10th International Conference on Applications of Nuclear Techniques
J.García López, Y. Morilla, J.C. Cheang Wong, G. Battistig, Z. Zolner and J.L. Cantin
Creta (Grecia)
14-20 Junio 2009

Sources of ultrafine particles in Huelva industrial city

Fernández-Camacho, Rocío; Rodríguez, Sergio; de la Rosa, Jesús

Internacional Aerosol Conference 2010
Helsinki (Islandia)
29 Agosto-3 Septiembre 2010

Sources apportionment at atmospheric pollution in PM10 of Andalusia (South Spain)

Sánchez de la Campa, Ana; de la Rosa, Jesús; Fernández-Camacho, Rocío; González-Castanedo, Yolanda; Wang, Yaqiang; Querol, Xavier; Alastuey, Andrés; Ramos, Juan L.
Internacional Aerosol Conference 2010
Helsinki (Islandia)
29 Agosto-3 Septiembre 2010

Geochemical characterization of atmospheric aerosols in the Iberian Pyrite Belt, Spain

de la Rosa, Jesús; Sánchez de la Campa, Ana; González-Castanedo, Yolanda; Wang, Yaqiang; Fernández-Caliani, Juan C.
Internacional Aerosol Conference 2010
Helsinki (Islandia)
29 Agosto-3 Septiembre 2010

Spatial distribution of trace elements and risk assessment in agricultural soils affected by sulphide exploitation in Riotinto (Iberian Pyrite Belt, SW Spain)

González, I., López Pérez, M., Romero, A., Galán, E., González Peñaloza, F.
European Geosciences Union
Viena (Austria)
02-07 Mayo 2010

Early works on the Nuclear Microprobe for microelectronics radiation tests at the CEICI (Sevilla, Spain)

F.R. Palomo
12th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications-ICNMTA
Leipzig (Alemania)
26-30 Julio 2010

Crystal disorder and lattice site location of magnetic ions implanted in SiC epilayers

J.García López, Y. Morilla, J.C. Cheang Wong, J. Sanchez, C. Prieto, G. Battistig, Z. Zolnai, J.L. Cantin
17th International Conference on Ion Beam Modification of Materials-IBMM
Montreal (Canadá)
22-27 Agosto 2010

New detector technologies for advanced materials research using ion beam analysis

1st SPIRIT Workshop on New detector technologies for advanced materials research using ion beam analysis
Plitvice Lakes National Park (Croacia)

25-27 Octubre 2010

Analyses of U and Pu K lines induced in radioactive particles by PIXE

M.C. Jiménez-Ramos, J. García López, I. Ortega Feliu, R. García-Tenorio

10th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology
ECAART-10

Atenas (Grecia)

13-17 Septiembre 2010

Fast IR Array Detector for Transverse Beam Diagnostics at DAΦNE

Alessio Bocci, Mariangela Cestelli Guidi, Alberto Clozza, Alessandro Drago, Antonio Grilli, Augusto Marcelli, Agostino Raco, Rossano Sorchetti (INFN/LNF, Frascati (Roma)), Lisa Gambicorti (INOVA, Firenze), Antonio De Sio, Emanuele Pace (Università degli Studi di Firenze, Firenze), Jozef Piotrowski (VIGO System S.A., Ozarow Maz.)

IPAC10

Kyoto (Japón)

23-28 Mayo 2010

First Measurements of Non-Interceptive Beam Profile Monitor Prototypes for Medium to High Current Hadron Accelerators

J.M. Carmona, A. Ibarra, I. Podadera Aliseda, Z. Abou-Haidar, A. Bocci, B. Fernández, J. García López, M.C. Jiménez-Ramos, M. Álvarez

HB2010

Morschach (Suiza)

27 Septiembre-1 Octubre 2010

Geant4 Simulation to Study the Sensitivity of a MICRON Silicon Strip Detector Irradiated by a SIEMENS PRIMUS Linac

Miguel A. Cortés-Giraldo, M. Isabel Gallardo, Rafael Arráns, José M. Quesada, Alessio Bocci, J. M. Espino-Navas, Z. Abou-Haidar, M. A. G. Álvarez

SNA-MC2010

Tokio (Japón)

17-21 Octubre 2010

Fluxes of the U-238 series within the dicalcium phosphate industrial production and the biokinetical analysis of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in poultry due to its ingestion

N. Casacuberta, F.L.Traversa, P. Masqué, J.García-Orellana, M.Anguita, J. Gasa, R. García-Tenorio

NORM VI Conference

Marrakech (Marruecos)

22-26 Marzo 2010

Occupational exposure assessment in a titanium dioxide plant located at the south-west of Spain

J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, J. Mantero, M. Gázquez, R. Lozano

NORM VI Conference
Marrakech (Marruecos)
22-26 Marzo 2010

Determination of U and Th isotopes in NORM samples by total dissolution with alkali fusion

J. Mantero, M. Lehitane, S. Hurtado, R. García-Tenorio
NORM VI Conference
Marrakech (Marruecos)
22-26 Marzo 2010

Physicochemical and radioactive characterization of co-products from a titanium dioxide NORM industry for their valorization in cement manufacturing

M.J. Gázquez, J.P. Bolívar, R. García-Tenorio, F. Vaca
NORM VI Conference
Marrakech (Marruecos)
22-26 Marzo 2010

Sequential Extraction and Measurement of ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , U, and Th Isotopes in NORM matrices

M. Villa, S. Hurtado, J.L. Mas, N. Casacuberta, P. Masqué, R. García-Tenorio
NORM VI Conference
Marrakech (Marruecos)
22-26 Marzo 2010

PG use in agriculture

R. García-Tenorio
Workshop on Beneficial use of Phosphogypsum
Marrakech (Marruecos)
22-26 Marzo 2010

Radioanalytical determination of actinides in refractory matrices by linking alkali fusion with solvent extraction and chromatography extraction

J. Mantero, M. Lehitane, S. Hurtado, R. García-Tenorio
International Radiochemical Conference
Marianske-Lazne (Chequia)
10 Abril 2010

Radiological Evaluation of two NORM industries devoted to TiO_2 and phosphate fertilisers production

R.L. Lozano, J.P. Bolívar, E.G. San Miguel, R. García-Tenorio
2010 Symposium on radiation Measurements and Applications
Michigan (USA)
28 Mayo 2010

Overview on the radiological effect of the use of phosphogypsum amendments in agriculture

R. García-Tenorio

International Workshop on Ra-226 environmental behaviour

Chatenay-Malabry (Francia)

4-5 Mayo 2010

Determination of stable lead, thorium and uranium isotope ratios in NORM and NORM-polluted sample leachates using ICP-QMS

J.L. Más, S. Hurtado, M. Villa, R. García-Tenorio

11th International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis

Leicester (Reino Unido)

15-17 Septiembre 2010

Presence of Plutonium Isotopes, ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu, in soils from Chile

Elena Chamizo

10th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART-10)

Atenas (Grecia)

13-17 Octubre 2010

Two 16th century Flemish panel paintings analysed by portable XRF

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega

ISA 2010; 38th International Symposium on Archeometry

Tampa, Florida (USA)

10-14 Mayo 2010

Portable XRF study of the pigments applied in Juan Hispalense's 15th century panel painting

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega

EXRS 2010 – European Conference on X-Ray Spectrometry

Figueira da Foz, Coimbra (Portugal)

20-25 Junio 2010

Red layered medieval stained glass window characterization by means of micro-PIXE technique

I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, F. Capel

12th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications (ICNMTA)

Leipzig (Alemania)

26-30 Julio 2010

Mortars in medieval mural paintings of Carinthia and its influence in Slovenia

A. Križnar, A. Ruíz-Conde, P. J. Sánchez-Soto

2nd Historic Mortars Conference (HMC 2010)

Praga (República Checa)
22-24 Septiembre 2010

Non-destructive analysis of polychromed terracotta sculptures from the 15th and 16th centuries by portable XRF

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
ICOM Interim meeting Scientific Research Working Group
Pisa (Italia)
7-8 Octubre 2010

Authentification of wall paintings made by the Older Villach's Workshop on bases of material and technique analysis

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
ICOM Interim meeting Scientific Research Working Group
Pisa (Italia)
7-8 Octubre 2010

IR synchrotron radiation imaging dedicated to bunch-by-bunch beam diagnostics

G.L. Zingari, A. Marcelli, A. Drago, M. Cestelli Guidi, A. Bocci
Infrared Millimeter and Terahertz Waves Conference (IRMMW-THz)
Roma (Italia)
5-10 Septiembre 2010

XRF analysis of silver coins from the Ptolemaic period (4th-1st centuries BC)

V. Kantarelou, F. J. Ager, D. Eugenidou, F. Chaves, A. Andreou, E. Kontou, N. Katsikosta, M. A. Respaldiza, P. Serafin, A. G. Karydas
EXRS 2010 – European Conference on X-Ray Spectrometry
Figueira da Foz, Coimbra (Portugal)
20-25 Junio 2010

Combining non-destructive nuclear techniques to study Roman leaded copper coins from Ilipa (II-I B.C.)

A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, F. Chaves, I. Ortega-Feliu, M. A. Ontalba-Salamanca, F. J. Ager
10th European Conference on Accelerators in Applied research and Technology
Atenas (Grecia)
13-17 Septiembre 2010

¹²⁹I in Swedish reindeer lichens

J.M. Gómez Guzmán, J.M. López Gutiérrez, E. Holm, A.R. Pinto Gómez
European Radiation Research 2010 Conference
Estocolmo (Suecia)
5-9 Septiembre 2010

Accelerator Mass Spectrometry measurement of ^{129}I in solid samples by a microwave based procedure

J.M. Gómez Guzmán, J.M. López Gutiérrez, A.R. Pinto Gómez, J.I.F. Peruchena, E. Holm
11th International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis
Chester (Reino Unido)
15-17 Septiembre 2010

^{129}I in macroalgae (*Fucus vesiculosus*) from the Swedish coast

J.M. Gómez Guzmán, E. Holm, J.M. López Gutiérrez, N. Niagolova, A.R. Pinto Gómez
11th International Symposium on Environmental Radiochemical Analysis
Chester (Reino Unido)
15-17 Septiembre 2010

Radiological risks associated to the storage of NORM residues in stacks

R. García-Tenorio
Conferencia Invitada en 3rd African IRPA Regional Congress
Nairobi (Kenya)
13-17 Septiembre 2010

Radiological aspects of NORM industries

R. García-Tenorio
3rd African IRPA Regional Congress
Conferencia Invitada en 3rd African IRPA Regional Congress
Nairobi (Kenya)
13-17 Septiembre 2010

Gross-alpha and gross-beta measurements. Critical remarks and a better alternative LSC approach

Franz Schoenhofer, Rafael García-Tenorio
LSC2010 Coinference
Paris (Francia)
6-10 Septiembre 2010

Production of Dicalcium Phosphate and its use as a food supplement for domestic animals in the NORM context

N. Casacuberta, P. Masqué, J. García-Orellana, F.L. Traversa, J. Gasa, M. Anguita, R. García-Tenorio
EAN-NORM round Table Workshop: Scenarios for Dose Assessments in the NORM industry
Dresde (Alemania)
23–25 Noviembre 2010

5.3.2 Congresos Nacionales / National Meetings

Determinación de ^{239}Pu y ^{240}Pu en muestras de nieve y suelos de Chile mediante Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS)

C. Miró, E. Chamizo, M. García-León, F. Cereceda, X. Fadic, A.L. Llanos, V. Vidal, V. Vildoso, E. Pinilla

35 Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española

Sevilla (España)

28-30 Octubre 2009

Uso de Técnicas IBA y AMS para el estudio de muestras de Palomares (Almería)

M.C. Jiménez-Ramos, E. Chamizo, F.J. García-López, R. García-Tenorio, M. García-León

XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física

Ciudad Real (España)

7-11 Septiembre 2009

Medida de Isótopos de Plutonio, ^{239}Pu y ^{240}Pu , en filtros de aire de Sevilla mediante Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS)

E. Chamizo, M. García-León, L. Wacker

XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física

Ciudad Real (España)

7-11 Septiembre 2009

Determinación de plutonio en orina

H. Hernández-Mendoza, A. Yllera, E. Chamizo, M. García-León, T. Navarro, A. Delgado

XII Reunión de la Sociedad Española de Protección Radiológica

Alicante (España)

2-5 Junio 2009

Niveles modernos de radiocarbono en anillos de árboles en la zona noroeste de México

Santos-Arévalo F.J., Gómez-Martínez I., Beramendi-Orosco L.E., González-Hernández G., Villanueva-Díaz J., Cienfuegos E., Morales P., Urrutia-Fucugauchi J.

XXXII Bienal de la Real Sociedad Española de Física

Ciudad Real (España)

7-11 Septiembre 2009

Nuevo sistema portátil de micro-fluorescencia de rayos X basado en óptica de policapilares para aplicaciones en Patrimonio Histórico y Cultural

F. J. Ager, M. A. Respaldiza, B. Gómez-Tubio, A. I. Moreno-Suárez, M. A. Ontalba-Salamanca, I. Ortega-Feliú

10ª Reunión de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC

Granada (España)

14-17 Octubre 2009

A panel painting by the Master of the Female Half-Lengths analysed by portable XRF

A. Kriznar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
10ª Reunión de la Red Temática de Patrimonio Histórico y Cultural del CSIC
Granada (España)
14-17 Octubre 2009

Las vidrieras del rosetón del sarmental de la catedral de Burgos: Caracterización físico-química de algunos vidrios

M. P. Alonso, F. Capel, E. Barrio, F. J. Valle Fuentes, A. de Pablos, I. Ortega-Feliú, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza
VIII Congreso Ibérico de Arqueometría
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Combinación de técnicas nucleares no destructivas para el estudio de monedas romanas de bronce de Ilipa (II-I a. C.)

A. I. Moreno-Suárez, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, F. Chaves, I. Ortega-Feliú, M. A. Ontalba-Salamanca, F. J. Ager
VIII Congreso Ibérico de Arqueometría
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Caracterización de la colección del museo de bellas artes de Sevilla mediante técnicas no destructivas de análisis

A. Kriznar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza y M. Vega
VIII Congreso Ibérico de Arqueometría
Teruel (España)
19-21 Octubre 2009

Caracterización del taller de orfebrería de Gadir mediante técnicas de análisis nucleares

M. L. de la Bandera, I. Ortega Feliú, B. Gómez Tubio, M. A. Ontalba, M. A. Respaldiza
VI Coloquio Internacional del Centro de Estudios Fenicios y Púnicos; Los Púnicos de Iberia: proyectos, revisiones, síntesis
Sevilla (España)
30 Septiembre-2 Octubre 2009

Diseño y desarrollo de un nuevo sistema de micro-fluorescencia de rayos X portátil para aplicaciones en patrimonio cultural

Francisco Jose Ager Vásquez, Blanca Maria Gómez Tubio, Miguel Angel Respaldiza Galisteo, Maria Ángeles Ontalba Salamanca, Inés Ortega Feliu
XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física
Ciudad Real (España)
7-11 Septiembre 2009

Examen arqueométrico de un objeto de hueso decorado de época almohade procedente de la excavación de la C/ San Fernando, Sevilla

Mark Hunt Ortiz, María Ángeles Ontalba Salamanca, Inés Ortega Feliu, Blanca Gómez Tubio

VIII Congreso Ibérico de Arqueometría

Teruel (España)

19-21 Octubre 2009

MEMS solar sensor testing for satellite applications

J. García Ortega, C.L. Tarrida, J.M. Quero, F.J. Delgado, P. Ortega, L. Castañer, M. Reina, M. Angulo, Y. Morilla, J. García López

7th Spanish Conference on Electron Devices

Santiago de Compostela (España)

11-13 Febrero 2009

Influencia de la extinción en la eficiencia de recuento de un contador de centelleo líquido: tests estadísticos para la obtención de la curva de mejor ajuste

M.Sosa, G.Manjón, R.García-Tenorio

XII Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica

Alicante (España)

2-5 Junio 2009

Determinación de isótopos de Uranio y Torio en materiales NORM mediante su disolución por fusión alcalina

J.Mantero, M. Hritane, R.García.Tenorio

XII Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica

Alicante (España)

2-5 Junio 2009

Caracterización elemental, mediante la técnica micro-PIXE, de partículas calientes incorporadas al medio ambiente

R.García-Tenorio, M.C.Jiménez-Ramos, J.García-López, M.Eriksson, E.Holm

XII Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica

Alicante (España)

2-5 Junio 2009

^{210}Po and ^{210}Pb in NORM mineral processing activities: a review

R.García-Tenorio y G. Manjón

International Topical Conference on Polonium and radioactive Lead isotopes

Sevilla (España)

26-28 Octubre 2009

Evolution of heavy metal concentrations in Huelva estuary (southwest of Spain) derived from ^{210}Pb chronologies

E.G. SanMiguel, J.P.Bolívar, R.García-Tenorio.

International Topical Conference on Polonium and radioactive Lead isotopes

Sevilla (España)

26-28 Octubre 2009

^{210}Pb and ^{210}Po biokinetics in chicken and the radiological implications to population

N.Casacuberta, P. Masqué, J.García-Orellana, C.Benitez-Nelson, M. Anguita, J.Gasa, R.García-Tenorio

International Topical Conference on Polonium and radioactive Lead isotopes

Sevilla (España)

26-28 Octubre 2009

^{210}Po radiological impact due to the agricultural use of phosphogypsum in SW of Spain

J.M.Abril, G.Manjón, M. Villa, S. Hurtado, R.García-Tenorio

International Topical Conference on Polonium and radioactive Lead isotopes

Sevilla (España)

26-28 Octubre 2009

^{210}Po in rivers affected by former mining activities

A. Absi, I. Díaz, J.Mantero, I. Vioque, G.Manjón, S.Chakiri, A. Choukri, R.García-Tenorio

International Topical Conference on Polonium and radioactive Lead isotopes

Sevilla (España)

26-28 Octubre 2009

Characterization and valorization of NORM wastes: application to the TiO_2 production

M.J.Gázquez, J. Mantero, J.P.Bolívar, R.García-Tenorio, F. Galán

1st Spanish National Conference on Advances in Material Recycling and Eco-Energy

Madrid (España)

12-13 Noviembre 2009

Natural Occurring Radionuclide waste in Spain: the Huelva Phosphogypsum Stacks Case

M.J. Gázquez, J.P.Bolivar, R.García-Tenorio, F. Vaca

1st Spanish National Conference on Advances in Material Recycling and Eco-Energy

Madrid (España)

12-13 Noviembre 2009

Gas Ionization detectors: principles and recent development (CNA mini-course)

Martin Zucker

Sevilla (España)

15-16 Marzo 2009

Análisis de la dispersión elástica y los canales de ruptura del sistema $^6\text{He}+^{208}\text{Pb}$ em torno a la barrera de Coulomb: "Desarrollo de un sistema de trazado de núcleos exóticos para FAIR

J. P. Fernández

XXXII Biental de Física de la Real Sociedad Española de Física
Ciudad Real (España)
7-11 Septiembre 2009

Development of beam tracking detectors for FAIR project. The weakly bound 6He Optical Potential at energies around the Coulomb barrier

B. Fernández, J. Pancin, Z. Abou-Haidar, M.A.G. Álvarez, a. Drouart, M. Kebbiri, M. Riallot

International Scientific Meeting on Nuclear Physics Basic Concepts: theory, experiments and applications

La Rábida (España)

4-10 Julio 2009

A methodological approach to follow trace element mobilization in soils affected by spills. Application to the Guadiamar soils (SW Spain)

Romero, A.; González, I.; Fernández, M.; Galán E

SEA-CSSJ-CMS Trilateral Meeting on Clays

Sevilla (España)

06-11 Junio 2010

Urban air quality impairment by nanoparticles emissions in Huelva city (SW Spain)

R. Fernández Camacho, S. Rodríguez, J.D. De La Rosa

SETAC Europe 20th Annual Meeting

Sevilla (España)

23-27 Mayo 2010

Estimation of shipping emission contribution to ambient PM10 and PM2.5 levels at Algeciras Bay (Southern Spain)

M. Pandolfi, Y. González Castanedo, A. Alastuey, J. D. de la Rosa, E. Mantilla, A. Sanchez de la Campa, X. Querol, J. Pey, F. Amato, T. Moreno

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Correlations of levels and chemical composition particulate matter with aerosol optical depth in a rural background station in SW (Spain)

González Castanedo Y, Cachorro V.E., de la Rosa J. D., Sánchez de la Campa A.M., A. M. de Frutos

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Geochemistry of Atmospheric Aerosols in Andalusia (Southern Spain)

De la Rosa, J.D., Sánchez de la Campa, A.M., Alastuey, A., Querol, X., Ramos J.L., González Castanedo, Y., Fernández-Camacho, R., Rodríguez, S., Contreras, J., Godoy, F., Lozano, A.

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Sources apportionment at atmospheric pollution in PM10 of Andalusia (South Spain)

Sánchez de la Campa, A.M., de la Rosa, J.D., Fernández-Camacho, R., González Castanedo, Y., Wang, Y., Querol, X., Alastuey, A., Ramos, J.L.

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Sources of ultrafine particles in Huelva industrial city

Fernández Camacho R., Rodríguez S., de la Rosa J. (2010)

IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología del Aerosol – RECTA 2010

Granada (España)

28-30 Junio 2010

Datos químicos y mineralógicos preliminares de las partículas atmosféricas sedimentables en la cuenca minera de Riotinto (Huelva)

Fernández Caliani JC, de la Rosa JD, Sánchez de la Campa AM, González Castanedo Y, González Diez I Romero A, Galán E

Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía

Madrid (España)

13-16 Septiembre 2010

Variability in sedimentation rates in the Northwestern Iberian margin

Álvarez-Iglesias, P., Andrade, A., Mohamed, K.J., Rey, D. Bernabeu, A.M., Rubio, B., Vilas, F., Fedi, M., Wild, E.M., Santos, F.J., Casorio, L., Monge-Soares, A.M., Steier, P., Gómez, I., Taccetti, F

4th IGCP 526 Conference on Continental Shelves: Risks, Resources and Record of the Past

Vigo (España)

28 Septiembre-1 Octubre 2010

Simultaneous analysis of elastic scattering and transfer/breakup channels for the ${}^6\text{He}+{}^{208}\text{Pb}$ around the coulomb barrier

J.P. Fernández-García

IV Encuentro de Física Nuclear 2010

El Escorial (España)

27-29 Septiembre 2010

Determinación de ^{239}Pu , ^{240}Pu , y ^{241}Am en partículas calientes por Espectrometría Gamma

M.C. Jiménez-Ramos

VI jornadas sobre calidad en el control de la radiactividad ambiental

Cáceres (España)

21-23 Septiembre 2010

Técnicas no destructivas de análisis de obras de arte en el Museo de Bellas Artes de Sevilla

A. Kriznar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega

Jornadas sobre "Investigación en conservación del Patrimonio Cultural en España"

Madrid (España)

17-18 Marzo 2010

El Tesoro de El Carambolo: Técnica, simbología y poder

M. L. de la Bandera, B. Gómez-Tubio, M. A. Ontalba, M. A. Respaldiza, I. Ortega-Feliu

Simposio Internacional "El Carambolo: 50 años de un tesoro"

Sevilla (España)

1-3 Octubre 2010

Los elementos de oro prehistóricos y prohistóricos de las últimas campañas de excavación (2002-2005) en el yacimiento de El Carambolo (Camas, Sevilla)

M. A. Hunt Ortiz, M. A. Ontalba-Salamanca, I. Ortega Feliu, B. Gómez-Tubio, M. A. Respaldiza, A. Fernández Flores, A. Rodríguez Azogue

Simposio Internacional "El Carambolo: 50 años de un tesoro"

Sevilla (España)

1-3 Octubre 2010

Protocolo de actuación para la evaluación radiológica de industrias químicas NORM: Aplicación práctica en industria de producción de ácido fosfórico y en industria de producción de pigmentos de dióxido de titanio

R. García-Tenorio, J.P. Bolívar

VI Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental

Cáceres (España)

21-23 Septiembre 2010

5.4 Tesis Doctorales, DEA y Trabajos Fin de Carrera / Theses, DEA, and Final Year Projects

5.4.1 Tesis Doctorales / Theses

Medida de Isótopos de Plutonio, ^{239}Pu y ^{240}Pu , mediante Espectrometría de Masas con Aceleradores de Baja Energía

Elena Chamizo Calvo

Directores: D. Manuel García León, D. Martin Suter

24 Abril 2009

Universidad de Sevilla

Medida de ^{129}I en el Sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores de 1 MV del Centro Nacional de Aceleradores. Aplicación a problemas medioambientales

José Manuel Gómez Guzmán

Director: D. Manuel García León, D. José María López Gutiérrez

12 Abril 2010

Universidad de Sevilla

5.4.2 Diploma de estudios avanzados (DEA) / Advanced Studies Diploma

Análisis no destructivo de monedas romanas de Ilipa (II-I a.C)

Ana Isabel Moreno Suárez

Director: D. Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

18 Diciembre 2009

Universidad de Sevilla

Desarrollo de un sistema de trazado de partículas nucleares para futuros aceleradores

Begoña Fernández Martínez

Director: D. Marcos Aurelio González Álvarez, D. Julien Pancin

25 Junio 2010

Universidad de Sevilla

Efectos de largo alcance en reacciones inducidas por el núcleo de ^6He en torno a la barrera coulombiana

Juan Pablo Fernández García

Director: D. Antonio Matías Moro Muñoz, D. Marcos Aurelio González Álvarez

25 Junio 2010

Universidad de Sevilla

Determinación de ^{210}Po y ^{210}Pb en diversas matrices naturales como base para estudios dosimétricos y atmosféricos

Inmaculada Díaz Francés

Director: D. Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

30 Septiembre 2010

Universidad de Sevilla

Study of the nuclear reaction: protons + ^{58}Ni at energies around the coulomb barrier

Ziad Abou-Haidar

Director: D. Marcos Aurelio González Álvarez

17 Diciembre 2010

Universidad de Sevilla

Optimización de la medida de ^{26}Al en Espectrometría de Masas con Acelerador a Bajas Energías en el Centro Nacional de Aceleradores

Santiago Padilla Domínguez

Director: D. José María López Gutiérrez, D. Manuel García León

17 Diciembre 2010

Universidad de Sevilla

5.4.3. Proyecto de Fin de Carrera (TFC) / Final Year Project

Investigación, diseño y desarrollo de un pré-amplificador de señal mixta para el detector de partículas mini secondary electron detectors (SED)

Alejandro Garzón Camacho

Director: D. José Manuel De La Rosa, D. Marcos Aurelio González Álvarez

3 Diciembre 2010

Universidad de Sevilla (Escuela de Ingenieros)

5.5 Cursos, Coloquios y Eventos / Courses, Seminars and Meetings

5.5.1 Cursos / Courses

Curso de Postgrado del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla: “Métodos Físicos de Análisis de capas finas y superficies de sólidos”. Prácticas de Retrodispersión Rutherford

Curso de Postgrado del Instituto de Ciencia de Materiales (Sevilla-España)

22-26 Junio 2009

Profesor: Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Curso de Extensión Universitaria: “Técnicas analíticas asociadas a aceleradores de partículas: aspectos básicos y aplicaciones”

Curso de Extensión Universitaria en el Centro Nacional de Aceleradores-Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

16-24 Febrero 2009

Profesor: Javier García López

Curso online sobre técnicas no destructivas, nivel avanzado (Datación por radiocarbono)

Universidad Pablo de Olavide (Sevilla-España)

1 Abril-7 Julio 2010

Profesor: Javier Santos Arévalo

Curso de postgrado del Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla: Métodos físicos de análisis de capas finas y superficies de sólidos (Prácticas de Retrodispersión Rutherford)

Instituto de Ciencia de Materiales (Sevilla-España)

28 Junio-2 Julio de 2010

Profesor: Javier García López

Máster de Física Médica (Radiaciones ionizantes)

Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

Noviembre 2010

Profesor: Rafael García-Tenorio

Doctorado Interuniversitario de Física Nuclear

Universidad de Sevilla, Complutense, Salamanca, Autónoma de Madrid, Granada

8-12 Febrero 2010

Profesor: Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, Joaquín Gómez Camacho

Máster de Física Médica (Métodos Numéricos)

Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

Noviembre 2010

Profesor: Joaquín Gómez Camacho

Máster Física Médica

Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

5-6 Abril 2010

Profesor: Javier García López, Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Máster Arqueología

Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

Noviembre 2010

Profesor: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Técnicas Experimentales en Física Nuclear (Licenciatura de Física)

Universidad de Sevilla (Sevilla-España)

Mayo 2010

Profesor: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, Javier García López, José Manuel Espino, Manuel García León

5.5.2 Coloquios / Seminars

Estudio de núcleos ligeros ricos en neutrones con reacciones directas en GANIL

Dra. Beatriz Domínguez Fernández (Laboratorio de GANIL (Francia))

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

22 Enero 2010

Puesta a punto del sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores del CNA para la medida de ¹²⁹I

José Manuel Gómez Guzmán (CNA)

Coloquio

CNA

Sevilla (España)
17 Marzo 2010

El Acelerador Tándem de 3 MV y sus fuentes de iones

Juan Carlos Mateos y Ángel Romero (CNA)

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

15 Abril 2010

Investigación y desarrollo en protonterapia con bajas y altas energías

Dr. Alejandro Mazal (Instituto Curie de París)

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

9 Junio 2010

MMP-9 as a key molecule in synaptic plasticity y Role and regulation of matrix metalloprotecnases (MMPs) in glioma invasion

Dres. Leszek Kacmarek y Bozena Kaminska (Nencki Institute de Varsovia (Polonia))

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

21 Junio 2010

Aplicación de microPET/TAC en el seguimiento de terapias antitumorales

Dr. Manuel de Miguel (Profesor del Dpto. de Citología e Histología Normal y Patológica de la Universidad de Sevilla)

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

1 Julio 2010

Diseño y Construcción de una TPC (Time Projection Chamber) con xenon a alta presión para la búsqueda de Neutrinoless Beta Decay

Dr. Azriel Goldschmidt (Investigador del Lawrence Berkeley National Laboratory de Estados Unidos)

Coloquio

CNA

Sevilla (España)

4 Octubre 2010

5.5.3 Eventos / Meetings

Reunión entre el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), la Agencia IDEA y el CNA

Jornada-Taller

CNA

Sevilla (España)

17 Mayo 2010

Acto de presentación de la colaboración entre la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA) y el Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

Jornada

CNA

Sevilla (España)

29 Junio 2010

International workshop on bio-medical applications of micro-PET

Workshop

CNA

Sevilla (España)

20-21 Septiembre 2010

n_TOF collaboration meeting 2010

Annual international collaboration meeting

CNA

Sevilla (España)

15-17 Diciembre 2010

6. Programa de Divulgación Científica / Outreach Program

6.1. Presentación / Presentation

Desde el año 2000, el Centro Nacional de Aceleradores tiene diseñado dentro de sus líneas estratégicas, un ambicioso programa de divulgación que se viene desarrollando anualmente con notable éxito. En este programa se enmarcan varias acciones educativas en el ámbito de la física, sus aplicaciones a los aceleradores de partículas y la física atómica y nuclear. Estas acciones pretenden, por un lado incentivar al colectivo estudiantil y por otro divulgar la física y la investigación con aceleradores de partículas a la ciudadanía en general.

Nuestros visitantes son Centros de Secundaria, Colegios, Universidades, Empresas y Organismos Públicos de Investigación.

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

- 1.- Diseminar la contribución que los aceleradores de partículas han aportado a la Ciencia Básica y Aplicada a lo largo de su historia.
- 2.- Demostrar la utilidad de los aceleradores en la resolución de problemas de distinto ámbito científico útiles incluso para la vida cotidiana.
- 3.- 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.
- 4.- Contribuir en el ámbito específico de los aceleradores de partículas a la alfabetización científica de la comunidad, necesaria en una sociedad en la que, cada vez más, la Ciencia, incluso la más lejana a nuestra experiencia diaria, está presente en la vida cotidiana.

Para conseguir dichos fines educativos, contamos con un equipo de monitores de divulgación que se adaptan a los conocimientos de cada grupo que desee visitar y conocer el centro.

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

Programa anual de visitas “Visítanos y Conciénciate”. Con carácter semanal y durante todo el año académico, en la que nuestros becarios muestran los distintos

aceleradores de que disponemos en el CNA: Acelerador Tándem Van de Graaff de 3 MV, Ciclotrón y un sistema AMS de baja energía (1 MV). La visita comienza con la visualización de un video, en el que se explican los fundamentos físicos en los que se basa la aceleración de partículas. Acto seguido se pasa a la sala donde se encuentra ubicado el acelerador tándem, explicando detalladamente cada una de las partes que lo componen. Por último, se hace una presentación en el salón de actos, ampliando la información sobre las distintas líneas de investigación y aplicaciones en disciplinas científicas como la medicina, el arte y la arqueometría, medio ambiente, física nuclear, ciencia de materiales, etc. Dentro de la misma visita se realizan experimentos en vivo para mostrar cómo funciona el campo eléctrico y magnético con partículas cargadas, y también se llevan a cabo concursos en los que se demuestran los conocimientos adquiridos por los alumnos/as durante la visita.

Semana de la Ciencia del CSIC. Con motivo de la Semana de la Ciencia, que se celebra anualmente en noviembre, nuestro centro realiza jornadas de puertas abiertas donde todo el que lo desee puede, mediante reserva previa, visitar nuestro centro y conocer un poco más de cerca el mundo de los aceleradores de partículas.

Feria de la Ciencia de Sevilla. El CNA participa con un stand en la Feria de la Ciencia que se lleva a cabo todos los años en el mes de mayo en Sevilla. Nuestro centro, participa en la feria exponiendo videos, presentaciones, realizando experimentos y en definitiva acercando la ciencia a los jóvenes y no tan jóvenes, que tengan inquietudes.

Programa de Cooperación Territorial de Rutas Científicas, "Andalucía a tope". En el año 2010, el Centro Nacional de Aceleradores ha sido seleccionado para participar en el Programa de Cooperación Territorial de Rutas Científicas, "Andalucía a tope", programa cofinanciado por el Ministerio de Educación de España. Este programa está destinado a grupos de alumnos de Bachillerato y Ciclos Formativos de Grado Medio de centros públicos educativos españoles. Los grupos de alumnos visitarán los centros de investigación, laboratorios, empresas, parques, etc. programados en la ruta científica donde se investigan, desarrollan y aplican estos conocimientos.

Estas visitas, las explicaciones recibidas antes y durante el recorrido y el encuentro con los profesionales, técnicos y científicos que desarrollan sus tareas en estos campos, brindarán a los alumnos la oportunidad de conocer sobre el terreno la importancia del trabajo científico y tecnológico para el desarrollo. Al mismo tiempo, se les ofrecerá una muestra de posible proyección profesional, además de conocer las riquezas naturales, económicas y sociales de la comunidad visitada.

Página Web de Divulgación Científica. 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. Dirección: <http://www.institucional.us.es/divulgacioncna/>

In CNA, we have set up an outreach program since 2000. In this program, many activities devoted to physics, particle accelerators and nuclear physics are developed. These actions show students and general public, the research which is carried out in our center.

Our visitors are mainly High Schools, Schools, Universities, Companies and Public Research Organizations.

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

1.- To illustrate the historical contribution of particle accelerators to basic and applied science.

2.- To show how particle accelerators have helped in the resolution of scientific problems and their applications to daily life.

3.- To explain the strategic importance of particle accelerators.

4.- To promote scientific knowledge, within the particle accelerators field. This is essential in our modern society, where science is particularly involved in daily life.

The informative actions carried out in the center are:

Annual visits Program “Visitanos y Conciénciate”. Weekly, the Outreach group shows the different CNA accelerators: 3MV Accelerator Tandem Van de Graaff, Cyclotron with 18MeV protons and 9 MeV deuterons, and an AMS low energy system (1 MV). The visit begins with a video, in which the physical foundations are explained. After video, the visitors go to the room where tandem accelerator is located, explaining each parts which compose it. Finally, a presentation, in the auditorium, is done, explaining the different research lines and their applications in medicine, art and arqueometry, environment, nuclear physics, materials science... Some experiments are realized to show how the electric and magnetic field work and at the end of the visit, the visitors fulfill a test to demonstrate if they have understood the information.

CSIC Science Week. During CSIC 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.

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

Scientific Routes Territorial Cooperation Program “Andalucía a tope”. In 2010, CNA has been selected to participate in the Scientific Routes Territorial Cooperation Program, funded by the Ministerio de Educación de España. This program is intended to Spanish

public schools students. Students will visit research centres, laboratories, private companies, parks, etc, where research is developed and applied.

These visits will give the students the opportunity to learn about scientific and technological development. Also, they will receive a sample of professional projection as well as they will know the natural, economic and social aspects of the community visited.

CNA Outreach website. The outreach program has a website devoted to children and young people, and to show research with particle accelerators and atomic and nuclear physics. Web Site: <http://www.institucional.us.es/divulgacioncna/>

6.2 Equipo de trabajo / Work Group

El equipo de trabajo del que dispone el Centro Nacional de Aceleradores cuenta con una amplia experiencia en labores de divulgación:

The work group of CNA Outreach Program is:

- D. Jerónimo Castilla Guerra. Coordinador del Programa
- D. Sergio David León Dueñas. Técnico de Divulgación Científica y Comunicación
- D^a. Inmaculada Díaz Francés. Becaria de divulgación
- D^a. Celia Falcón Carrero. Becaria de divulgación
- D^a. Elisa Jiménez Ortega. Becaria de divulgación
- D. José Antonio Galván Moreno. Becario de divulgación
- D. Jesús Herrera García. Becario de divulgación

6.3 Actividades / Activities

En este apartado se muestra toda la actividad llevada a cabo por la Unidad de Divulgación a lo largo de los años 2009 y 2010:

In this section, it is shown the activities which have been developed by Outreach Group during 2009 and 2010:

6.3.1 Año 2009 / Year 2009

Feria de la Ciencia de Sevilla (mayo 2009-Sevilla). Tuvo lugar durante los días 14, 15 y 16 de mayo en el Pabellón de los Descubrimientos de la Isla de la Cartuja, con una asistencia aproximada de 1000 personas a lo largo de la feria. Esta actividad consistió en el desarrollo de juegos y actividades con niños y jóvenes para tratar de acercarlos al mundo de la ciencia, y en la muestra de los distintos trabajos que se llevan a cabo en el Centro Nacional de Aceleradores, así como funcionamiento y utilidad de los aceleradores de partículas.

Semana de la Ciencia y Tecnología (noviembre 2009-Sevilla). Se extendió desde el día 9 hasta el 20 de noviembre en las instalaciones del CNA. Se contó con una asistencia de en torno a 300 visitantes. El objetivo de estas visitas es tratar de abrir el mundo de los aceleradores a la ciudadanía en general.

Exposición Fotográfica Peter Ginter y el CERN (diciembre 2009-Sevilla). Se ha desarrollado en la Calle San Fernando de Sevilla, junto al Rectorado, desde el día 30 de noviembre hasta el 11 de diciembre. El objetivo de esta exposición ha sido tratar de mostrar al público el trabajo que se realiza en el CERN y, concretamente, el nuevo acelerador de hadrones, LHC, situado en Ginebra. Esta muestra llegó a España de la mano del Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN), gestionado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Programa anual de visitas “Visítanos y Conciénciate” (enero-diciembre 2009-Sevilla). A lo largo del año 2009 se han efectuado un total de 32 visitas con un número cercano a los 1200 visitantes.

Elaboración de material divulgativo. Carteles promocionales del programa de divulgación del CNA: “Visítanos y Conciénciate” e infantiles con nuestra mascota, Superprotón. Merchandising con material variado: camisetas, bolígrafos, carpetas. Elaboración de tests y juegos de dibujos infantiles.

Sevilla Science Fair (May 2009-Sevilla). It was held on 14th, 15th and 16th of May at the Discovery Pavilion of the Isla de la Cartuja, with approximately 1000 visitants. This exposure developed games and activities with children and young people in order to approach science to people and to show the CNA research as well as the particles accelerators operation and utility.

Science and Technology Week (November 2009-Sevilla). It was held between 9th and 20th of November in CNA facilities with 300 visitants.

Peter Ginter and CERN Photographic Exhibition (December 2009-Sevilla). It has been developed in San Fernando St. in Sevilla, next to the Rectorate, between 30th of November and 11st of December. The aim of this exhibition has been to show to public CERN accelerators and, in particular, the new hadron accelerator, LHC, located in Geneva. This exposure arrived at Spain by the Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN), managed by the Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), and with the collaboration of Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Annual visits Program “Visítanos y Conciénciate” (January-December 2009-Seville). Throughout 2009, CNA has been visited by 32 centers with 1200 visitants.

Preparation of educational material. CNA Outreach Program promotional poster: "Visítanos y Conciénciate" and a new poster for children. Varied merchandising: t-shirts, pens, folders. New tests and children's drawings games.

6.3.2 Año 2010 / Year 2010

Feria de la Ciencia (mayo 2010-Sevilla). Tuvo lugar durante los días 6, 7 y 8 de mayo en el Pabellón de los Descubrimientos de la Isla de la Cartuja, con una asistencia aproximada de 1500 personas a lo largo de la feria. Esta actividad consistió en, el desarrollo de juegos y actividades con niños y jóvenes para tratar de acercarlos al mundo de la ciencia, y en la muestra de los distintos trabajos que se llevan a cabo en el Centro Nacional de Aceleradores, así como funcionamiento y utilidad de los aceleradores de partículas.

Semana de la Ciencia y Tecnología (noviembre 2010-Sevilla). Se extendió desde el día 8 hasta el 20 de noviembre en las instalaciones del CNA. Se contó con una asistencia de en torno a 300 visitantes. El objetivo de estas visitas es tratar de abrir el mundo de los aceleradores a la ciudadanía en general.

Programa de Cooperación Territorial de Rutas Científicas, "Andalucía a tope"(octubre y noviembre 2010-Sevilla). Este programa está cofinanciado por el Ministerio de Educación de España y está destinado a grupos de alumnos de Bachillerato y Ciclos Formativos de Grado Medio de centros públicos educativos españoles. Nos han visitado 10 centros a lo largo de los meses de octubre y noviembre de Aragón, Cantabria, Castilla la Mancha, Marruecos, Comunidad Valenciana, La Rioja, Comunidad de Madrid, Comunidad Murciana y Navarra con aproximadamente 300 visitantes.

Colaboración con el Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN) y el Laboratorio de Radiaciones Ionizantes (LRI). Colaboración en la Feria Empírika de Salamanca a lo largo del mes de noviembre de 2010 en Salamanca como la primera Feria Iberoamericana de la Ciencia y la Tecnología y la Innovación.

Programa anual de visitas "Visítanos y Conciénciate" (enero-diciembre 2010-Sevilla). A lo largo del año 2010 se han efectuado un total de 35 visitas con un número cercano a los 1400 visitantes.

Elaboración de material divulgativo. Carteles sobre aceleradores, técnicas y aplicaciones de la investigación del CNA. Una nueva presentación para las visitas. Merchandising con material variado: camisetas, bolígrafos, portaminas, llaveros y bolsas. Elaboración de nuevos tests y juegos para los visitantes de menor edad, con el objetivo de acercarlos la Ciencia de un modo más ameno y divertido.

Actualización de la web. Puesta al día de la web de Divulgación Científica del CNA con la inclusión de nuevos juegos.

Science Fair (May 2010-Sevilla). It was held during on the 6th, 7th and 8th of May at the Discovery Pavilion of the Isla de la Cartuja, with approximately 1500 visitants. This exposure developed games and activities with children and young people in order to approach science to people and to show the CNA research as well as the particles accelerators operation and utility.

Science and Technology Week (November 2010-Sevilla). It was held between 8th and 20th of November in CNA facilities with 300 visitants. The purpose of these visits is to try to approach the particles accelerators to general public.

Scientific Route Territorial Cooperation Program (October and November 2010-Sevilla). This program is cofinanced by the Ministerio de Educación de España and it is intended for students groups from universities and public Spanish schools. We have been visited by 10 centers from Aragon, Cantabria, Castilla La Mancha, Morocco, Comunidad Valenciana, La Rioja, Madrid, Murcia and Navarra with approximately 300 visitors.

Collaboration with Centro Nacional de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN) and Laboratorio de Radiaciones Ionizantes (LRI). Collaboration in Salamanca Empirika Fair in November 2010, as the first Science, Technology and Innovation Ibero-American Fair.

Annual visits Program “Visítanos y Conciénciate” (January-December 2010-Seville). Throughout 2010, CNA has been visited by 35 centers with 1500 visitants.

Preparation of educational material. CNA techniques, accelerators and applications posters New CNA visits presentation. Varied merchandising: t-shirts, pens, folders. New tests and games for young visitors.

Update web. CNA Outreach website has been updated with new games.

Entre otras actividades, el grupo de Divulgación Científica ha colaborado en el desarrollo de los seminarios del CNA; la reunión entre CDTI, Agencia IDEA y CNA organizado por el CNA sobre las vías de financiación de la colaboración entre organismos de investigación y las empresas españolas; el Workshop Internacional “Aplicaciones biomédicas del micro-PET”, organizado por el CNA entre los días 20 y 21 de septiembre.

También ha participado en cursos tales como el “Programa CONSOLIDER y el periodismo científico” entre los días 1 y 2 de julio, organizado por la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) y el “XIII Seminario Internacional sobre Periodismo y Medioambiente” entre los días 30 de septiembre y 2 de octubre, organizado por ENRESA.

Other activities, in which the Outreach group has collaborated, are the development of the CNA seminars; CDTI, Agencia IDEA and CNA meeting about funding collaboration between research organizations and Spanish companies on 17th of May ; the

International Workshop "Biomedical applications of micro-PET", organized by the CNA between 20th and 21st of September.

Also we have participated in courses such as " Programa CONSOLIDER y el Periodismo Científico " between 1st and 2nd of July, organized by the Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) and the " XIII Seminario Internacional sobre Periodismo y Medioambiente " between 30th of September and 2nd of October, organized by ENRESA.

7. Estadísticas de uso de los Aceleradores / Accelerators Statistics

En esta sección se encuentra disponible la información relacionada con la estadística de uso de cada acelerador a lo largo de los años 2009 y 2010.

In this section is available the information about accelerators use statistics in 2009 and 2010.

7.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

<p>Año 2009: Días laborables útiles: 216 Días en uso: 87 (40%) Días de mantenimiento: 105 (49%) Días sin uso: 24 (11%)</p>	<p><i>Year 2009: Total work time: 216 days In use: 87 (40%) Maintenance: 105 (49%) Not in use: 24 (11%)</i></p>
--	---

<p>Año 2010: Días laborables útiles: 217 Días en uso: 111 (51%) Días de mantenimiento: 37 (17%) Días sin uso: 69 (32%)</p>	<p><i>Year 2010: Total work time: 217 days In use: 111 (51%) Maintenance: 37 (17%) Not in use: 69 (32%)</i></p>
--	---

7.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV (AMS) / 1 MV Tandetron Accelerator (AMS)

<p>Año 2009: Días laborables útiles: 238 Días en uso: 57 (24%) Días de mantenimiento: 40 (17%) Días sin uso: 149 (59%)</p>	<p><i>Year 2009: Total work time: 238 days In use: 57 (24%) Maintenance: 40 (17%) Not in use: 149 (59%)</i></p>
--	---

<p>Año 2010: Días laborables útiles: 226 Días en uso: 81 (36%) Días de mantenimiento: 57 (25%) Días sin uso: 88 (39%)</p>	<p><i>Year 2010: Total work time: 226 days In use: 81 (36%) Maintenance: 57 (25%) Not in use: 88 (39%)</i></p>
---	--

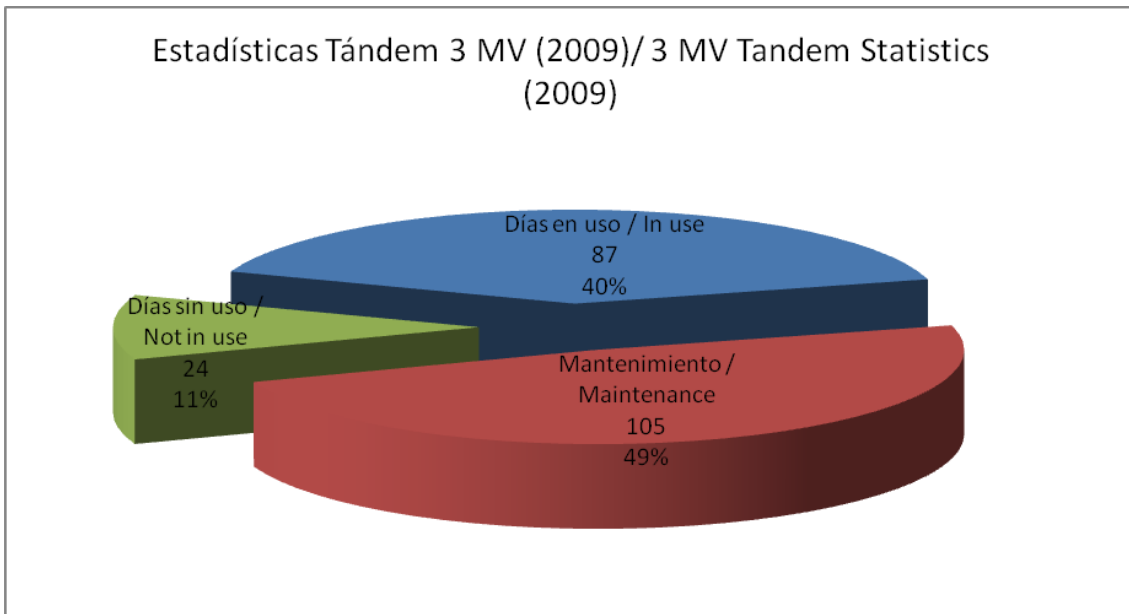
7.3 Laboratorio de Producción de FDG del Ciclotrón / Cyclotron-FDG Production Laboratory

<p>Año 2009: Horas totales de tiempo de haz: 1743'5 horas Actividad total de ¹⁸F producida: 130 TBq Actividad total de ¹⁸F-FDG sintetizada: 60'66 TBq</p>	<p><i>Year 2009:</i> <i>Total beam time: 1743'5 hours</i> <i>Total ¹⁸F activity produced: 130 TBq</i> <i>Total ¹⁸F-FDG activity produced: 60'66 TBq</i></p>
---	--

<p>Año 2010: Horas totales de tiempo de haz: 2444'5 horas Actividad total de ¹⁸F producida: 177'38 TBq Actividad total de ¹⁸F-FDG sintetizada: 96'72 TBq</p>	<p><i>Year 2010:</i> <i>Total beam time: 2444'5 hours</i> <i>Total ¹⁸F activity produced: 177'38 TBq</i> <i>Total ¹⁸F-FDG activity produced: 96'72 TBq</i></p>
--	---

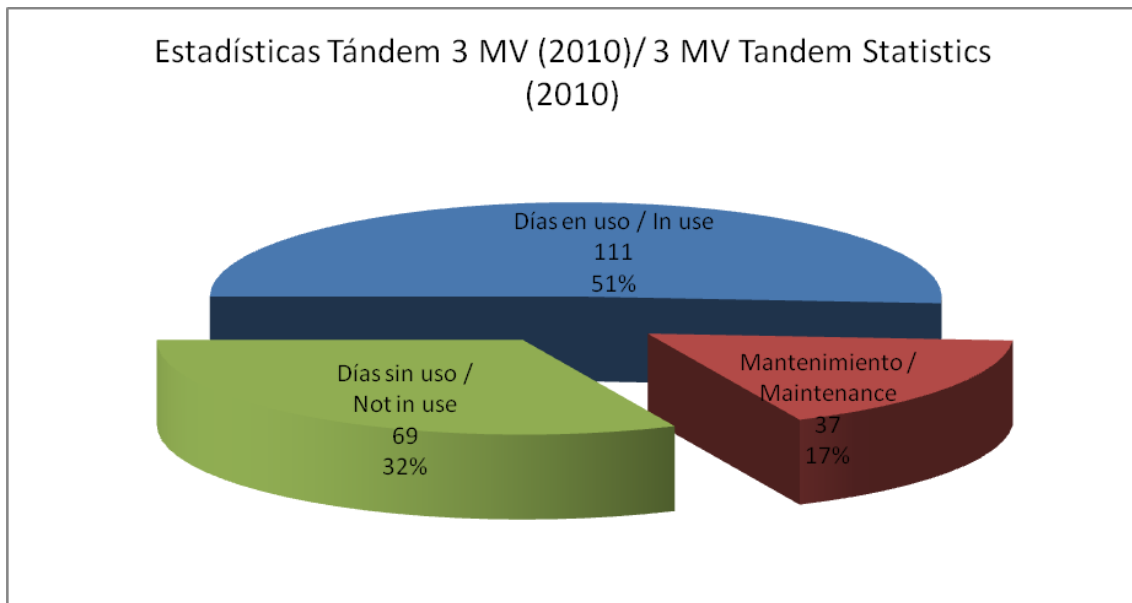
7.4 Gráficos estadísticos de los Aceleradores Tándem de 3 MV y Tandetrón de 1 MV / 3 MV Tandem and 1 MV Tandetron Accelerators statistics graphics

7.4.1 Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator



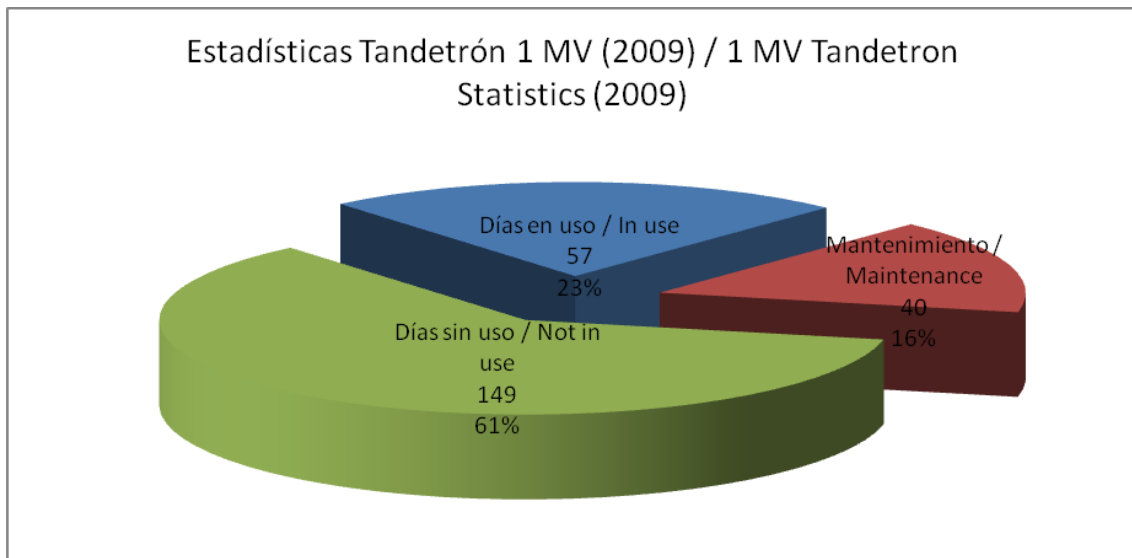
Estadísticas de uso del Acelerador Tándem de 3 MV en el año 2009 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2009)

7. Estadísticas de uso de aceleradores / Accelerators Statistics

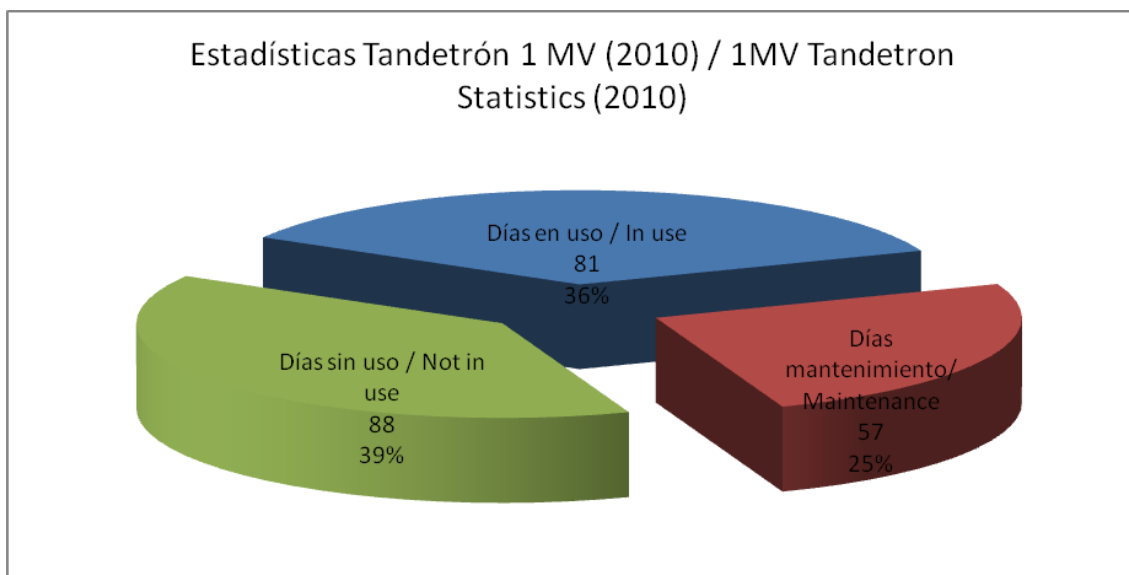


Estadísticas de uso del Acelerador Tándem de 3 MV en el año 2010 / 3 MV Tandem Accelerator Statistics (2010)

7.4.2 Acelerador Tandetrón de 1 MV / 1 MV Tandetron Accelerator



Estadísticas de uso del Acelerador Tandetrón de 1 MV en el año 2009 / 1 MV Tandetron Accelerator Statistics (2009)



Estadísticas de uso del Acelerador Tandetrón de 1 MV en el año 2010 / 1 MV Tandetron Accelerator Statistics (2010)

8. Tarifas por prestaciones de Servicios / Prices of the Services offered by CNA

El uso de las instalaciones y las técnicas del CNA está sometido a tarifas. De acuerdo a las decisiones tomadas en Junta Rectora, se han ido aprobando algunas tarifas de uso del Centro, que son las que siguen.

En proceso de aprobación están otras que aparecerán progresivamente en la página web del CNA y, consecuentemente, en memorias posteriores.

Prices for the use of the facilities and the techniques offered have been approved by the CNA Governing Board. Updated tariffs and services may also be checked visiting the CNA web page.

8.1 Uso de tiempo de haz en el Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator beam time

Servicio medidas rutinarias / Existing services		Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
RBS con He ²⁺ / RBS with He ²⁺		33 €	55 €	110 €
PIXE con H ⁺ / PIXE with H ⁺		33 €	55 €	110 €
NRA (C, N, O)		33 €	55 €	110 €
Canalización con RBS / RBS Channeling		100 €	330 €	550 €
ERDA (H)		50 €	110 €	165 €
PIXE y RBS con microsonda / PIXE and RBS with microprobe	Obtención de mapeos elementales / Multielemental mapping	100 €	330 €	550 €
Uso de acelerador Tándem por día / Day of use of Tandem Accelerator		400 €	600 €	700 €

Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- Esta tarifa es aplicable a series de hasta cinco medidas realizadas en las mismas condiciones (tipo de haz, calibración y configuración de línea).
- Para cada experimento en las mismas condiciones (tipo de haz, calibración y configuración de línea) se cobrará un mínimo de 5 medidas.
- Las tarifas incluyen la preparación del experimento, el análisis de los espectros y la elaboración de informes.
- A partir de 20 medidas en las mismas condiciones se realizará un descuento de un 10%.
- El estudio de casos especiales o de un número elevado de medidas conlleva una tarifa a convenir.
- Estas tarifas no incluyen la preparación de las muestras, si estas lo requieren. Se dispone de los siguientes servicios de preparación:
 - 1.- Molienda y homogeneización: 10 € / muestra
 - 2.- Prensado: 10 € / muestra
 - 3.- Pulido: 10 € / muestra
 - 4.- Calcinación: 10 € / muestra
- I.V.A. no incluido.

Notes:

- *Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía.*
- *Group 2 prices for other public research institutions.*
- *Group 3 prices for companies and other private organizations.*
- *These prices are valid for up to five measurements that are carried out under the same conditions (beam, calibration and line configuration).*
- *Five measurements will be charged in each experiment carried out under the same conditions (beam, calibration and line configuration).*
- *The experiment set-up, spectrum analysis and reportings are included in the price.*
- *A discount of 10% will be done from 20 measured under the same conditions.*
- *Ask for quotes in case of service request is not shown here or many measurements.*
- *Prices do not include sample preparation. The following services also are offered:*
 - 1.- *Grinding and homogenization: 10 € / sample*
 - 2.- *Pressing: 10 € / sample*
 - 3.- *Polishing: 10 € / sample*
 - 4.- *Calcining: 10 € / sample*
- *Prices do not include V.A.T.*

8.2 Análisis de Espectros y elaboración de Informes/ Data Analysis and Reports

	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Precio por hora de tratamiento de datos / €/hour for data processing	15,60 €	31,20 €	41,60 €

8.3 Medidas de ¹⁴C y Datación / ¹⁴C Measurements and Radiocarbon Dating

Servicio de medida de ¹⁴ C / ¹⁴ C Measurements	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Preparación de la muestra / Sample preparation	65,52 €	109,20 €	166,40 €
Medida y análisis de resultados / Measurement and data analysis	98,28 €	163,80 €	249,60 €
Proceso completo / Whole analysis	163,80 €	273 €	416 €

Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- La preparación de la muestra incluye la toma de la muestra en el laboratorio, y la aplicación de todos los procesos físico-químicos necesarios para la obtención del material utilizado en la medida (grafito).
- La medida y análisis de resultados incluye la determinación del cociente isotópico ¹⁴C/¹²C mediante el acelerador Tandetrón del CNA, así como la aplicación de todas las correcciones necesarias para la obtención del dato definitivo.
- A partir de 10 muestras medidas se aplicará un descuento de un 10%.
- El estudio de casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- En el caso de llevarse a cabo exclusivamente la medida y análisis de resultados con muestras preparadas en otros laboratorios, no se podrá certificar el resultado obtenido.
- I.V.A. no incluido.

Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía.
- Group 2 prices for other public research institutions.
- Group 3 prices for companies and other private organizations.
- The sample preparation includes sample withdrawal and the graphitization procedure.
- The measurement and data analysis includes the determination of the $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio using the CNA Tandetron and the corrections for gaining the final results.
- There is a 10 % discount for every 10 measurements. Ask for quotes if you require more measurements.
- Ask for quotes in case of service request are not shown here.
- Measurements and data analysis of samples that have been prepared in other labs will not be certified by CNA.
- Prices do not include V.A.T.

8.4 Uso del Animalario y del Micro-PET / Animal PET Scanning and animal cabinet

Servicio integrado del animalario y estudio PET / Animal PET scanning	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Ratón: Imágenes crudas sin análisis del estudio / Mouse: Raw images without data analysis	104 €	187,20 €	416 €
Rata-Octodón: Imágenes crudas sin análisis del estudio / Rat-Octodon: Raw images without data analysis	124,80 €	208 €	436,80 €

Notas:

- Las tarifas no incluyen los costes de los animales necesarios para realizar los estudios, para los que se aplicarán las tarifas aprobadas a tal efecto.
- En el caso que la Universidad no dispusiera de los mismos, estos se regirían por los precios de coste determinados por los posibles proveedores de los mismos junto a los costes de envío y certificado de Sanidad pertinente.

Notes:

- Prices do not include the cost of precised animals for the research. The approved prices will be applied, in this case.
- If University cannot provide them, we will apply the cost, adding the shipping costs and appropriate Health Certificate.

8.5 Postratamiento de las imágenes, análisis y elaboración de informes / Image processing, data analysis and reports

Precio por hora / Prices per hour	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Ratón: Imágenes procesadas con análisis del estudio / Mouse: Image processing with data analysis	15,60 €	31,20 €	41,60 €
Rata-Octodón: Imágenes procesadas con análisis del estudio / Rat-Octodon: Image processing with data analysis	20,80 €	36,40 €	46,80 €

Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y de la Junta de Andalucía (Ej. Servicio Andaluz de Salud: SAS).
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- Estas tarifas son aplicables a series de hasta cinco medidas realizadas en las mismas condiciones, a partir de las cuales el coste y la disponibilidad de hora de PET se deberá convenir con la autoridad competente del centro.
- Las tarifas incluyen la preparación del experimento para el grupo 1. Para los 2 y 3 grupos se añadirá un suplemento único de 60 € por este concepto. Dicho suplemento se aplicará a cada serie de medidas realizadas en las mismas condiciones.
- El precio por 10 medidas rutinarias llevará un descuento de un 10%. Las tarifas por un número superior de medidas serán a convenir.
- El estudio de casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- Estas tarifas se refieren al tiempo de uso del microPET del CNA y no incluyen la cuantificación de los resultados experimentales.
- Existe disponibilidad para el postprocesado de la imagen. Su uso conlleva unas tarifas a convenir.
- I.V.A. no incluido

Notes:

- Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía (for instance, Servicio Andaluz de Salud: SAS).
- Group 2 prices for other public research institutions.
- Group 3 prices for companies and other private organizations.
- These prices are valid for up to five measurements that are carried out under the same conditions. Ask for quotes if you require more measurements.
- For group 1, the experiment set-up is included in the price. However, groups 2 and 3 will be charged a 60 € supplement for this service. This supplement applies to measurements done under the same conditions.
- There is a 10 % discount for every 10 measurements. Ask for quotes if you require more measurements.
- Ask for quotes in case of service request is not shown here.
- Prices only include the use of the microPET. Quantification of experimental results is not included in the price.
- Prices do not include V.A.T.

8.6 Análisis de Isótopos de Plutonio, ²³⁹Pu y ²⁴⁰Pu, por AMS / Pu isotopes analysis, ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu, by AMS

Servicio de medidas de ²³⁹ Pu y ²⁴⁰ Pu por AMS / Measurements Service ²³⁹ Pu and ²⁴⁰ Pu by AMS	Grupo 1 / Group 1	Grupo 2 / Group 2	Grupo 3 / Group 3
Preparación de la muestra ¹ / Sample preparation	57,33 €	95,55 €	145,60 €
Preparación del cátodo ² / Cathode preparation	8,19 €	13,65 €	20,80 €
Medida por AMS de ²³⁹ Pu ³ / Measurements Service ²³⁹ Pu by AMS	90,09€	150,15 €	228,80 €
Medida por AMS de ²³⁹ Pu y ²⁴⁰ Pu ³ / Measurements Service ²³⁹ Pu and ²⁴⁰ Pu by AMS	204,75 €	341,25 €	520 €
Proceso completo ⁵ / Whole process	262,08 €	436,80 €	665,60 €

¹ Incluye el proceso de extracción del plutonio a partir de la muestra original y la preparación del cátodo para su medida por AMS.

² Incluye únicamente la preparación del cátodo para su medida por AMS, a partir de una disolución con el plutonio ya purificado.

³ Incluyen el análisis de datos.

⁵ Incluye la preparación de la muestra, su medida por AMS y el análisis de datos.

¹ *The plutonium extraction from the original sample and the cathode preparation for measurement by AMS are included.*

² *The cathode preparation for AMS measurement, from a solution with the purified plutonium is included only.*

³ *Data analysis is included.*

⁵ *Sample preparation, its measurement by AMS and data analysis are included.*

Notas:

- Las tarifas de grupo 1 se refieren a Centros de la Universidad de Sevilla, Centros del CSIC y de la Junta de Andalucía.
- Las tarifas del grupo 2, a otros Organismos Públicos de Investigación.
- Las tarifas del grupo 3, son para empresas y otros organismos privados.
- En el caso de muestras preparadas en otros laboratorios, el CNA no certificará las concentraciones de ²³⁹Pu y ²⁴⁰Pu obtenidas.
- Se podrán procesar en el CNA muestras de suelos, sedimentos y aguas. El CNA estudiará cada problema particular para establecer la cantidad de muestra necesaria para cada análisis.
- Las muestras preparadas en otros laboratorios deben ser trazadas con ²⁴²Pu, en el caso en el que se requieran las concentraciones de ²³⁹Pu y ²⁴⁰Pu. El CNA estudiará cada caso particular para establecer las cantidades de trazador necesarias.
- El estudio de otros casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- A partir de 10 muestras medidas se aplicará un descuento de un 10 %.
- IVA no incluido

Notes:

- *Group 1 prices for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía.*
- *Group 2 prices for other public research institutions.*
- *Group 3 prices for companies and other private organizations.*
- *In case of samples prepared in other laboratories, the CNA will not certify the concentrations of ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu obtained.*
- *Samples of soil, sediment and water can be processed in the CNA. CNA studies each particular problem to define the amount of sample needed for each analysis.*
- *The samples prepared in other laboratories must be drawn with ²⁴²Pu, if they are required concentrations of ²³⁹Pu and ²⁴⁰Pu. CNA will consider each individual case to establish the amounts of tracer required.*
- *There is an extra 10 % discount for every 10 measurements. In case of more measurements, please, ask for specific quotes.*
- *In case you request a service that is not shown here, please, ask for specific quotes.*

- Prices do not include V.A.T.