

1	ESTRUCTURA / ABOUT US	6
1.1	Dirección del Centro / <i>Directorate</i>	6
1.2	Junta Rectora / <i>Governing Board</i>	6
1.3	Comité Científico / <i>Scientific Committee</i>	7
1.4	Personal / <i>Personnel</i>	8
1.4.1	Unidad Técnica y de Servicios / <i>Administration and Technical Unit</i>	8
1.4.2	Unidad de Investigación de Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / <i>Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit</i>	8
1.4.3	Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / <i>Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit</i>	8
1.4.4	Unidad de Investigación en Física Nuclear Experimental Básica / <i>Basic Nuclear Physics Research Unit</i>	9
1.4.5	Unidad de Investigación en Análisis de Contaminantes del Medio Terrestre mediante Técnicas Basadas en Aceleradores (ACOMETA) / <i>Analysis of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-Based Techniques. ACOMETA Research Unit</i>	9
1.4.6	Unidad Ciclotrón / <i>Cyclotron Unit</i>	10
1.4.7	Personal de IBA Molecular en el CNA / <i>IBA Molecular Staff at CNA</i>	10
1.4.8	Visitantes Científicos / <i>Visiting Scientists</i>	10
1.5	Datos del Centro / <i>General Information about CNA</i>	11
2	INFRAESTRUCTURAS / INFRASTRUCTURE	12
2.1	Acelerador Tándem de 3 MV / <i>3 MV Tandem Accelerator</i>	13
2.1.1	Líneas de Haz / <i>Beam Lines</i>	15
2.1.2	Técnicas Disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / <i>Available techniques at the 3 MV Tandem Accelerator</i>	17
2.1.3	Laboratorio de Fluorescencia / <i>X-Ray Fluorescence (XRF) Laboratory</i>	20
2.2	Ciclotrón / <i>Cyclotron</i>	20
2.2.1	Línea de Haz de Experimentación / <i>Experimental Beam Line</i>	22
2.2.2	Laboratorios de Radiofarmacia PET Asociados al Ciclotrón / <i>PET Radiopharmacy Laboratories</i>	24
2.2.3	Tomógrafo PET y micro-TAC para Pequeños Animales / <i>Small Animal PET Tomograph and micro-CT Scanner</i>	28
2.3	Acelerador Tándem de 1 MV con Espectrómetro De Masas / <i>1 MV Tandem Accelerator with Mass Spectrometer</i>	31
2.3.1	Servicio de Datación por Radiocarbono / <i>Radiocarbon Dating Service</i>	34
2.3.2	Laboratorio de Preparación de Muestras de ¹⁴ C / <i>CNA Radiocarbon Laboratory (¹⁴C)</i>	35
3	INVESTIGACIÓN / RESEARCH	37
3.1	Unidad de Investigación en Técnicas de Análisis y Modificación de Materiales con Haces de Iones / <i>Ion Beam Analysis and Modification of Materials Research Unit</i>	37
3.1.1	Ciencia de Materiales / <i>Material Science</i>	37
3.1.2	Medio Ambiente / <i>Environmental Sciences</i>	39

3.1.3 Patrimonio Cultural / <i>Cultural Heritage</i>	40
3.2 Unidad de Investigación en Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) / <i>Accelerator Mass Spectrometry (AMS) Research Unit</i>	43
3.2.1 Medida de ^{10}Be / ^{10}Be Measurements	45
3.2.2 Medida de ^{14}C / ^{14}C Measurements	46
3.2.3 Medida de ^{129}I / ^{129}I Measurements	48
3.2.4 Medida de ^{239}Pu y ^{240}Pu / ^{239}Pu and ^{240}Pu Measurements	50
3.3 Unidad de Investigación de Física Nuclear Experimental Básica / <i>Basic Nuclear Physics Research Unit</i>	51
3.3.1 Física de Núcleos Exóticos en Grandes Instalaciones / <i>Exotic Nuclei Physics at Large Scale Facilities</i>	51
3.3.2 Desarrollo de Instrumentación en el CNA / <i>Hardware Development at CNA</i>	53
3.4 Unidad de Investigación de Análisis de Contaminantes del Medio Físico mediante Técnicas Basadas en Aceleradores (ACOMETA) / <i>Analysis of Pollutants of the Physical Environment through Accelerator-Based Techniques. ACOMETA Research Unit</i>	58
4 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA / <i>SCIENTIFIC OUTPUT</i>	62
4.1 Participación en Proyectos / <i>Research Projects</i>	62
4.2 Capítulos de Libros / <i>Book Chapters</i>	67
4.3 Artículos / <i>Articles in Peer-Reviewed Journals</i>	67
4.3.1 Revistas Nacionales / <i>National Journals</i>	67
4.3.2 Revistas Internacionales / <i>International Journals</i>	68
4.4 Otras Publicaciones / <i>Other Publications</i>	76
4.5 Participación en Congresos / <i>Papers Presented at Conferences and Meetings</i> ..	77
4.5.1 Congresos Nacionales / <i>National Meetings</i>	77
4.5.2 Congresos Internacionales / <i>International Meetings</i>	78
4.6 Tesis Doctorales / <i>Theses</i>	86
4.7 Organización de Congresos y Cursos / <i>Meetings and Courses at CNA</i>	86
4.8 Organización de Conferencias y Seminarios (Coloquios en el CNA) / <i>Conferences and Seminars at CNA</i>	88
5 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN / <i>PROGRAMMES AND ACTIVITIES FOR THE GENERAL PUBLIC</i>	90
6 APÉNDICES / <i>APPENDICES</i>	95
6.1 Instituciones Usuaras del CNA durante 2007/2008 / <i>Collaborating Institutions and Customers of CNA in 2007/2008</i>	95
6.2 Estadísticas de Uso de los Aceleradores / <i>Accelerator Statistics</i>	97
6.2.1 Acelerador Tándem 3 MV / <i>3 MV Tandem Accelerator</i>	97
6.2.2 Acelerador Ciclotrón-Laboratorio de Producción de FDG / <i>Cyclotron-FDG Production Lab</i>	97
6.2.3 Acelerador Tándem de 1 MV para AMS / <i>1 MV Tandem Accelerator for AMS</i> ..	98
6.3 Tarifas por Prestaciones de Servicios / <i>Prices of the Services Offered by CNA</i>	103

6.3.1	Uso de Tiempo de Haz en el Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Beam Time	103
6.3.2	Análisis de Espectros y Elaboración de Informes/ Data Analysis and Reports.....	105
6.3.3	Medidas de ^{14}C y Datación / ^{14}C Measurements and Radiocarbon Dating	105
6.3.4	Uso del Animalario y del Micro-PET / Animal PET Scanning.....	107
6.3.5	Postratamiento de las Imágenes, Análisis y Elaboración de Informes / Image Processing, Data Analysis and Reports	108

INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Aceleradores (CNA) nace por acuerdo de la Universidad de Sevilla, la Junta de Andalucía y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Está gobernado por una Junta Rectora de la que forman parte las tres instituciones.

Según sus estatutos, la misión del CNA es la investigación en el campo de los Aceleradores de Partículas y sus aplicaciones, facilitando el acceso de sus instalaciones a investigadores y empresas y cooperando con ellos en el desarrollo de proyectos científicos y tecnológicos.

Para llevar a cabo estas funciones el CNA dispone de un acelerador tándem van de Graaff de 3 MV, un ciclotrón que proporciona protones de 18 MeV y deuterones de 9 MeV y un Espectrómetro de Masas con Acelerador de tipo tándem Cockcroft-Walton de 1 MV. Junto a ellos, el CNA cuenta con distintos laboratorios anejos para la preparación de muestras o la realización de experimentos complementarios a los que se llevan a cabo en los diferentes aceleradores.

Por mandato estatutario y por vocación del personal que lo formamos, el CNA es un Centro abierto a todas aquellas instituciones públicas y privadas, Universidades, empresas, etc. interesadas en la infraestructura de investigación que posee. Además, el CNA ha recibido recientemente la consideración de Instalación Científico Técnica Singular. Ello nos motiva, aún más si cabe, a volcarnos en adecuar nuestras instalaciones a las necesidades cada vez más exigentes de la creciente comunidad de usuarios del CNA.

Presentamos en esta memoria las actividades llevadas a cabo en el CNA durante el bienio 2007-2008. Describimos la estructura de gobierno del Centro, la de personal, la infraestructura científica que tenemos, sus aplicaciones y, por supuesto, la producción científica del CNA, que es la de sus Unidades de Investigación. Cabe decir que existe, además, producción científica generada con la infraestructura del Centro por investigadores no vinculados al mismo y que no consta en la relación que aportamos. La divulgación científica es también una actividad importante en el Centro ya que, en el fondo, es otra de sus funciones. Dedicamos una sección a recopilar los trabajos realizados en esta área. Finalmente, añadimos algunos apéndices en los que constan las estadísticas de uso de los aceleradores, las tarifas de prestación de servicios del CNA y una relación de las instituciones que con regularidad han realizado trabajos de investigación en el Centro, durante el periodo referido.

Desde mediados de 2008 tengo el honor de dirigir este Centro, recogiendo el testigo del Prof. Manuel García León, director entre 2005 y 2008, y del Prof. M. A. Respaldiza, director desde el inicio del centro hasta 2005. La labor de ambos ha sido sin duda encomiable, ya que han conseguido, con unos medios muy limitados, que el CNA sea actualmente el centro de referencia a nivel nacional en técnicas de aceleradores.

El periodo que cubre esta memoria (2007-2008) ha correspondido a una consolidación de las fortalezas del centro, así como un crecimiento muy importante de nuevas posibilidades. Las siete líneas del tándem están plenamente operativas, y se ha

procedido a la digitalización de la consola de operación. La producción de radionucleidos PET en el ciclotrón y la de los radiofármacos marcados con los mismos, se ha realizado de forma continua. El espectrómetro de masas ha funcionado de forma satisfactoria, permitiendo medidas por AMS de diversos radionúclidos. En concreto, se ha consolidado el servicio de datación por ^{14}C , asociado al espectrómetro, con una demanda creciente por usuarios externos.

El cumplimiento de la misión del CNA no es posible sin la existencia de un equipo humano competente que con su esfuerzo hace posible esta realidad. El personal científico del centro ha de combinar la realización de su propia investigación con el apoyo a los usuarios externos. El personal técnico del centro, muy reducido dada la complejidad de las instalaciones, suple con su dedicación la falta de medios personales. El personal administrativo cubre con eficacia las dificultades derivadas del carácter mixto del centro y la gestión de los fondos de investigación provenientes de fuentes diversas.

Hay que reconocer, por último, a Alonso Ramón Pinto, Francisco Argüello, Rafael Herdugo y M^a Carmen Jiménez, sobre los que ha descansado la mayor parte del trabajo de edición de este documento.

Joaquín Gómez Camacho

Director del CNA

1 ESTRUCTURA / ABOUT US

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 las 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 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.

1.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO / DIRECTORATE

Director: **Joaquín José Gómez Camacho**

Subdirector Área Económica: **Jerónimo Castilla Guerra**

Subdirector Técnico: **Celestino Ignacio Sánchez Angulo**

1.2 JUNTA RECTORA / GOVERNING BOARD

Carmen Peláez Martínez, Vicepresidenta de Investigación Científica y Técnica (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

Asunción Fernández Camacho, Directora del Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla (Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

Manuel García León, Vicerrector de Investigación (Universidad de Sevilla).

Luis Onieva Giménez, Vicerrector de Transferencia Tecnológica (Universidad de Sevilla).

Francisco Andrés Triguero Ruiz, Secretario General de Universidades, Investigación y Tecnología (Junta de Andalucía).

Susana Guitart Jiménez, Directora General de Investigación, Tecnología y Empresa (Junta de Andalucía).

Joaquín José Gómez Camacho, Director del CNA.

Jerónimo Castilla Guerra, Gerente del CNA (con voz pero sin voto).

1.3 COMITÉ CIENTÍFICO / *SCIENTIFIC COMMITTEE*

Josefa Capel Martínez, Profesora Titular de Universidad, Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Granada.

José Antonio Odriozola Gordón, Catedrático de Universidad, Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Sevilla, Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla.

Ricardo Vázquez Albertino, Jefe del Servicio de Medicina Nuclear, Hospital Virgen del Rocío, Sevilla.

Emilio Galán Huertos, Catedrático de Universidad, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.

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

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.

Alberto Figueras Dagá, Profesor de Investigación, Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Daniel Cano Ott, Investigador Titular, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

1.4 PERSONAL / PERSONNEL

1.4.1 Unidad Técnica y de Servicios / *Administration and Technical Unit*

D. Jerónimo Castilla Guerra, Subdirector del Área Económico-Administrativa.
D. Celestino Ignacio Sánchez Angulo, Subdirector del Área Técnica.
D. Juan Ángel Labrador Bernal, Técnico Grado Medio Apoyo Docencia e Investigación
D. Antonio Manuel Casado Sola, Técnico Auxiliar de Laboratorio.
D. Arcadio Borrallo del Castillo, Administrativo.
D. Miguel Calderón Reyes, Auxiliar Administrativo.
D^a. Yolanda Morilla García, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
D^a. Isabel María García Orellana, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
D. Rafael Herdugo Contreras, Técnico Medio de Apoyo a la Investigación.
D. Ángel Jesús Romero Serrano, Técnico de Aceleradores.
D. Juan Carlos Mateos Frutos, Técnico de Aceleradores.
D^a. Inés Ortega Feliu, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.

1.4.2 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, Asesor Científico del CNA, Universidad de Sevilla.
D. Francisco José Ager Vázquez, Profesor del Departamento de Física Aplicada I, E.U.P, Universidad de Sevilla.
D^a. Blanca María Gómez Tubío, Profesora Titular, Departamento de Física Aplicada III, E.T.S Universidad de Sevilla.
D^a. María Ángeles Ontalba Salamanca, Contratado Doctor, Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura.
D. Francisco Javier Ferrer Fernández, Becario Predoctoral de Investigación del CNA.
D. Carlos Muñoz Luque, Becario Predoctoral de Investigación del CNA.
D. Francisco Javier García López, Contratado Doctor, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
D^a. Inés Ortega Feliu, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
D^a. Anabelle Kriznar, Contratada Posdoctoral de Proyecto.
D^a. Yolanda Morilla García, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación del CNA.
D^a. Isabel García Orellana, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación del CNA.

1.4.3 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. José María López Gutiérrez, Profesor Contratado Doctor, Departamento de Física Aplicada I, E.U.P Universidad de Sevilla.
D. José Luis Mas Balbuena, Profesor Contratado Doctor, Departamento de Física Aplicada I, E.U.P Universidad de Sevilla.

D. Francisco Javier Santos Arévalo, Contratado Posdoctoral de Proyecto.
 D. Alonso Ramón Pinto Gómez, Técnico Superior de Apoyo de Proyecto.
 D^a. Elena Chamizo Calvo, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
 D^a. Isabel Gómez Martínez. Técnico Superior de Apoyo de Proyecto.
 D. Aarón Ruiz Gómez, Becario FPI de Proyecto.
 D. Santiago Enamorado Báez, Becario FPI de Proyecto.
 D. José Manuel Gómez Guzmán, Becario FPI de Proyecto.
 D. Elis Holm, Investigador Contratado de la Universidad de Sevilla.
 D. Santiago Hurtado Bermúdez, 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.

1.4.4 Unidad de Investigación en Física Nuclear Experimental Básica / *Basic Nuclear Physics Research Unit*

D. Joaquín Gómez Camacho, Director del CNA, Profesor Titular, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
 D. José Manuel Espino Navas, Profesor Titular, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
 D^a. María Victoria Andrés Martín, Profesora Titular, Departamento de Física Atómica Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
 D. Marcos Álvarez, Universidad de Sevilla.
 D. Ismael Martel Bravo, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Huelva.
 D. Francisco Pérez Bernal, Universidad de Huelva.
 D. José Enrique García Ramos, Universidad de Huelva.
 D. Daniel Rodríguez Rubiales, Universidad de Huelva.
 D. Luis Armando Acosta Sánchez, Becario de Investigación, Universidad de Huelva.
 D. Ziad Abou-Haidar, Early Stage Researcher – Marie Curie.
 D^a.Begoña Fernández Martínez, Contratada de Proyecto.
 D. Francisco Javier Praena Rodríguez, Contratado Posdoctoral de Proyecto.
 D. Juan Pablo Fernández García, Becario FPI de Proyecto.

1.4.5 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. ACOMETA Research Unit*

D. Emilio Galán Huertos, Catedrático, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.
 D^a. Isabel González Díez, Profesora Titular, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.
 D. Antonio Romero Baena, Profesor Ayudante Doctor, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.

D^a. María López Pérez, Becaria de Investigación del CNA.
D. Juan Pedro Bolívar Raya, Universidad de Huelva.
D. Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, Universidad de Huelva.
D^a. Ana María Sánchez de la Campa Verdone, Universidad de Huelva.
D. Jesús Damián de la Rosa Díaz, Universidad de Huelva.
D. Juan Carlos Fernández Caliani, Universidad de Huelva.
D. José Enrique Martín Domínguez, Universidad de Huelva.
D. Sergio Rodríguez González, Universidad de Huelva.

1.4.6 Unidad Ciclotrón / *Cyclotron Unit*

D. Segundo Francisco García Argüello, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
D^a. María del Carmen Jiménez Ramos, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.
D^a. Nazaret López Muñoz, Técnico Superior de Apoyo a la Investigación.

1.4.7 Personal de IBA Molecular en el CNA / *IBA Molecular Staff at CNA*

D. Federico Moreno Jiménez, Director Técnico.
D. Alfonso Rodríguez Cámara, Técnico de Laboratorio, Responsable de Producción.
D. José Antonio Durán Suárez, Técnico de Laboratorio.
D. Lázaro García Pérez, Técnico de Operación y Mantenimiento de Ciclotrón.
D. Ildefonso Mazo Cabrera, Técnico de Producción.
D. Manuel Blasco Espinosa, Técnico de Producción.
D. Purificación López Martín, Administrativa.

1.4.8 Visitantes Científicos / *Visiting Scientists*

D. Colin Maden, Universidad de Glasgow, Reino Unido.
D. Vassili Alfimov, Universidad de Uppsala, Suecia.
D. Göran Possnert, Universidad de Uppsala, Suecia.
D. Héctor Hernández Mendoza, CIEMAT, Madrid.
D^a. Patricia Cámara Mor, Universidad Autónoma de Barcelona.
D^a. Ylva Ranebo, Universidad de Lund, Suecia.
D. Mats Eriksson, IAEA-MEL.
D. José Marcos Falcón González, I.F. de la Universidad de Guanajuato, México.
D. Gabor Battistig, M.F.A. Academia Húngara de la Ciencia.
D. Karim Lopez Guzmán, Universidad Autónoma de México.
D. Joan Albert Sánchez-Cabeza, IAEA-MEL.
D. Juan Carlos Cheang, Universidad Autónoma de México.
D. Martin Suter, Escuela Politécnica Superior de Zúrich, Suiza.

1.5 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:

**Centro Nacional de Aceleradores
Parque Tecnológico Cartuja '93
Avenida Thomas Alva Edison Nº 7
41092 Sevilla (SPAIN)**

Teléfonos: +34 954 460 553

+34 954 640 344

Fax: +34 954 640 145

e-mail: cna@us.es

<http://centro.us.es/cna/>

2 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 dos aceleradores más junto con las técnicas asociadas a los mismos. Actualmente el CNA dispone, pues, de tres 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 Tandetron) que realmente es un espectrómetro de masas.

Con estos aceleradores se ponen a disposición de la comunidad investigadora tres 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 en el CNA.

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 the 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.

2.1 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 (Figuras 2.1 y 2.2). 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, se 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 Si(Li) y LEGe de Canberra, un HPGe de Ortec, un detector de NaI(Tl) y detectores de silicio 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 (Figures 2.1 and 2.2). 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: Si(Li) and LEGe from Canberra, an Ortec HPGe, a NaI(Tl) detector and ion-implanted silicon detectors.



Figura 2.1. Fuentes de iones / Ion sources.

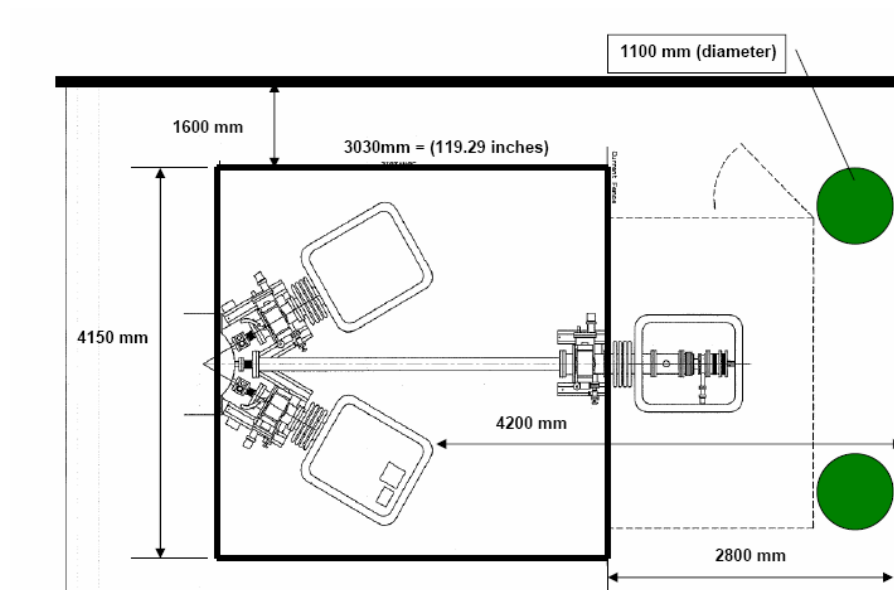


Figura 2.2. Dimensiones de las fuentes de iones / Dimensions of the ion sources.

2.1.1 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 2.3).

- 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
Esta línea se usa para la preparación de instrumentos que posteriormente se utilizarán en instalaciones internacionales de Física Nuclear (consultar el apartado 3.3 para obtener una información más detallada).
- 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 la 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 fue diseñada en el CNA y 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 de muestras cristalinas mediante canalización iónica. 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 un *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 de 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.



Figura 2.3. Imagen de las líneas de haz / Image of the beam lines.

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 2.3).

- -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 the 3.3 section).
- -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 x 20 cm²) 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 (~60 µm), 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.

2.1.2 Técnicas Disponibles en el Acelerador Tándem 3 MV / Available techniques at the 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 destructiva. Mediante RBS es posible conocer la composición elemental (estequiometría) sin estándar y obtener los perfiles elementales de concentración en profundidad. También pueden conocerse las impurezas superficiales y la distribución de impurezas en profundidad. Se pueden medir espesores de láminas delgadas y de interfases. Mediante el uso de Canalización-RBS se puede 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 the measurement of Na, Mg, Al, Si and P.

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.

2.1.3 Laboratorio de Fluorescencia / X-Ray Fluorescence (XRF) 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 independientemente o complementariamente a los análisis llevados a cabo en el acelerador Tandem.

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.

2.2 CICLOTRÓN / CYCLOTRON

El ciclotrón 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 2.4). Las intensidades de corriente máximas que pueden ser extraídas del 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). El aparato cuenta con ocho puertos de irradiación, de los cuales siete están dedicados a la producción de radionucleidos 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 2.4. El 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 $[^{18}\text{F}]\text{fluoruro}$ mediante la reacción $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$.

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 $[^{18}\text{F}]\text{fluoruro}$ mediante la reacción nuclear $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$.

4- Blanco de $1,7\text{ cm}^3$ relleno de una mezcla agua-etanol, para la obtención dentro del blanco de ^{13}N en forma de $[^{13}\text{N}]\text{amoniaco}$ mediante la reacción $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$.

5- Blanco de 60 cm^3 que contiene una mezcla neón-flúor y utilizado en la obtención de ^{18}F en forma de $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ mediante la reacción $^{20}\text{Ne}(\text{d}, \text{n})^{18}\text{F}$.

6- Blanco gaseoso de 60 cm^3 , en el que se bombardea una mezcla nitrógeno-oxígeno con protones para obtener ^{11}C en forma de $[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$ mediante la reacción $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$.

7- Blanco de 60 cm^3 relleno de una mezcla nitrógeno-oxígeno y utilizado en la obtención de ^{15}O en forma de $[^{15}\text{O}]\text{O}_2$ mediante la reacción $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$.

8- En el último puerto existe una ventana de salida de haz en la que se ha instalado una línea que transporta el haz de partículas a una segunda sala blindada donde se ubica una cámara de reacción para la irradiación de materiales de interés tecnológico (sección 2.2.1).

The cyclotron 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 (Figure 2.4). The extracted maximum beam intensities in the internal target ports are $80 \mu\text{A} \pm 10 \%$ for protons and $35 \mu\text{A} \pm 10 \%$ for deuterons. 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 ^{18}O -enriched water ($[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$, purity $>95 \%$ in ^{18}O). It is used for the production of ^{18}F as $[^{18}\text{F}]\text{fluoride}$ through the $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ nuclear reaction.
- 2-3- Two large-volume targets (2 ml) with the cavities made of niobium and filled with ^{18}O -enriched water ($[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$, purity $>95 \%$ in ^{18}O). They are utilized for the production of ^{18}F as $[^{18}\text{F}]\text{fluoride}$ through the $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{n})^{18}\text{F}$ nuclear reaction.
- 4- 1.7 cm^3 target filled with an ethanol-water mixture for the in-target production of ^{13}N in the form of $[^{13}\text{N}]\text{ammonia}$ using the $^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$ nuclear reaction.
- 5- 60 cm^3 target containing a neon-fluorine gas mixture and used to produce ^{18}F as $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ by means of the $^{20}\text{Ne}(\text{d}, \text{n})^{18}\text{F}$ nuclear reaction.
- 6- 60 cm^3 target, where a nitrogen-oxygen mixture is bombarded with protons, obtaining ^{11}C as $[^{11}\text{C}]\text{CO}_2$ through the $^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$ nuclear reaction.
- 7- 60 cm^3 target filled with a nitrogen-oxygen mixture and used to produce ^{15}O as $[^{15}\text{O}]\text{O}_2$ by means of the $^{14}\text{N}(\text{d}, \text{n})^{15}\text{O}$ 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 (section 2.2.1).

2.2.1 Línea de Haz de Experimentación / Experimental Beam Line

La línea de experimentación del ciclotrón del CNA (Figura 2.5) 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 tandem 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 2.5. Línea de experimentación acoplada al acelerador ciclotrón del CNA / The ion implantation and irradiation beam line.

The CNA beam transport line (Figure 2.5) has been installed in one of the target ports with two major purposes: to study the effects of 18 MeV proton irradiation on the behaviour 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 aluminium 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”, in such a way 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.

2.2.2 Laboratorios de Radiofarmacia PET Asociados al Ciclotrón / PET Radiopharmacy Laboratories

Los laboratorios de radiofarmacia PET existentes en el CNA 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 2.6) 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 monodoses de FDG, donde se fabrica la especialidad farmacéutica “Flucis” bajo el registro de CisBio.



Figura 2.6. Laboratorio de Producción de FDG / FDG Production Lab.

El Laboratorio de Investigación dispone de cinco celdas blindadas Comecer en las que se sintetizan otros radiofármacos de interés para el estudio de procesos metabólicos o funcionales ($[^{18}\text{F}]\text{F-DOPA}$, $[^{18}\text{F}]\text{FLT}$, $[^{18}\text{F}]\text{fluoruro sódico}$, $[^{11}\text{C}]\text{colina}$, $[^{13}\text{N}]\text{amoniaco}$, $[^{15}\text{O}]\text{agua}$, etc.). La configuración de este laboratorio es la siguiente (Figura 2.7):

- 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 $[^{11}\text{C}]\text{yodometano}$ es el modo más común de producir radiofármacos marcados con carbono-11, y dicho módulo permite la preparación de $[^{11}\text{C}]\text{yodometano}$ a partir de $[^{11}\text{C}]\text{metano}$ y yodo a $720\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Celda de síntesis de compuestos marcados con flúor-18 que alberga el módulo GE Tracerlab FX-FE. Este módulo de síntesis emplea $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ o $[^{18}\text{F}]\text{hipofluorito de acetilo}$ ($[^{18}\text{F}]\text{CH}_3\text{COOF}$) para marcar alquenos y compuestos aromáticos ricos en electrones, normalmente mediante fluorodesmetalaciones.
- Celda de síntesis de $[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ y de recogida de $[^{13}\text{N}]\text{NH}_3$. El $[^{15}\text{O}]\text{agua}$ es un radiotrazador empleado para la determinación y cuantificación del flujo sanguíneo. El oxígeno radioactivo proveniente del ciclotrón está en forma de $[^{15}\text{O}]\text{O}_2$ y se hace reaccionar en la celda de síntesis con hidrógeno y paladio a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ para obtener $[^{15}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$. Por otro lado, el $[^{13}\text{N}]\text{amoniaco}$ 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 $[^{13}\text{N}]\text{amoniaco}$ 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 $[^{18}\text{F}]\text{fluoruro}$, el cual es introducido en precursores mediante reacciones de sustitución nucleófila.

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



Figura 2.7. Laboratorio de investigación y uno de los módulos de síntesis / Research lab and one of the synthesis modules.

El Laboratorio de Control de Calidad contiene el equipamiento necesario para garantizar que la calidad de los productos sintetizados sea satisfactoria (Figura 2.8). La pureza química y radioquímica de los compuestos marcados se evalúa mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y cromatografía en capa fina (TLC). La pureza radionucleídica es comprobada con un espectrómetro gamma y la presencia de disolventes residuales en los radiofármacos se realiza mediante cromatografía de gases.



Figura 2.8. Vista del laboratorio de control de calidad / View of the quality control lab.

The existing CNA radiopharmacy 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 2.6) 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 (Figure 2.7):

-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 fluorodemetalations.

-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.

The Quality Control Lab contains all the necessary equipment to certify the satisfactory quality of the synthesized products (Figure 2.8). 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.

2.2.3 Tomógrafo PET y micro-TAC para Pequeños Animales / *Small Animal PET Tomograph and micro-CT Scanner*

El CNA dispone de un tomógrafo PET para pequeños animales modelo Mosaic y fabricado por Philips (Figura 2.9). El sistema de detección del aparato esta basado en 14456 cristales de GSO (ortosilicato de gadolinio activado con cerio, $\text{Gd}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) 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. Existe además un estabulario asociado al tomógrafo capaz de albergar hasta 30 jaulas para animales de experimentación en condiciones individuales de calidad de aire independientes del resto.

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 $200 \mu\text{m}$, 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.



Figura 2.9. Tomógrafo PET y micro-CT para pequeños animales / PET tomograph and micro-CT for small animal imaging.

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, metabolismo de ácidos grasos, distribución de receptores o farmacocinética de los radiofármacos en los tejidos. Desde mediados de los años 80, los roedores (ratas y ratones) han sido los animales preferidos para estudiar la biología de los mamíferos. La mayoría de los genes humanos están relacionados con genes de ratón, lo que permite simular diversas enfermedades humanas con ratones. Además, la biología molecular moderna ha desarrollado la tecnología para noquear (knock-out) e insertar genes nuevos y así crear nuevos tipos de ratones transgénicos. Estos roedores modificados genéticamente pueden ser investigados con PET de manera no invasiva y cuantitativamente, enlazando la biología in vitro e in vivo. Asimismo, la técnica PET permite la ejecución rápida de los mismos experimentos en ratones, primates y humanos, facilitando la comparación directa y la unificación de la investigación básica y clínica.

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 cardíaco, 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. En la actualidad existe una gran variedad de modelos transgénicos animales para alteraciones oncológicas y todos estos modelos tumorales pueden ser evaluados de modo no invasivo con el PET para pequeños animales. Los tumores primarios transplantados en animales pueden ser localizados lejos de órganos (en el muslo, cuello o espalda del animal), facilitando su estudio y además, con los estudios PET se elimina la variabilidad entre animales, ya que cada animal es utilizado como referencia.

Por otro lado, en estos momentos se está produciendo una alianza entre la industria farmacéutica y las técnicas radiofarmacéuticas que acelerará el descubrimiento y desarrollo de nuevos medicamentos y de radiotrazadores para imagen molecular. De hecho, las más importantes empresas farmacéuticas están entrando en el mundo de la imagen molecular como parte de sus programas de descubrimiento de medicamentos. 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.

The CNA small-animal PET scanner was made by Philips (model Mosaic, Figure 2.9). The detection system is based on 14,456 GSO crystals ($Gd_2SiO_5:Ce$, gadolinium orthosilicate activated with cerium) with dimensions of $2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$ and is arranged in 52 rings of 278 crystals each. The GSO crystals are glued to a continuous light guide with a thickness of 1.2 mm and 0.5 mm deep slots. The crystals

are read out by a hexagonal array of 288 photo multiplier tubes (PMTs) with a diameter of 19 mm each. The scanner operates exclusively in 3D mode and the spatial resolution is 2.7 mm at the centre. The unit also has capability for housing up to thirty animals in environmentally controlled rooms.

In October 2008, a new preclinical 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.

PET utilizes tracers that are labelled with positron emitters and is able to obtain in vivo quantitative measurements of physiological and biochemical processes, such as blood flow, glucose metabolism, fatty-acid metabolism, receptor distribution or the pharmacokinetics of radiotracers in tissues. Since the mid 1980s, rodents (rats and mice) have become the animals of choice to study mammalian biology. Most human genes have a related mouse gene, which allows mice to be used as a platform for simulating several human diseases. Besides that, modern molecular biology has the technology to “knock-out” or disable genes and to insert or “knock-in” new ones in order to create many types of transgenic mice. This variety of genetically engineered mouse and rat models can now be investigated non-invasively and quantitatively using small animal PET, bridging in vitro and in vivo biology. PET imaging permits rapid performance of the same experiments in mice, larger primates and humans, facilitating the direct comparison and the unification of basic and clinical research.

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. A huge variety of transgenic/knock-out animal models of oncologic diseases have been established and all of these tumour models can be evaluated non-invasively in longitudinal studies using small animal PET. Transplanted primary tumours can be placed away from major organs (for example in the thigh, shoulder or back of the animal), facilitating their study. Moreover, the usual variability between one animal and the next is effectively removed with PET and each animal can be used as its own control.

On the other hand, the merging of the pharmaceutical industry with radiopharmaceutical techniques will boost the discovery and development of new drugs and molecular imaging probes. In fact, many pharmaceutical companies are preparing their entry into molecular imaging as part of their drug discovery programmes. Small animal PET can facilitate this process, reducing the timeframe and costs of drug and molecular imaging probe discovery and development. In particular, the

pharmacodynamics and pharmacokinetics of radiolabelled candidate drugs or analogues can be easily evaluated in vivo using PET. 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 candidate drugs and probes using whole-body small animal PET leads to a reduction in the number of animals used.

2.3 ACELERADOR TÁNDEM DE 1 MV CON ESPECTRÓMETRO DE MASAS / 1 MV TANDEM ACCELERATOR WITH MASS SPECTROMETER

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 en el comportamiento de las partículas cargadas en el seno de los mismos (Figura 2.10).



Figura 2.10. 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.

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.

En el Centro Nacional de Aceleradores se dispone de un sistema de AMS instalado en 2005 y construido por la empresa holandesa High Voltage Engineering Europe (HVEE). El sistema se basa en un acelerador tipo Tandetrón de 1 MV (Figura 2.12) y posee un carrusel con capacidad para 200 muestras. Su diseño le proporciona gran versatilidad, pudiéndose detectar un amplio rango de radioisótopos (^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I e isótopos de plutonio).

A pesar de su juventud (la instalación comenzó a funcionar en 2006), la unidad está funcionando a pleno rendimiento. Durante 2007 y 2008 se ha afianzado el Servicio de Datación por Radiocarbono, con gran número de solicitudes de investigadores principalmente externos a la Universidad de Sevilla. A la vez, durante este año se han llevado a cabo con asiduidad medidas rutinarias de otros radioisótopos de interés, tales como ^{10}Be , ^{129}I o isótopos de plutonio, también en su mayoría como solicitudes o a través de convenios de colaboración con organismos externos.



Figura 2.11. Deflector electrostático y cámara de ionización / Electrostatic deflector and ionization chamber.



Figura 2.12. Inyector y acelerador Tandetrón / Injector and Tandetron accelerator.

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 2.10).

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).

The National Accelerator Centre (Centro Nacional de Aceleradores, CNA) AMS facility utilizes a system made by High Voltage Engineering Voltage Europe (Amersfoort, Netherlands). It is based on a 1 MV Tandem Accelerator and contains a carousel with 200 samples (Figure 2.12). This system is able to detect a wide spectrum of radioisotopes: ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I and Pu isotopes.

This facility was installed in 2005 and started operation in 2006. During the short time it has been in operation, it has reached a very good operational yield. Isotopes such as ^{14}C , ^{10}Be , ^{129}I and Pu are measured routinely, mainly for external research. The specific details of each isotope are described within the research chapter.

2.3.1 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 1 MV 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:

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

- a) 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).*
- b) 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.

2.3.2 Laboratorio de Preparación de Muestras de ^{14}C / CNA Radiocarbon Laboratory (^{14}C)

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 2.13).

Como resultado se obtiene un cátodo de aluminio con forma cilíndrica listo para ser introducido en el carrusel de muestras de la fuente de iones del acelerador (Figura 2.14).



Figura 2.13. Línea de grafitización del laboratorio de radiocarbono / Graphitization line in the radiocarbon lab.



Figura 2.14. Cátodo de aluminio donde se sitúa la muestra grafitizada / Aluminium target containing the graphitized sample.

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 2.13).

The final graphite powder is pressed into an aluminium cylindrical target, which is ready for AMS measurement (Figure 2.14).

3 INVESTIGACIÓN / RESEARCH

En el Centro Nacional de Aceleradores existe un conjunto amplio y variado de líneas de investigación. 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.

There is an ample and variable set of research lines at CNA and numerous users and customers have utilized our facilities during these two years. Besides the experiments carried out by means of collaborations and external services, the Research Units of the Centre do their own research. A general summary of the different research topics for each unit is shown in this section.

3.1 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN 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 en el acelerador tándem en estos dos últimos años fueron principalmente: Ciencia de Materiales, Medio Ambiente y Patrimonio Cultural.

The main research fields in the Tandem Accelerator Unit in the last two years were: Material Science, Environment and Cultural Heritage.

3.1.1 Ciencia de Materiales / Material 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 ERDA.

Podemos destacar los estudios de láminas finas nanoestructuradas de Al_2O_3 dopados con Er, V o Si, de gran interés por sus propiedades ópticas; semiconductores magnéticos diluidos como el ZnO dopado con Mn; materiales ferroeléctricos basados en titanatos de Pb; óxidos mixtos de Zr-Si, los cuales presentan propiedades eléctricas y ópticas intermedias entre los dos óxidos puros; multiláminas de TiN/CrN para recubrimientos duros; y capas delgadas de hidroxiapatita dopada con Si, de enorme relevancia como material bioactivo.

Por otro lado, también se han analizado, mediante la técnica de canalización de iones, las propiedades estructurales de sustratos monocristalinos tipo SiC dopado con

Ni y de GaAs dopado con Mn, materiales de potencial importancia en el novedoso campo de la espintrónica.

Por último destacar que en estos dos últimos años se ha instalado una nueva línea de haz que nos ha permitido realizar, por primera vez en nuestro laboratorio, experimentos de implantación iónica con el fin de modificar las propiedades físicas de los materiales irradiados, como es el caso del dopaje magnético con iones de Ni y Co de monocristales de SiC.

Esta línea, especialmente diseñada para realizar implantación iónica e irradiación de materiales en general, es también utilizada en ensayos de irradiación de dispositivos electrónicos. Desde 2007, se están implementando las instalaciones del CNA con el fin de establecer un Centro para ensayos de irradiación de circuitos integrados, dentro del proyecto coordinado RENASER, junto a dos grupos de los Departamentos de Tecnología Electrónica e Ingeniería Electrónica de las universidades Carlos III y de Sevilla respectivamente. Aunque las energías de las partículas obtenidas por los aceleradores del CNA no son suficientes para realizar ensayos de certificación en circuitos integrados, sí son adecuadas para realizarlos en celdas fotovoltaicas de uso en satélites o llevar a cabo estudios de investigación en la fase de diseño.

Hasta el momento, se han realizado ensayos de dosis total “in vivo” sobre dos dispositivos de tecnología comercial en el Ciclotrón, con protones de 18 MeV, con el fin de localizar los puntos de producción de fallos. Así mismo se ha llevado a cabo, en el acelerador Tándem con protones de 6 MeV, la irradiación “in vivo” de sensores solares de tecnología MEMS, diseñados y fabricados por un Grupo del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla para ser embarcados en el satélite español NANOSAT 1B.

Por otro lado, se han llevado a cabo experimentos de irradiación en el Ciclotrón sobre nuevos materiales y estudiados por un Grupo de la Unidad de Entorno Espacial y Efectos del INTA para ser utilizados como cubierta de dispositivos electrónicos de uso espacial.

The 3 MV Tandem accelerator has had special relevance in the investigation of various problems related to Material Science. Most of the work was aimed at studying sample compositions and their correlation with the physical characteristics of the materials. Diverse analytical techniques, such as RBS, PIXE, NRA, PIGE and ERDA were employed in the analyses.

We can highlight the studies on Al₂O₃ nanostructured thin films doped with Er, V or Si, which have remarkable optical characteristics; diluted magnetic semiconductors such as Mn-doped ZnO; ferroelectric materials based on lead titanates; Zr-Si mixed oxides, whose electronic parameters and optical properties are in-between those of the pure oxides; TiN/CrN multilayers for hard coatings; and silicon-substituted hydroxyapatite thin films, which are interesting bioactive materials.

On the other hand, we have employed the ion channelling technique to analyze the structural properties of monocrystalline substrates such as Ni-implanted SiC and Mn-doped GaAs, materials with potential applications in the field of spintronics.

Finally, we will underline the installation of a new beam line that has allowed, for the first time in our laboratory, ion implantation experiments in order to modify the physical properties of the irradiated materials, such as the magnetic doping of SiC monocrystals with Ni and Co ions.

This beam line, specially designed for ion implantation and irradiation of materials, is also employed for the irradiation testing of electronic devices. Since 2007, the CNA facilities are being used to create a centre for integrated circuit (IC) irradiation testing within the RENASER project. This is done in coordination with two groups of the “Tecnología Electrónica e Ingeniería Electrónica” departments from the Carlos III and the Sevilla Universities. Even if the energies of the particles supplied by the CNA accelerators are not high enough to achieve IC certified tests, they are adequate to certify solar cells or to perform basic research studies during the design process.

Up to the present time, total dose irradiation tests on two commercial technology devices have been performed using cyclotron-produced 18 MeV protons to localize the failure production areas. In the same way, MEMS solar sensors have been irradiated in the Tandem accelerator using 6 MeV protons. These sensors were designed and manufactured by a group of the “Ingeniería Electrónica” Department of the Sevilla University to put on board the NANOSAT 1B Spanish satellite.

On the other hand, irradiation tests using the cyclotron have been carried out on new materials that are being studied by a Group of the “Unidad de Entorno Espacial y Efectos” from the INTA and that are to be used as shieldings for space electronic devices.

3.1.2 Medio Ambiente / Environmental Sciences

En el campo de las Ciencias Medioambientales, se han desarrollado proyectos de aplicaciones muy específicas. Por ejemplo, estudios de partículas calientes (pequeñas partículas de alta concentración de actividad) que han constituido interesantes trabajos realizados en el CNA.

El uso de métodos no destructivos para caracterizar partículas calientes representa un reto analítico. Es más, la gran capacidad de las técnicas IBA se ha utilizado para estudiar este tipo de muestras en escasas ocasiones. Combinando simultáneamente el uso de μ -PIXE y de μ -RBS, se ha obtenido información sobre la composición, mapas y distribuciones en profundidad de los principales elementos que componen las partículas calientes (Figura 3.1).

Recientemente, se ha realizado una comparación entre los cocientes elementales Pu/U obtenidos usando protones de 3 MeV y partículas alfa de 5,5 MeV. Los resultados proporcionados con cada haz pueden considerarse como complementarios porque el recorrido libre medio en las partículas calientes para los dos haces es diferente. Las partículas alfa son más sensibles a la superficie de la muestra mientras que los datos obtenidos con protones son más representativos de la partícula completa. Por esto, en este trabajo se han encontrado importantes conclusiones sobre la homogeneidad o heterogeneidad del cociente Pu/U en profundidad en estas partículas.

También se han continuado estudios comenzados en el período anterior al que cubre esta memoria. En concreto se ha seguido con el estudio de aerosoles y se ha concluido una primera fase en el estudio de las alteraciones medioambientales producidas en la fase de explotación de recursos minerales en la Faja Pirítica Ibérica.

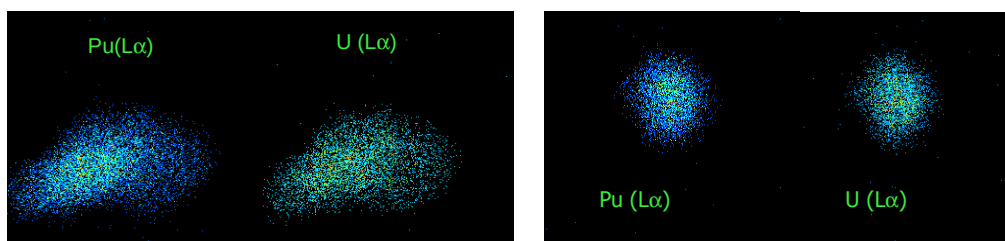


Figura 3.1. Mapas elementales de Pu y U de dos de las partículas calientes analizadas / Pu and U elemental maps of two of the analyzed hot particles.

In the field of Environmental Sciences, research projects with very specific applications were undertaken. For example, the study of hot particles (small particles with high activity concentrations) at CNA has produced interesting results.

The use of non-destructive methods to characterize hot particles represents an analytical challenge. What is more, the high capability of IBA techniques has hardly been applied to the study of this kind of samples. Average compositional information, mappings and depth distributions of the main elements composing Palomares particles were obtained by the simultaneous use of μ -PIXE and μ -RBS (Figure 3.1). Recently, a comparison between the Pu/U elemental ratios obtained by μ -PIXE with 3 MeV protons and 5.5 MeV alpha particles was performed. The results that were obtained with each beam can be considered as complementary because the average path lengths travelled by the hot particles were different for the two beams. Alpha particles were more sensitive to the sample surface and data collected with protons was representative of the whole particle. For that reason, important conclusions have been gained about the homogeneity or heterogeneity of the in-depth Pu/U elemental ratio in these particles.

Moreover, studies concerning sediment and aerosol analysis were regularly carried out. In fact, aerosol studies have continued and the first step in the study of environmental changes produced by the mining works at the Faja Pirítica Ibérica has finished.

3.1.3 Patrimonio Cultural / Cultural Heritage

Se han llevado a cabo intensos estudios y experimentos para la adaptación de la técnica PIXE al uso de protones de alta energía. Para ello se han realizado análisis de patrones y de muestras reales de Patrimonio en el ciclotrón del CNA, con el que se consiguen protones de 18 MeV, y en el ciclotrón del ISL de Berlín, en el que se alcanzan energías de 68 MeV. Entre las razones iniciales para comenzar los experimentos de PIXE de alta energía figuran: la mayor profundidad de análisis que se logra con estos proyectiles, que permitiría obtener información del interior de una muestra sin eliminar la capa de corrosión; la mejor cuantificación de la composición a

través de las líneas K en lugar de las L para elementos de número atómico elevado; y el uso de reacciones nucleares para cuantificar líneas de emisión gamma.

Sin embargo, el PIXE de alta energía conlleva una serie de inconvenientes que dificultan la obtención de resultados o que deben tenerse en cuenta para la interpretación de los mismos, como son: el aumento del fondo Compton en el espectro, la pérdida de sección eficaz de producción de rayos-X con la pérdida de energía en el interior de la muestra, la autoabsorción de los rayos-X inducidos, y la producción de rayos-gamma y rayos-X por reacciones nucleares.

La capacidad de la técnica PIXE de alta energía ha sido estudiada en objetos de interés cultural, como por ejemplo adornos de plata y de bronce, con alteraciones en su superficie, logrando obtener mejores resultados sobre el interior de la muestra sin necesidad de eliminar la capa de corrosión.

Mediante la técnica PIXE convencional y utilizando las instalaciones del CNA de Sevilla, se han llevado a cabo numerosos análisis sobre objetos de interés patrimonial. Entre ellos, destacan los estudios sobre vidrios y orfebrería prerromana. Vidrios de distintas épocas y procedentes de diferentes yacimientos arqueológicos (colaboraciones con la Alcazaba de Almería, Museo de Jerez y el Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC) han sido estudiados utilizando conjuntamente las técnicas PIXE y PIGE, logrando caracterizarlos atendiendo a su composición química. Los resultados obtenidos son similares a los de técnicas más convencionales, pero aportando la gran ventaja de no ser destructivos. Se han establecido hipótesis sobre la posible naturaleza de algunas materias primas así como sobre el tipo de fundente más probable. Los compuestos causantes del color han sido igualmente caracterizados y se han identificado algunos decolorantes conocidos.

Mediante la microsonda de vacío se han obtenido mapas de composición, pudiendo distinguirse capas de cobre y cinc en un vidrio de interés patrimonial (Figura 3.2).

En cuanto a los estudios de orfebrería prerromana del sur de la Península Ibérica, se ha avanzado en el análisis de los tesoros y piezas de joyería más importantes de la zona. Estos tesoros son representativos de los desarrollos tecnológicos en la fabricación de objetos de oro llevados a cabo en los distintos períodos.

Al estudiar un tesoro se analizan todas o gran parte de las piezas que lo constituyen, y cada pieza es analizada en los distintos elementos que lo componen, láminas, filigranas, granulados, etc., así como en las soldaduras que unen estos elementos entre sí. Con el conjunto de todos estos análisis se ha logrado reunir un número adecuado de medidas y objetos que permite establecer unas características generales sobre los objetos de orfebrería prerromana localizados en el sur de la Península Ibérica entre los siglos VII y III a.C., caracterizándolos como muy puros en oro, con algo de plata y de cobre y sin trazas características. Sin embargo, se han encontrado dos tipos de excepciones en la composición de algunos de estos tesoros, que han dado lugar a hipótesis sobre las posibles fuentes de obtención de la materia prima necesaria para la manufactura de dichos objetos.

Por otro lado, mediante los equipos portátiles de fluorescencia de rayos X se han analizado una treintena de obras de arte del Museo de Bellas Artes de Sevilla, gracias a la financiación de un proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía. Además, mediante otro proyecto del Ministerio de Ciencia e Innovación se han estudiado distintos objetos de bronce, plata y oro de varios yacimientos y colecciones.

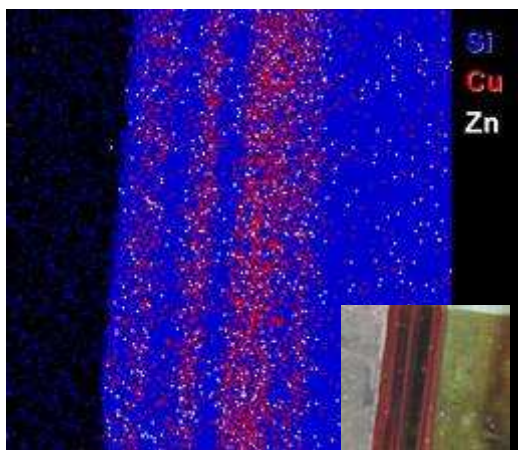


Figura 3.2. Mapa de $2,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$ de composición del silicio, cobre y cinc de un vidrio incoloro con franjas de color rojo / $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$ silicon, copper and zinc composition map of a colourless glass with red stripes.

Thorough studies and experiments have been performed to adapt the PIXE technique to the use of high-energy protons. Consequently, analyses of standards and real heritage samples have been carried out using the CNA cyclotron, which produces 18 MeV protons. Some of the reasons for starting the high energy PIXE experiments were: the higher depth of analysis reached with these projectiles, that would provide information from the sample core without removing the corroded layer; a better quantification of elements with high atomic number through K lines instead of L lines; the use of nuclear reactions for the quantification of gamma line emissions.

Nevertheless, high-energy PIXE analyses have some drawbacks that make difficult the obtaining of the desired results or that must be taken into account in their interpretation. For example: the background increase in the spectrum due to the Compton effect, the important reduction in the X-ray production cross-section owing to the energy decrease in the core of the sample, the absorption of the induced X-rays in the sample and the production of undesired gamma rays and X-rays due to nuclear reactions.

The capability of the high-energy PIXE technique has been studied in cultural heritage objects with altered surfaces, such as silver and bronze ornaments, obtaining excellent results in the sample core without removing the corroded layer. Several analyses of Cultural Heritage objects have been performed using the conventional PIXE technique at the CNA facilities in Seville. Among them, we can highlight the studies on glass and pre-Roman gold items.

Glasses of different periods that were found in diverse archaeological sites have been studied combining PIXE and PIGE techniques, obtaining their chemical

composition (in collaboration with Alcazaba de Almería, Museum of Jerez, and the Glass and Ceramic CSIC Institute). The results were similar to those obtained with other conventional techniques, but with the important advantage of employing non-destructive techniques. Hypotheses about some of the raw materials and about the most probable melting component in the glasses have been established. The elements that give colour to the glass have been also identified and some well-known decolourizers have been identified. Elemental maps have been obtained and different composition layers have been found using the vacuum microprobe (Figure 3.2).

Our studies of the pre-Roman gold objects from the South of the Iberian Peninsula involved the analysis of the most important treasures and pieces of jewellery in the area. These treasures are representative of the technological developments in the manufacture of gold objects during different time periods.

In the study of a treasure, all or most of the pieces belonging to it are analysed. The different elements that constitute a piece such as sheets, filigrees, granules, etc. are analysed, as well as the soldering areas that connect all these elements. With all these analyses, it has been possible to gather a significant number of measurements and objects that has allowed the determination of the general characteristics of the pre-Roman gold work in the South of the Iberian Peninsula between the 7th and the 3rd centuries B.C. These pre-Roman items consisted of very pure gold alloys, with some silver and copper content and without characteristic traces. Nevertheless, two exceptions have been found in the composition of some of the treasures, which have allowed the establishment of hypotheses about possible sources of the raw materials used in the manufacture of these objects.

On the other hand, approximately thirty works of art were analysed in the Museum of Fine Arts (Museo de Bellas Artes) of Seville using X-ray fluorescence portable equipment, with funds provided by an “Excellence Project” of the Junta de Andalucía. In addition to this, different bronze, silver and gold artifacts coming from several archaeological sites and collections were studied with the support of the Ministry of Science and Innovation.

3.2 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADORES (AMS) / ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY (AMS) RESEARCH UNIT

La *Unidad de AMS* del Centro Nacional de Aceleradores se origina en septiembre de 2005 con la llegada del sistema de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) adquirido a la empresa holandesa High Voltage Engineering Europe. De este modo se convierte en la única instalación de AMS existente 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 de semivida muy grande que son muy difíciles de detectar mediante técnicas radiométricas. 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 por nucleón. 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 posibles interferencias.

Estas cuestiones hacen que AMS posea mayor sensibilidad que cualquier otra técnica de detección de radionúclidos. Esto 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 para la medida de ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I e isótopos de Pu.

Los años 2007 y 2008 han servido para la consolidación de la técnica AMS en el CNA. En este periodo se ha puesto en marcha el Servicio de Datación por Radiocarbono, que además se ha establecido como uno de los servicios más importantes del centro, realizándose dataciones para numerosas entidades públicas y privadas, pertenecientes algunas a la Universidad de Sevilla pero externas la mayoría de ellas, e incluyendo tanto nacionales como algunas internacionales. Paralelamente se ha llevado a cabo un intenso trabajo de puesta a punto de la detección de otros radionúclidos, especialmente ^{10}Be , ^{129}I e isótopos de Pu. Este trabajo ha resultado también en diversas colaboraciones con universidades e institutos de investigación nacionales y extranjeros, como se detallará en los apartados específicos que siguen.

Es importante también destacar que los logros conseguidos en estos últimos meses, y que han sido reflejados en los cuatro trabajos presentados en la 11th *International Conference on Accelerator Mass Spectrometry*, celebrada en septiembre de 2008 en Roma, lo han sido en parte gracias a las estancias realizadas en el CNA por investigadores de prestigio en esta técnica, tales como el doctor Colin Maden (Scottish Universities Environmental Research Centre, Oxford), el doctor Vasily Alfimov (Institute of Particle Physics, ETH Zúrich) o el profesor Martin Suter (Institute of Particle Physics, ETH Zúrich).

The CNA Accelerator Mass Spectrometry Unit was founded in September 2005 when the new AMS system made by High Voltage Engineering Europe (HVEE, The Netherlands) arrived at the centre. This is up to now the only AMS facility in Spain.

Accelerator Mass Spectrometry (AMS) differs from other forms of mass spectrometry in that it accelerates ions to extraordinarily high kinetic energies before mass analysis. The special strength of AMS among the mass spectrometric methods is its power to separate a rare isotope from an abundant neighbouring mass ("abundance sensitivity", e.g. ^{14}C from ^{12}C). The method allows the complete suppression of molecular isobars and can separate atomic isobars in many cases (e.g. ^{14}N from ^{14}C) too. This fact makes possible the detection of naturally occurring, long-lived radioisotopes such as ^{10}Be , ^{36}Cl , ^{26}Al and ^{14}C . Their typical isotopic abundance ranges

from 10^{-12} to 10^{-18} . AMS can outperform the competing technique of decay counting for all isotopes where the half life is long enough.

The AMS system at CNA is based on a 1 MV tandem accelerator and can be used to detect a wide set of radionuclides, such as ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{129}I and Pu isotopes.

The years 2007 and 2008 have consolidated the activities in the facility. For example, the Radiocarbon Dating Service has become one of the most important services at CNA. Samples belonging to public and private groups, such as the University of Sevilla and other national and international institutions have been dated.

At the same time, the system has been set up for the detection of other radioisotopes such as ^{10}Be , ^{129}I and Pu isotopes. This has resulted in collaborations with other research institutions from Spain and the rest of Europe. As a global result, four works have been presented at the 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry in Rome (September 2008).

The obtained technical advances have been reached not only thanks to the unit team, but also thanks to expert visitors that have spent time at CNA, such as Dr. Colin Maden (Scottish Universities Environmental Research Centre, Oxford), Dr. Vasily Alfimov (Institute of Particle Physics, ETH Zurich) or Prof. Martin Suter (Institute of Particle Physics, ETH Zurich).

3.2.1 Medida de ^{10}Be / ^{10}Be Measurements

La labor investigadora desarrollada en el estudio del radioisótopo ^{10}Be durante el bienio 2007-2008 ha tenido dos vertientes claramente diferenciadas.

Una primera, en la que básicamente se ha hecho una puesta a punto de los parámetros de sintonización del sistema para estudiar la viabilidad de las medidas empleando distintos acabados en el proceso de elaboración de muestras. Debido a que pueden darse casos en los que el principal interferente del ^{10}Be , el ^{10}B , se presente en concentraciones mucho más altas de las esperadas y falsee los resultados de ^{10}Be , se han empleado otros métodos alternativos al de BeO , como serían los de BeF_2 o BaBeF_4 . Con las muestras en esta forma química, se suprime entre cinco y seis órdenes de magnitud la llegada de ^{10}B al detector, ya que la molécula inyectada en ambos casos es BeF^- y la molécula BF^- , de igual masa, es muy inestable. Además de esto, aspectos tales como corrientes de las muestras, transmisión, niveles de fondo o supresión del ^{10}B también han sido estudiados y optimizados.

La otra vertiente ha sido el estudio del ^{10}Be en distintas muestras naturales. Los principales esfuerzos han consistido en estudiar la presencia de este radioisótopo en agua de lluvia y filtros atmosféricos de alto flujo recogidos en Sevilla. Dentro de la colaboración existente entre el Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Extremadura y el CNA, se han elaborado y medido muestras de filtros atmosféricos recogidos en Cáceres, cuyos resultados serán posteriormente comparados con los de Sevilla. Además de esto, muestras de sedimentos marinos profundos del Atlántico Sur han sido preparadas y medidas en colaboración con el Instituto Politécnico de Zúrich (ETH).

Los resultados obtenidos en este tipo de muestras y en otras muestras de intercomparación, revelan el alto grado de fiabilidad y precisión con el que este tipo de mediciones se han venido realizando en nuestro centro.

In 2007-2008, the research activity involving ^{10}B has had two clear objectives:

The first goal was the system set-up to study the viability of measurements for different sample preparations. In certain cases, the interfering ^{10}B is present in concentrations that are higher than expected and distorts ^{10}Be measurements. Therefore, BeF_2 or BaBeF_4 methods have been utilized instead of the usual BeO protocol. If samples are in those chemical forms, the amount of ^{10}B arriving at the detector is suppressed in 5-6 orders of magnitude, because in both cases, the injected molecule is BeF^- . The BF^- molecule, with the same mass, is very unstable. Moreover, other parameters such as sample currents, transmission, background noise and ^{10}B suppression were studied and optimized.

The second objective was the study of ^{10}Be in different natural samples. Our efforts were aimed at determining the presence of this radioisotope in rainwater and in high-flow atmospheric filters collected in Seville. Within the existing collaboration between the Laboratorio de Radiactividad Ambiental (Universidad de Extremadura) and CNA, atmospheric filter samples withdrawn in Cáceres were prepared and measured and results will be compared with those gained in Seville. Besides that, samples obtained from deep marine sediments in the South Atlantic Ocean have been prepared and measured jointly with ETH Zurich.

The results that have been attained in this kind of samples and other intercomparison samples show the reliability and the precision of the measurements carried out at our centre.

3.2.2 Medida de ^{14}C / ^{14}C Measurements

Uno de los programas habituales en las instalaciones de AMS en todo el mundo es la medida de radiocarbono. Los fines más habituales de estos análisis son la datación y la preparación de muestras de interés biomédico, aunque también existen múltiples aplicaciones medioambientales.

El servicio de datación del CNA fue inaugurado a mediados del año 2007, y desde ese momento ha estado funcionando de manera constante como servicio externo, beneficiándose usuarios de todo tipo, desde grupos de investigación de universidades españolas o extranjeras, hasta empresas o particulares. Desde un punto de vista técnico, el servicio de datación por radiocarbono incluye el proceso de preparación de la muestra, la medida mediante AMS y el análisis de los resultados, finalizando con el envío del informe correspondiente al usuario. La preparación de la muestra incluye las etapas habituales de limpieza, combustión y grafitización, siempre buscando la menor contaminación posible y la mayor reproducibilidad. Al tratarse de muestras para AMS, la cantidad de materia necesaria es mucho menor que en las técnicas radiométricas, lo que reduce sensiblemente el daño que recibe el material a datar.

En cuanto a la medida por AMS, en el CNA se lleva a cabo aprovechando la máxima tensión del terminal, 1 MV, y seleccionando el estado de carga +2 en la zona de alta energía. La identificación final del ^{14}C se realiza mediante una cámara de ionización que permite discriminar las señales generadas por el ^{14}C frente a las generadas por el ^7Li .

Desde la apertura del servicio, el CNA ha realizado más de 300 dataciones para más de 50 instituciones diferentes. Entre las múltiples colaboraciones podemos destacar, por ejemplo, la llevada a cabo con la Biblioteca General de la Universidad de Sevilla, que ha permitido realizar dataciones de manuscritos medievales (Figura 3.3) que complementan la información conocida por métodos paleográficos.

Otra interesante colaboración está llevándose a cabo con el laboratorio de radiocarbono de la UNAM de México, en la que se está determinando la concentración de ^{14}C en anillos de árboles de los años 1940-2000 para ver la evolución temporal del ^{14}C inyectado en la atmósfera a partir de los test nucleares de los años 50. Fuera del ámbito de la datación y medioambiental, se ha realizado una colaboración con la compañía CEPESA, para la determinación de las concentraciones de aceites vegetales en biocombustibles.



Figura 3.3. Detalle del libro “Rubricas Morales ex Doctrina, Vol I” datado en el CNA por medio de radiocarbono / Photograph of the book “Rubricas Morales ex Doctrina, Vol I”, dated at CNA using radiocarbon analysis.

One of the most usual programmes at AMS facilities around the world is the measurement of radiocarbon. Samples frequently have dating purposes, or are related to biomedical investigation, although there are several other environmental applications.

The CNA Radiocarbon Dating Service was inaugurated in 2007 and has been continuously working as an external service since then. A great variety of users can benefit from the service, ranging from national and international university research groups, to companies and individuals. From a technical point of view, the Radiocarbon Dating Service includes the sample preparation, the AMS sample measurement and the analysis of results, including the preparation of a final report for the user. Sample preparation usually includes three steps: cleaning, combustion and graphitization. This methodology avoids sample contamination and increases reproducibility. By using AMS, the amount of sample material needed for the analysis is lower than in the case of radiometric techniques, thus reducing the damage to the original material.

Radiocarbon AMS measurements at CNA are performed at the maximum terminal voltage available, 1 MV, and selecting charge state 2+ after the stripper for the high-energy analysis. Final ^{14}C identification is performed using an ionization chamber, which distinguishes signals generated by ^{14}C and ^7Li .

Since the CNA Radiocarbon Service started to work, more than 300 analyses have been completed for more than 50 different institutions. Among the different collaborations, we can highlight a study with the General Library of the University of Seville. In this study, several medieval manuscripts were dated (Figure 3.3) and complemented the information that was obtained by palaeography.

We have another interesting partnership with the UNAM Radiocarbon Laboratory (Mexico) that involves the ^{14}C concentration measurement in tree rings from 1940 until 2000. The analysis will show the evolution of atmospheric ^{14}C that originated in nuclear tests carried out in the 1950s. Apart from dating and environmental applications, CNA has collaborated with the oil company CEPSA to develop a system that determines the concentration of vegetable oils in biodiesel.

3.2.3 Medida de ^{129}I / ^{129}I Measurements

La actividad científica relacionada con el ^{129}I llevada a cabo en el CNA se ha dividido fundamentalmente en dos vías. Tras la conclusión de la puesta a punto del acelerador destinado a AMS (Espectrometría de Masas con Aceleradores) a bajas energías (1 MV) y las oportunas pruebas para la viabilidad de medida de ^{129}I , se ha optimizado su medida a niveles de fondo y de sensibilidad comparables a los de otras instalaciones a nivel mundial. Además, se ha desarrollado un método radioquímico de preparación de muestras que ha dado lugar a la publicación de diversos trabajos internacionales.

El yodo se extrae de la fuente de iones en forma aniónica (I^-) y, tras sufrir el proceso de *stripping* a 1 MeV en un blanco de argón, se analiza como I^{3+} en la zona de alta energía. Posteriormente se cuantifica en una cámara de ionización.

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 por AMS de baja energía en aguas del Ártico. Con la International Atomic Energy Agency se ha participado en un ejercicio

de intercomparación que servirá para certificar la concentración de ^{129}I en agua de mar. Por último, se ha colaborado con la Universidad de Lund para la medida de ^{129}I en líquenes procedentes de diferentes puntos de Suecia (Figura 3.4). En este sentido se han llegado a medir actividades del orden de $0.1 \mu\text{Bq/g}$, 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.

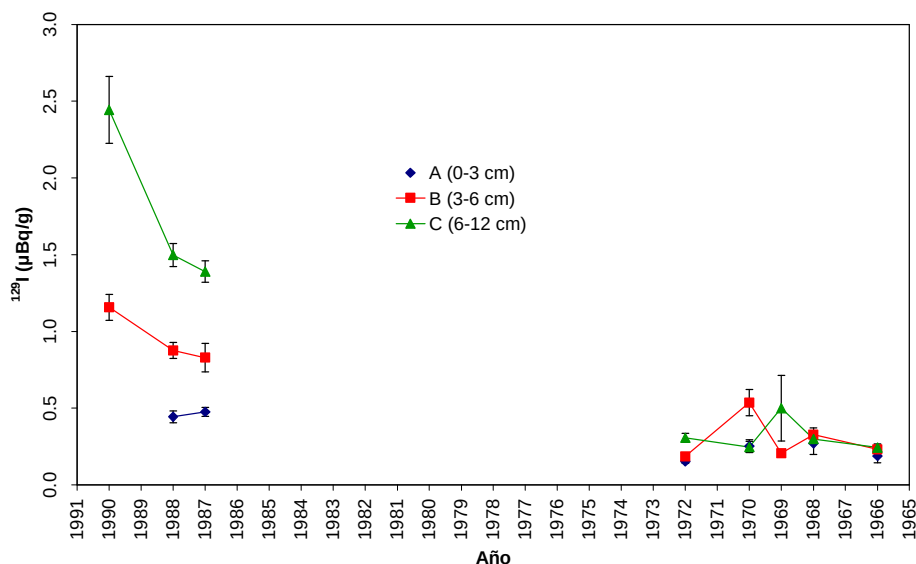


Figura 3.4. Actividad de ^{129}I en líquenes del lago Rogen (Suecia) medida con AMS / ^{129}I activity in lichens coming from lake Rogen (Sweden).

The scientific activity involving ^{129}I that has been done at CNA has had two main purposes. After finishing the low-energy AMS accelerator set-up and the viability tests for ^{129}I analysis, we optimized these measurements, achieving sensitivities that were comparable to those obtained in other centres. Moreover, we developed a radiochemical procedure for sample preparations that resulted in some publications in international journals.

Briefly, iodine is extracted from the ion source as iodide anion (I^-) and is analyzed as I^{3+} in the high energy area after going through a 1 MeV stripping process in an argon target. Finally, iodine is quantified in an ionization chamber.

At the present time, the group collaborates with several European research institutions:

-**Universidad Autónoma de Barcelona.** Low-energy AMS ^{129}I measurements in Arctic waters.

-**International Atomic Energy Agency.** Intercomparison studies to certify ^{129}I concentrations in sea water.

-**Lund University.** Measurement of ^{129}I activities in lichens from different Swedish regions (Figure 3.4). Values of around $0.1 \mu\text{Bq/g}$ have been measured with AMS, which are well below the detection limits of radiometric techniques. This data shows the extraordinary sensitivity of the AMS technique.

3.2.4 Medida de ^{239}Pu y ^{240}Pu / ^{239}Pu and ^{240}Pu Measurements

La técnica de medida de isótopos de plutonio, ^{239}Pu y ^{240}Pu , mediante AMS de baja energía, es de reciente implantación en el Centro Nacional de Aceleradores. Con ello, se ha consolidado como uno de los escasos laboratorios de AMS a nivel mundial, concretamente seis, que son capaces de abordar la medida ultrasensible de estos radionucleidos. Y esto ha sido posible gracias al versátil diseño de la óptica de iones del analizador de masas de alta energía que, con una misma línea, es capaz de responder a la medida de radionúclidos en diferentes estados de carga.

El plutonio se extrae de la fuente de iones como PuO^- , anión molecular que, tras sufrir el proceso de *stripping* a 670 keV en un blanco de argón, se analiza como Pu^{3+} en la zona de alta energía donde, finalmente, se cuantifica en una cámara de ionización con una ventana de nitruro de silicio de 40 nm de espesor a través de la señal de energía total. De este modo, se eliminan las interferencias asociadas a moléculas y a fragmentos moleculares con la relación M/q problema, siendo posible la cuantificación de estos radionucleidos sin prácticamente efectos de matriz, a diferencia de lo que ocurre en otras técnicas espectrometría de masas.

En estos años, se ha dedicado un esfuerzo especial a optimizar las condiciones de medida y los límites de detección del dispositivo experimental, con el fin de dar respuesta a la demanda de potenciales usuarios de este servicio. Actualmente, existen varias colaboraciones en activo. Las más importantes son las que se citan a continuación. Con el CIEMAT se viene realizando un estudio de los límites de detección alcanzables para la medida de ^{239}Pu en muestras de orina, de vital importancia en estudios de dosimetría interna, combinando AMS con diferentes métodos de extracción cromatográfica. También se han realizado estudios de $^{239,240}\text{Pu}$ en turbas de Suecia como método de datación. Con la Universidad Autónoma de Barcelona se están llevando a cabo medidas de isótopos de plutonio en sedimentos atrapados en hielo del Ártico, con objeto de, a través de las relaciones isotópicas $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$, obtener información sobre las áreas de formación del hielo. Otro frente abierto es la IAEA, organismo interesado en la medida de $^{239,240}\text{Pu}$ en muestras de agua de mar.

Recently, the AMS system at CNA has been set up for the measurement of plutonium isotopes (^{239}Pu and ^{240}Pu). That way, CNA has added its name to the scarce list of AMS facilities worldwide (specifically six) that are able to measure these actinides at ultra low-level concentrations. Its success is due to the very versatile design of the high-energy mass analyzer of the AMS device, which is able to select different charge states with the same line.

Briefly, plutonium isotopes are injected into the accelerator as PuO^- , stripped to Pu^{3+} in an argon gas stripper at 670 keV, and finally counted from the total energy signal provided by a gas ionisation chamber with a 40 nm thickness silicon nitride foil. Molecules and molecular fragments with the same M/q ratio as the plutonium isotopes are avoided that way, affording the measurement of $^{239,240}\text{Pu}$ with almost no matrix effect.

Special effort has been devoted during these years to optimize the measurement conditions and the detection limits of the device, in order to meet the requirements of

the potential users. At present, different studies are being carried out and the most important ones are the following. With the CIEMAT, the detection limits for ^{239}Pu in urine samples, of interest in internal dosimetry studies, are being investigated with AMS and different ion-chromatography methods. Secondly, plutonium isotopes have been studied as a dating technique for peat bogs profiles. Thirdly, the Universidad Autónoma de Barcelona has carried out plutonium isotopes studies in Arctic sea ice sediments to investigate their potential use as tracers of sea ice. Finally, a promising project with the IAEA involves the study of the already mentioned radionuclides in sea water samples.

3.3 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE FÍSICA NUCLEAR EXPERIMENTAL BÁSICA / BASIC NUCLEAR PHYSICS RESEARCH UNIT

La actividad de la unidad de Física Nuclear Experimental Básica (FNB) compagina la realización de experimentos de física nuclear con iones exóticos, realizados en grandes instalaciones europeas, con desarrollos de instrumentación nuclear llevados a cabo en los aceleradores del CNA. Ambas actividades son complementarias, desde muchos puntos de vista. El uso de las instalaciones del CNA aporta una formación experimental práctica a los investigadores, y permite el desarrollo y puesta a punto de la instrumentación necesaria en las grandes instalaciones. Por otro lado, el desarrollo de instrumentación para las grandes instalaciones internacionales requiere la accesibilidad al tiempo de haz que permite una instalación como el CNA.

Research at the Basic Nuclear Physics (FNB) Unit combines exotic nuclei nuclear physics experiments, carried out at large scale European facilities, with the development of hardware at CNA. Both activities are complementary. The use of the CNA facilities gives practical training to scientists and allows the development of hardware for large international facilities. Furthermore, this hardware development requires access to beam time, which is feasible at CNA.

3.3.1 Física de Núcleos Exóticos en Grandes Instalaciones / Exotic Nuclei Physics at Large Scale Facilities

Las reacciones nucleares son una herramienta importante para investigar la estructura nuclear y los mecanismos de reacción. Dichas reacciones han sido largamente utilizadas en el pasado con núcleos estables. Su campo de aplicación ha sido ampliado en las últimas décadas hacia las instalaciones de haces radiactivos como por ejemplo los laboratorios GANIL (Francia), GSI (Alemania), CRC (Bélgica) o el propio CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear). A pesar de la actual generación de instrumentos que permiten medidas de éxito, está claro que importantes desarrollos pueden ser alcanzados en eficiencia, resolución y detección simultánea de rayos gamma y partículas para una exploración completa de las reacciones. Además, instalaciones de haces radiactivos, como GANIL y GSI han empezado, recientemente, a ampliar sus instalaciones con los proyectos SPIRAL II (GANIL) y FAIR (GSI) respectivamente, lo que conlleva la necesidad de desarrollar una nueva generación de instrumentación para

trabajar según los nuevos parámetros de los haces radiactivos que serán generados en el futuro.

En el período 2007-2008 también tomamos parte en una campaña de test y experimentos (S310) en el laboratorio GSI de Alemania, donde detectores de placas paralelas de múltiples canales (MCP) y su respectiva electrónica asociada fueron testeados en medidas de trazado de partículas radiactivas degradadas desde su alta energía de producción hasta llegar a bajas energías de colisión. En este experimento, detectores de tiras silicio de doble lado (DSSSD) fueron utilizados para obtener medidas de dispersión de dichas partículas contra un blanco de oro (Au) como parte de las pruebas para la realización de experimentos de medidas de excitación Coulombiana.

Dentro de la Física de reacciones nucleares, en los últimos años, el grupo de la línea FNB del CNA de Sevilla, estudia la dispersión de sistemas exóticos ligeros (^6He , ^{11}Be , ^{11}Li) por blancos pesados, con objeto de determinar, mediante el análisis de reacciones directas, cómo el carácter débilmente ligado afecta a la estructura de los núcleos exóticos y modifica la forma en la que interaccionan con otros núcleos. Además, aplicamos y desarrollamos formalismos teóricos de dispersión apropiados para describir la colisión cuántica de sistemas débilmente ligados. Entre julio y octubre de 2008, hemos realizado el experimento E1104 en el laboratorio TRIUMF (Canadá). En dicho experimento se estudió la dispersión de ^{11}Li contra blancos de ^{208}Pb en energías alrededor de la barrera Coulombiana (Figura 3.5). Investigamos el comportamiento de los núcleos en la vecindad de las líneas de emisión de neutrones y protones. Por tanto, cerca de la línea de emisión de neutrones, investigamos el núcleo halo de cuatro neutrones ^{11}Li , así como el núcleo ^6He . La comparación de estos núcleos permitirá comprender el papel que juegan los neutrones débilmente ligados en la dispersión de núcleos por blancos de alto número másico.

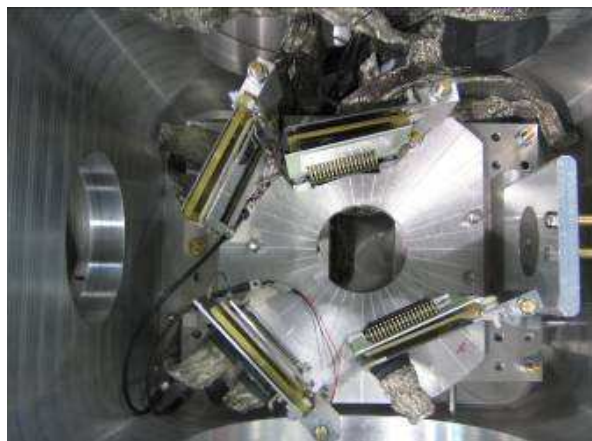


Figura 3.5. Sistema de detectores utilizados en el experimento de dispersión de ^{11}Li realizado en el laboratorio de TRIUMF (Canadá) / Detector system of the ^{11}Li dispersion experiment that was done at TRIUMF laboratory (Canada).

Más allá de la línea de emisión de protones, investigamos la radioactividad de 2-protones de los núcleos ^{19}Mg mediante la técnica de trazado, haciendo uso de detectores de micro-tiras. Este trabajo nos ha permitido determinar, por vez primera, la energía y el tiempo de vida de ^{19}Mg .

Nuclear reactions are an important tool to investigate the nuclear structure of reaction mechanisms. Such reactions have been widely used with stable nuclei in the past. During the last decades, the applications of nuclear reactions have been extended to radioactive beam facilities such as the laboratories GANIL (France), GSI (Germany), CRC (Belgium) or the CERN. Despite the current generation of instruments, which allows successful measurements, it is clear that important developments can be reached in terms of efficiency, resolution and simultaneous measurements of gamma rays and particles in order to perform a complete exploration of the reactions. Moreover, some radioactive beam facilities like GANIL and GSI have started upgrading their installations respectively with the projects SPIRAL II and FAIR. This fact implies the need to develop a new generation of instruments that can work according to the new parameters of the radioactive beams that will be generated by future accelerators.

The CNA Basic Nuclear Physics group has a programme for reaction measurements of light exotic nuclei (^6He , ^{11}Be , ^{11}Li) that are scattered by heavy targets. The aim of this project is to determine, by means of direct reaction analyses, how the weakly bound nature of these exotic nuclei affects their structure and modifies their interaction with other nuclei. Moreover, we apply and develop theoretical formalisms to describe the nuclear collisions of weakly bound systems. Between July and October 2008, we performed an experiment named E1104 at the TRIUMF laboratory (Canada) that was related to the dispersion of ^{11}Li particles on ^{208}Pb targets at energies around the Coulomb barrier (Figure 3.5). We studied the nuclei behaviour in the vicinity of neutron and proton emissive lines. Therefore, we investigate the four-neutron halo nucleus ^{11}Li , as we have done to the two-neutron ^6He nucleus, near the neutron emissive line. The comparison of these two nuclei will allow us to understand the role played by the weakly bound neutrons in the scattering of these nuclei on heavy targets.

During the period 2007-2008, the group participated in the S310 test and experiment at the GSI laboratory (Germany). Multi Channel Plates (MCP) and their electronics were tested for tracking measurements of radioactive ion beams degraded from high energy to low energy before the collision process. In these experiments, double-sided silicon strip detectors (DSSSD) were used to measure particles scattered by a gold target, as part of studying the possibility of measuring Coulomb Excitation process.

3.3.2 Desarrollo de Instrumentación en el CNA / Hardware Development at CNA

El estudio de los núcleos exóticos por parte del CNA está directamente relacionado con el proyecto FAIR (Facility for Anti-proton and Ion Research). Dentro de la colaboración HISPEC, Sevilla tiene la responsabilidad del diseño del sistema de trazado de partículas cargadas en FAIR. En concreto, este proyecto contempla la simulación, diseño y construcción de un prototipo de sistema de detectores de “tracking”, para poder conocer la energía y dirección de las partículas que provocan la reacción.

Debido a la larga apertura angular de los llamados núcleos exóticos, generada por su modo de producción, se requiere la reconstrucción de su trayectoria para corregir aberraciones ópticas y obtener buenas resoluciones. Debido a las dificultades en obtener tiempo de haz dedicado a los test en los grandes laboratorios europeos, un acelerador TÁNDEM es un excelente medio para la comunidad científica internacional a la hora de estudiar y testear los detectores que pueden ser utilizados como trazadores de partículas nucleares. Para eso equipamos el CNA, y trabajamos para conocer y optimizar todas las características y variables del sistema de producción, transporte y perfil de los haces del acelerador TÁNDEM.

Con este objetivo, el proyecto (DETNEX: Dispersión, Estructura y Tracking de Núcleos Exóticos) ha sido propuesto y aprobado, en 2006, por el MEC dentro del Plan Nacional de Altas Energías bajo el código FPA2006-13807-C02-01 con una duración prevista de tres años (2007-2009).

A partir de este punto, el grupo responsable por la línea de Física Nuclear Básica del CNA, ha empezado los trabajos necesarios para que esta línea sea capaz de recibir test de distintos tipos y tamaños de detectores, en especial, para el estudio del trazado (tracking) de partículas nucleares. Dicho estudio implica el desarrollo de nuevas tecnologías en el tema de la instrumentación destinada a medir experimentalmente la dispersión de los núcleos exóticos.

La primera etapa de este proceso fue establecer parámetros (energía, estado de carga, diámetro e intensidades de corriente) de los diferentes tipos de iones estables que pueden ser acelerados por el acelerador TÁNDEM de 3 MeV de energía máxima. Así que fueron acelerados diferentes iones dentro de un rango bastante amplio de masa, desde protones y partículas alfa (^4He) hasta ^{58}Ni . Conseguimos medir un rango de energía entre algunos keV y 25 MeV y estados de carga entre 1 y 8 para los distintos iones. Con esto hemos establecido algunos parámetros ópticos importantes y estudiado los posibles perfiles de los distintos haces.

También como parte del proceso de preparación de la línea de Física Nuclear Básica del CNA, nuevos equipamientos para la medida de perfiles de haz fueron instalados, como ventanas de visualización, monitores de perfil de haz (Beam Profile Monitors), además de la producción de imanes para desviar el haz hacia distintas direcciones.

Hemos realizado el proyecto de una cámara de reacciones de alto vacío dedicada a recibir los distintos test de diferentes tipos de detectores destinados a determinar el trazado de partículas nucleares durante la reacción. La cámara ha sido proyectada y construida en el periodo 2007-2008 con dimensiones de 1,0 x 1,0 x 1,5 m con una puerta lateral grande que permite la entrada de detectores considerados de porte grande (Figura 3.6). Esta cámara ha sido montada en la línea de Física Nuclear Básica del CNA sobre un soporte de acero y carbono, siguiendo modelos patrones de tratamiento y pintura. Hemos considerado la posibilidad y necesidad de movimiento, hecho que implica la utilización de un sistema especial de ruedas y nivelación. La cámara de reacciones de alto vacío ha sido proyectada con un número de bridas de modo que permite conexiones de gas, agua, vacío, señales de detectores, alto voltaje, alta corriente y de un sistema de visualización interna. Un sistema de control y medida de flujo de gas a baja presión ha sido instalado para trabajar con futuros detectores gaseosos.



Figura 3.6. Cámara de alto vacío de la línea de Física Nuclear Básica del Centro Nacional de Aceleradores / High-vacuum chamber mounted in the Basic Nuclear Physics line of the National Accelerator Centre in Seville.

En paralelo con el montaje de la estructura de la línea de FNB y con la experiencia obtenida con la primera generación de los detectores de trazado de haces nucleares, hemos trabajado en el desarrollo de nuevas tecnologías de detección. Una colaboración entre el Centro Nacional de Aceleradores (CNA), representado por la línea de Física Nuclear Básica (FNB) y el “Commissariat à l’Energie Atomique” (CEA) de Francia, trabaja con el objetivo de construir una segunda versión optimizada y más compacta de un detector de electrones secundarios (SeD).

Para presentar soluciones en los nuevos aceleradores en construcción en Europa, nos hemos propuesto estudiar detectores basados en hojas de emisiones de electrones, que actualmente componen la tecnología más puntera en detección. El acoplamiento de las hojas de emisiones de electrones con detectores de baja presión no está optimizado para altas frecuencias de conteo. A partir de este concepto, trabajamos en el proyecto y construcción de un prototipo de detector de electrones secundarios de baja presión acoplado a la tecnología de hojas de emisiones de electrones (mini Secondary electron Detector, mini-SeD) para medidas de alta corriente de haces de partículas nucleares.

Extendiendo nuestra actuación en este campo, el CNA, representado por el grupo de la línea de FNB, participa, desde 2008, como una de las 10 instituciones Europeas del proyecto “DIagnostics and Tracking for future particle Accelerators NETwork” (DITANET), financiado por la Asociación Marie Curie (2008-2011). Este proyecto contempla la formación de 20 jóvenes investigadores en los trabajos de diagnóstico y medidas de haces de partículas generados por las futuras instalaciones europeas de haces radioactivos.

Por otro lado, la actividad desarrollada por el Grupo de Investigación de Estructura de la Materia de la Universidad de Huelva en colaboración con el grupo de FNB del Centro Nacional de Aceleradores de Sevilla, ha estado enfocada principalmente a la identificación de partículas mediante la técnica de “Pulse Shape Analysis” (Análisis de Forma de Pulso) (Figuras 3.7 y 3.8). Para ello se han utilizado

desde haces de protones hasta de carbono, con energías comprendidas entre 5 y 12 MeV. Se han utilizado dos tipos de detectores de silicio: detectores de barrera superficial (surface barrier) y detectores NTD (Neutron Transmutation Doped), con espesores que van desde 17 micras hasta 500 micras.

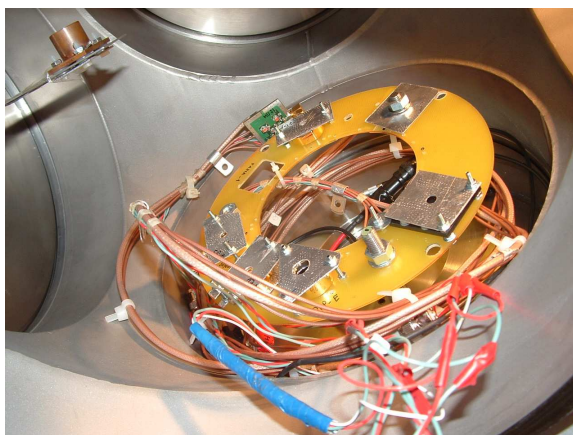


Figura 3.7. Vista de los detectores empleados en el análisis de forma de pulso / View of the detectors utilized in Pulse Shape Analysis.

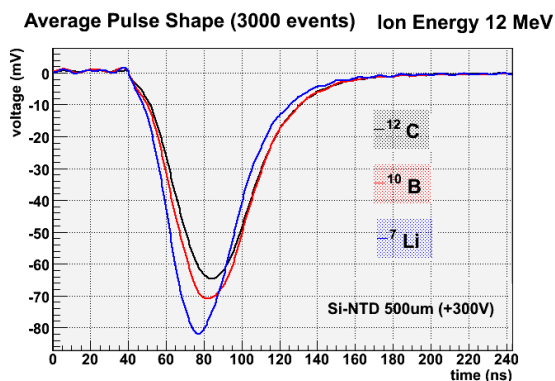


Figura 3.8. Formas de los distintos pulsos vistas en un osciloscopio / Shapes of different pulses, obtained with an oscilloscope.

The study of exotic nuclei at CNA is directly connected to the FAIR (Facility for Anti-proton and Ion Research). Within the HISPEC collaboration, CNA-Seville has the responsibility of designing a tracking system for charged particles to be installed in FAIR. This project is based on simulations, drawings and the construction of a beam-tracking prototype system in order to know the energy of the particles that cause the reaction.

Due to the large angular acceptance of the exotic nuclei, which is generated in their production, the trajectory must be reconstructed in order to correct optical aberrations and to obtain good resolutions. Due to the difficulties for obtaining beam time dedicated to tests in the biggest European laboratories, a Tandem accelerator is an excellent tool for the international scientific community to test detectors and electronics that can be used as nuclear particle trackers. With this aim in mind, we have furnished the CNA with equipment and have studied and have optimized the characteristics, production, transport and profile parameters of the beams produced by the CNA Tandem accelerator.

The project (DET_{NEX}: *Dispersión, Estructura y Tracking de Núcleos Exóticos*) is also related to this objective and was proposed and approved in 2006 by the Ministry of Education and Science (MEC), based on the High-Energy National Plan (code FPA2006-13807-C02-01, 3 year duration, 2007-2009).

From this point, the CNA Basic Nuclear Physics group is ready to start working with the beam line, aiming at holding different tests and detectors, particularly those that are dedicated to the tracking of nuclear particles. Such studies entail the

development of new nuclear instrumentation that measures experimentally the dispersion and reaction mechanisms of exotic nuclei.

The previous stage of this process was the establishment of certain parameters (energy, charge, state, diameter and current intensities) for the different types of stable ions that could be accelerated by the 3 MV Tandem accelerator. Thus, ions having a wide range of mass, from protons and alpha particles (^4He) to ^{58}Ni , were accelerated. We managed to measure energies ranging from some keV to 25 MeV and diverse ions with charge states between 1 and 8. We determined several optical parameters and studied the profiles of different beams with this procedure.

Moreover, new apparatus such as view ports, beam profile monitors (BPM) and magnets capable of deflecting the beam towards different directions were installed at CNA to allow beam profile measurements utilizing the Basic Nuclear Physics beam line.

We also planned and built a high-vacuum reaction chamber to receive different types of beam tracking detector tests. The chamber was designed and constructed in 2007-2008, with dimensions of 1.0 x 1.0 x 1.5 m. It has a big lateral door which allows the entrance of large-area detectors (Figure 3.6). The cavity was mounted in the new CNA Basic Nuclear Physics line, on a special support made of steel and carbon, and following standard treating and painting models. The use of wheels and a special levelling system gave mobility to the whole device. The reaction high-vacuum chamber was projected with a large number of flanges, so it can be connected to gas systems, water, vacuum, electronics, high current and voltages and view ports. A system that monitors and measures low-pressure gas flows was fitted in the chamber in case gaseous detectors are used in the future.

In parallel with the FNB beam line set-up and using the knowledge obtained from the first generation of nuclear-beam tracking detectors, we also worked in the development of new detection technology. A collaboration between the National Accelerator Centre (CNA) and the “Commissariat à l’Energie Atomique” (CEA, France) aims at making a new, optimized and more compact version of a secondary electron detector (SeD).

In order to provide solutions for the new accelerators that are under construction in Europe, we have proposed to develop detectors based on electron-emissive foils, which are the thinnest detection devices at the present time. The coupling of electron-emissive foils to low-pressure gas detectors is not optimized at high counting rates. Consequently, we have worked in the construction of a smaller secondary electron detector (mini-SeD) prototype, which consists of a low pressure gas detector coupled to an electron emissive foil that can measure high nuclear particle beam currents.

Since 2008, the CNA Basic Nuclear Physics group has been one of the 10 European institutions that take part into the Diagnostics and Tracking for future particles Accelerators Network (DITANET), which is funded by the Marie Curie Association. This programme is dedicated to the formation of 20 young researchers in the diagnostics and measurements of nuclear particle beams that will be generated at the future European radioactive ion beam (RIB) facilities.

The research that has been achieved at CNA by the Matter Structure Research Group (Universidad de Huelva) has been mainly focused on particle identification using Pulse Shape Analysis (Figures 3.7 and 3.8). Assorted beams were utilized for this purpose, ranging from protons to carbon, and with energies between 5 and 12 MeV. Besides this, two types of silicon detectors were employed: surface barrier detectors and NTD detectors (Neutron Transmutation Doped), with thicknesses between 17 and 500 microns.

3.4 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE ANÁLISIS DE CONTAMINANTES DEL MEDIO FÍSICO MEDIANTE TÉCNICAS BASADAS EN ACELERADORES (ACOMETA) / ANALYSIS OF POLLUTANTS OF THE PHYSICAL ENVIRONMENT THROUGH ACCELERATOR-BASED TECHNIQUES. ACOMETA RESEARCH UNIT

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 se están desarrollando son las siguientes:

- Contaminación de suelos y sedimentos de ríos y lagos.
- Drenaje ácido de minas.
- Contaminación atmosférica: aerosoles atmosféricos y emisiones de gases (F, Cl y S) producidos por la cocción de arcillas cerámicas.
- Contaminación atmosférica: aerosoles atmosféricos (polvo procedente de escombreras mineras).
- 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 precisas y no destructivas de metales (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.

También, se ha utilizado PIXE, RBS y microsonda de protones para realizar la especiación químico-mineralógica de las fases que contienen elementos pesados. En la Figura 3.9 se pueden observar algunos resultados obtenidos con estas técnicas en suelos mineros contaminados.

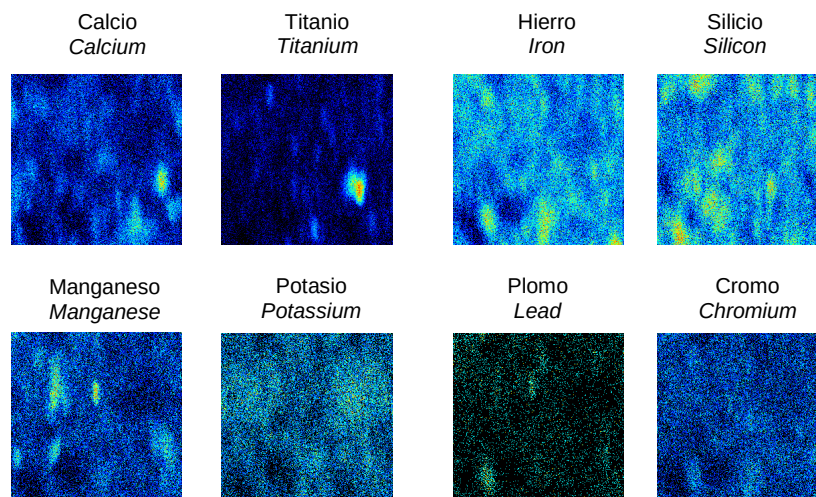


Figura 3.9. Mapeo de distintos elementos en muestras de suelos contaminados, realizado en la microsonda del CNA / Mapping of several elements in samples of contaminated soils using the CNA proton microprobe.

Actualmente, algunos de los miembros de la Unidad desarrollan varios proyectos en los que podrían mejorar los resultados esperados si se utilizan algunas de las técnicas disponibles en el CNA.

Por otra parte, la mayoría de los miembros de la Unidad, junto con personal del CNA, está comenzando un nuevo proyecto de investigación titulado **“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)”**, que en su mayor parte se desarrollará dentro del CNA. Las investigaciones que se realizarán estarán encaminadas a cubrir al menos parcialmente los siguientes objetivos:

- Evaluar el grado y tipo de contaminación por metales y otros compuestos inorgánicos de los suelos de uso agrícola, que permita resolver problemas de interés económico y de gran impacto social como es la protección de la salud pública.
- Determinar la influencia de las balsas de fosfoyesos en la posible contaminación radiactiva en suelos, analizando las posibles vías de impacto, ya sea provocada por resuspensión y posterior, o por aportación directa acompañando a los fertilizantes utilizados en los cultivos agrícolas.
- Definir el grado de biodisponibilidad de los elementos tóxicos en función de sus parámetros físicos, químicos y la mineralogía de los suelos y la transferencia de radionucleidos desde el suelo a las plantas.
- Identificar las posibles fuentes de contaminación difusa y puntual.
- Modelizar la metodología de trabajo para hacerla extensiva a zonas que presenten la misma problemática ambiental.
- Ensayar algunos tratamientos de remediación natural asistida, basados en la aplicación de enmiendas edáficas de bajo coste y mantenimiento, formuladas de acuerdo con las características del suelo y su carga contaminante.

The study of the Physical Environment considers a series of priority issues that are closely related. The scientists of this Research Unit are working on them and the lines that are currently being developed are the following:

- Pollution of soils and river and lake sediments.*
- Acid mine drainage.*
- Atmospheric pollution: atmospheric aerosols and gas emissions (F, Cl and S) produced by the firing of ceramic clays.*
- Atmospheric pollution: atmospheric aerosols (dust coming from waste mining dumps).*
- Environmental Physics and Biophysics.*
- Water Resources. Quality and management of water.*
- Technologies for the prevention and treatment of pollution.*

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

In addition to the above, we use the AMS capability for measuring very small concentrations of radionuclides in natural samples and for the resolution of current or past environmental problems.

PIXE, RBS and the proton microprobe have also been utilized to carry out the chemical-mineralogical speciation of phases that contain heavy elements. Some of the results achieved with these techniques in contaminated mine soils can be seen in Figure 3.9.

Currently, some members of the Unit are carrying out several projects in which the expected results may be improved using some of the techniques CNA provides.

On the other hand, the majority of the Unit members, along with CNA staff, are beginning a new research project entitled "Origin, composition and environmental effects of particulate atmospheric matter from mining waste dumps in the quality of air and soil of the Riotinto area (Huelva)", which will be conducted for the most part at CNA.

Investigations to be carried out will aim to cover the following goals:

- To assess the extent and type of pollution caused by metals and other inorganic compounds in agricultural soils. This will help to solve problems with economic interest and with great social impact, such as the protection of public health.*
- To determine the influence of phospho-gypsum pools in the possible radioactive soil contamination, analysing the possible ways of impact, whether caused by resuspension and subsequent sedimentation or by direct input through the fertilizers used in crops.*
- To define the bioavailability degree of toxic elements on the basis of their physical and chemical parameters, the soil mineralogy and the transfer of radionuclides from the ground to the plants.*
- To identify potential sources of diffuse and direct pollution.*

- *To model the work methodology, so it can be applied in other areas with the same environmental problems.*
- *To try some treatments for natural assisted remediation based on the implementation of edaphic low-cost amendments and made in accordance with the soil characteristics and the pollution load.*

4 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA / *SCIENTIFIC OUTPUT*

Se resumen a continuación los resultados de la actividad investigadora que, total o parcialmente, se han llevado a cabo por las distintas Unidades de Investigación del CNA.

The results arising from the research activity carried out, totally or partially, by the different CNA Research Units are summarized in the next sections.

4.1 PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS / *RESEARCH PROJECTS*

Structural and magnetic properties of SiC single crystals implanted with transition metals

Referencia / *Reference*: HH2005-0012

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia. Acción Integrada España-Hungría

Duración / *Project duration*: 2006-2007

Investigadores principales / *Principal investigators*: Gabor Battistig (Hungría) y Javier García López (España)

Microestructura y modos de crecimiento de capas finas de óxidos y su uso como “templates” para el desarrollo de materiales compuestos nanoestructurados

Referencia / *Reference*: MAT2004-01558

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Ciencia y Tecnología

Duración / *Project duration*: 2004-2007

Investigador principal / *Principal investigator*: Francisco Yubero Valencia

Estudios sobre espectrometría de masas con aceleradores (AMS), con especial énfasis en AMS de baja energía

Referencia / *Reference*: FIS2004-00495

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Ciencia y Tecnología

Duración / *Project duration*: 2004-2007

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel García León

Evaluación de la contaminación de suelos afectados por actividades mineras: problemática ambiental existente en el área de Río Tinto (España)

Referencia / *Reference*: CTM2005-05832

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2005-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Isabel González Díez

Nitrogen plasmas for surface functionalization of materials (PlasNitro)

Referencia / *Reference*: P07-FQM-03298

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2007-2010

Investigador principal / *Principal investigator*: José Cotrino

Estabilización oxidativa y recubrimientos protectores del polietileno de ultra alto peso molecular en prótesis articulares.

Referencia / *Reference*: MEC - PN - MAT2006-12603-C02-01

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2006-2010

Investigador principal / *Principal investigator*: J. A. Puértolas

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

Referencia / *Reference*: MAT2006-03519

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Javier García López

Formación de semiconductores magnéticos para aplicaciones en espintrónica mediante la implantación de iones de metales de transición

Referencia / *Reference*: SAB2006-0041

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2008-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Javier García López

Centro para ensayos de irradiación de circuitos integrados

Referencia / *Reference*: ESP2007-65914-C03-02

Entidad financiadora / *Funding*: MEC. Fondos FEDER

Duración / *Project duration*: 2007-2010

Investigador principal / *Principal investigator*: Yolanda Morilla García

Nueva fuente de iones para el acelerador tandem Van de Graaff de 3 MV del CNA y otro material adicional para la mejora de las prestaciones del acelerador

Referencia / *Reference*: FIS 2006/27275-E

Entidad financiadora / *Funding*: MEC

Duración / *Project duration*: 2006-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel García León

Reactores catalíticos de microcanales para la producción de hidrógeno a partir de alcoholes

Referencia / *Reference*: MAT2006-12386-C05-01

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: José Antonio Odriozola Gordón

Comercio e intercambio de metales en el Mediterráneo Occidental y Central (Siglo V a.C. a I d.C.)

Referencia / *Reference*: HUM2006-03154

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Caracterización físico-química y modelo de dispersión de alta resolución de metales derivados de emisiones industriales. Sistema Integrado de Modelización de Calidad de Aire en Andalucía, SIMAND

Referencia / *Reference*: P07-RNM-02729

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia

Duración / *Project duration*: 2008-2010

Investigador principal / *Principal investigator*: Jesús D. de la Rosa Díaz

Caracterización de la evolución temporal radioactiva de los aerosoles presentes en un emplazamiento exento de término fuente

Referencia / *Reference*: CTM2006-11105

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Antonio S. Baeza Espasa

Dispersión, estructura y tracking de núcleos exóticos

Referencia / *Reference*: FPA2006-13807-C02-01

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Educación y Ciencia

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Joaquín Gómez Camacho

Estudio y evaluación del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares del sur de España

Referencia / *Reference*: CSN2004-001

Entidad financiadora / *Funding*: Consejo de Seguridad Nuclear

Duración / *Project duration*: 2004-2007

Investigador principal / *Principal investigator*: Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

Estudio de la deposición de catalizadores y adsorbentes sobre superficies metálicas

Referencia / *Reference*: E04D046878CO

Entidad financiadora / *Funding*: Unión Europea. Programa ALBAN

Duración / *Project duration*: 2004-2007

Investigador principal / *Principal investigator*: Miguel Ángel Centeno Gallego

Técnicas ultrasensibles para la determinación de radionucleidos en materiales ambientales

Referencia / *Reference*: EXC/2005/RNM-419

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia

Duración / *Project duration*: 2006-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel García León

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

Referencia / *Reference*: A/010038/07

Entidad financiadora / *Funding*: Proyecto PCI-Mediterráneo, AEI

Duración / *Project duration*: 2008-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Francisco Javier Santos Arévalo

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

Referencia / *Reference*: P05-RNM-1197

Entidad financiadora / *Funding*: Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Gert Elis Gustaf Holm

Aplicaciones de técnicas de datación por isótopos radiactivos en ecosistemas naturales andaluces

Referencia / *Reference*: P07-RNM-02567

Entidad financiadora / *Funding*: Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía

Duración / *Project duration*: 2008-2012

Investigador principal / *Principal investigator*: Rafael García-Tenorio García-Balmaseda

Ayuda a la Consolidación del Grupo de Investigación RNM-138

Referencia / *Reference*: 2007/RNM-138-Investigador

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía

Duración / *Project duration*: 2007-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel García León

Diseño de aceros ferríticos-martensíticos de baja activación reforzados con óxidos y/o nanotubos de carbono

Referencia / *Reference*: EXC/2005/TEP-1048

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia

Duración / *Project duration*: 2006-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: José Antonio Odriozola Gordón

Realización de actividades de investigación en el estudio del patrimonio cultural

Referencia / *Reference*: -

Entidad financiadora / *Funding*: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH)

Duración / *Project duration*: 2008-Renovación Anual / *Updated annually*

Investigador principal / *Principal investigator*: Joaquín Gómez Camacho

Dispersión, estructura y tracking de núcleos exóticos

Referencia / *Reference*: FPA2006-04460-C02-01

Entidad financiadora / *Funding*: CICYT

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Joaquín Gómez Camacho

Núcleos en el límite de la estabilidad en el Centro Nacional de Aceleradores

Referencia / *Reference*: P07-FQM-02894

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía

Duración / *Project duration*: 2008-2012

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel Lozano Leyva

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

Referencia / *Reference*: INFN08-04

Entidad financiadora / *Funding*: MEC

Duración / *Project duration*: 2008-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Javier García López

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

Referencia / *Reference*: EXC/2005/HUM-493

Entidad financiadora / *Funding*: Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia

Duración / *Project duration*: 2006-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

Diagnostic techniques for future particle accelerators: a Marie Curie initial training network (DITANET)

Referencia / *Reference*: PITN-GA-08-2150

Entidad financiadora / *Funding*: Unión Europea / *European Union*

Duración / *Project duration*: 2008-2012

Investigador principal / *Principal investigator*: Joaquín Gómez Camacho

Instalación de un sistema de espectrometría de masas con acelerador (AMS) de muy baja energía en el Centro Nacional de Aceleradores

Referencia / *Reference*: ICTS2008-08

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Ciencia e Innovación

Duración / *Project duration*: 2008-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Joaquín Gómez Camacho

Centro de Física de partículas, astropartículas y nuclear

Referencia / *Reference*: CPAN08

Entidad financiadora / *Funding*: Ministerio de Ciencia e Innovación

Duración / *Project duration*: 2008-2012

Coordinador / *Coordinator*: Antonio Pich Zardoya (CSIC)

Investigador principal del CNA/ *CNA principal investigator*: Manuel García León

Estudio de viabilidad de un sistema de detección para la verificación de los tratamientos de radioterapia con intensidad modulada (IMRT)

Referencia / *Reference*: 2007/655

Entidad financiadora / *Funding*: INABENSA – ABENGOA

Duración / *Project duration*: 2007-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: M^a Isabel Gallardo Fuentes

Evaluation de l'impact de la pollution atmosphérique sur les monuments historiques de la ville de Salé (Maroc)

Referencia / *Reference*: AECI A/5507/06

Entidad financiadora / *Funding*: Agencia Española de Cooperación Internacional AECI

Duración / *Project duration*: 2007-2008

Investigador principal / *Principal investigator*: Manuel García León

Estudio de la composición del material particulado atmosférico con técnicas de análisis con haces de iones

Referencia / *Reference*: HI04-170

Entidad financiadora / *Funding*: Acción Integrada España-Italia

Duración / *Project duration*: 2006-2009

Investigador principal / *Principal investigator*: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo

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

Referencia / *Reference*: P06-TEP-01739

Entidad financiadora / *Funding*: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía.

Duración / *Project duration*: 2007-2010

Investigador principal / *Principal investigator*: Javier García López

4.2 CAPÍTULOS DE LIBROS / BOOK CHAPTERS

Metalistería de la Hispania Romana. Caracterización de orfebrería antigua mediante técnicas nucleares de análisis no destructivos

M. L. de la Bandera, B. Gómez-Tubío, M. A. Ontalba Salamanca, I. Ortega-Feliu, M. A. Respaldiza

2007. ISSN: 1133-2166.

Problemática post-minera derivada de la explotación de sulfuros polimetálicos

Isabel González Díez, Antonio Romero Baena

Madrid, España. S.E.M. 2008. p 152

Contaminación por material particulado atmosférico en el entorno de la Ría de Huelva.

Juan Luis Ramos Martin, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller, Ana María Sánchez de la Campa Verdone, Jesus Damian de la Rosa Diaz, Enrique Mantilla Sevilla, España. Consejería Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 2007. p 73

Problemática ambiental derivada de las explotaciones mineras a cielo abierto. La contaminación y sus efectos. Sevilla. Real Academia Sevillana de Ciencias

Isabel González Díez

2008. pp 286-307

Niveles de Radionucleidos en los Suelos del Norte de la Provincia de Huelva e Implicaciones Dosimétricas. Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo

I. López, Juan Pedro Bolívar Raya, Juan Carlos Fernández Caliani

Sevilla. Universidad de Sevilla. 2007. pp 236-242. ISBN: 978-84-690-41

4.3 ARTÍCULOS / ARTICLES IN PEER-REVIEWED JOURNALS

4.3.1 Revistas Nacionales / National Journals

Crítica científica del libro Mineralogía Aplicada. Salud y Medio Ambiente. Macla

Isabel González Díez

Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (2008). p 42

Influencia de la composición mineralógica sobre la movilidad de elementos tóxicos en suelos agrícolas afectados por explotaciones mineras de sulfuros (Faja Pirítica Ibérica)

I. González Díez, M. R. López Pérez, A. Romero Baena, J. C. Fernández Caliani, P. Aparicio Fernández, E. Galán Huertos
Geotemas (2008). Vol. 10, pp 977-980

Las emisiones de flúor, cloro y azufre en la industria cerámica estructural de Andalucía. Factores condicionantes y propuestas de mejora. Residuos

I. González Díez, E. Galán Huertos, A. Miras Ruiz
Revista Técnica (2008). Vol. SEP-OCT 08. Número 107, pp 42-55

Problemática de suelos afectados por explotaciones de sulfuros

I. González Díez, M. R. López Pérez, A. Romero Baena
Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (2008). Vol. 10, pp 61-76

Contaminación atmosférica de material particulado provocada por la extracción minera

J. D. de la Rosa Díaz
Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (2008). Vol. 10, pp 85-88

Source and fate of arsenic in Peña de Hierro mine. From mine wastes to the Tinto river

A. Romero Baena, I. González Díez
Memórias (2008). Vol. 12, pp 73-76

4.3.2 Revistas Internacionales / *International Journals*

Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South-West Spain

E. Galán Huertos, J. C. Fernández Caliani, I. González Díez, P. Aparicio Fernández, A. Romero Baena
Journal of Geochemical Exploration (2008). Vol. 98, Issue 3, pp 89-106

Trace elements contamination of agricultural soils affected by sulphide exploitation (Iberian pyrite belt, SW Spain)

María de los Reyes López Pérez, Isabel González Díez, Antonio Romero Baena
Environmental Geology (2008). Vol. 54, Issue 4, pp 805-818

Geochemistry of sediments from El Melah lagoon (NE Tunisia): a contribution for the evaluation of anthropogenic inputs

I. Prudencio, I. González Díez, I. Dias, E. Galán Huertos, F. Ruiz Muñoz
Journal of Arid Environments (2007). Vol. 69, Issue 2, pp 285-298

Partitioning, bioavailability and origin of heavy metals from the Nador lagoon sediments (Morocco) as a basis for their management

I. González Díez, E. Águila Sánchez, E. Galán Huertos
Environmental Geology (2007). Vol. 52, Issue 8, pp 1581-1593

Arsenic speciation study of PM_{2.5} in an urban area near a copper smelter

A. M. Sánchez de la Campa Verdone, J. D. de la Rosa Diaz, D. A. Sanchez-Rodas Navarro, V. Oliveira de Campos, X. Querol Carceller, J. A. Alastuey Urós, J. L. Gómez Ariza

Atmospheric Environment (2008). Vol. 42, Issue 26, pp 6487-6495

Characterization of a long range transport pollution episode affecting PM in SW Spain

J. Pey, X. Querol, J. de la Rosa, J. D. de la Rosa Diaz, Y. González Castanedo, Y. Gonzalez, A. Alastuey, L. Alados Arboledas, G. Gangoiti, A. M. Sánchez de la Campa Verdone, M. Sorribas Panero, V. Cachorro, C. Pio, M. Piñeiro, P. Lopez-Mahia, D. García-Gacio

Journal of Environmental Monitoring (2008). Issue 10, pp 1158-1171

Columnar aerosol optical properties during el Arenosillo 2004 summer campaign

N. Prats, V. Cachorro, M. Sorribas Panero, S. Mogo, A. Berjón, C. Toledano, A. M. de Frutos, J. D. de la Rosa Diaz, N. Laulainen, B. A. de la Morena Carretero

Atmospheric Environment (2008). Vol. 42, Issue 11, pp 2643-2653

Lower Carboniferous post-orogenic granites in Central-Eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes

P. Grosse, F. Söllner, M. A. Báez, A. J. Toselli, J. N. Rossi, J. D. de la Rosa Diaz

International Journal of Earth Sciences (2008). DOI: 10.1007/s00531-007-0297-5

Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) across Spain 1999-2005

X. Querol Carceller, J. A. Alastuey Urós, T. Moreno, M. M. Viana, S. Castillo Fernández, J. Pey, S. Rodríguez González, B. Artiñano Rodríguez, P. Salvador Romero, M. Sánchez, S. García Dos Santos, M. D. Herce Garraleta, R. Fernandez Patier, S. Moreno Grau, L. Negral, M. C. Minguillón, E. Monfort, M. J. Sanz, R. Palomo Marín, E. Pinilla Gil, E. Cuevas Agulló, J. D. de la Rosa Diaz, A. M. Sánchez de la Campa Verdone

Atmospheric Environment (2008). Vol. 42, Issue 17, pp 3964-3979

The strongest desert dust intrusion mixed with smoke over the Iberian Peninsula registered with Sun photometry

V. Cachorro, C. Toledano, N. Prats, M. Sorribas Panero, S. Mogo, A. Berjón, B. Torres, R. Rodrigo, J. D. de la Rosa Diaz, A. M. de Frutos

Journal of Geophysical Research: Atmospheres (2008). Vol. 113, Issue D14. Article number D14S04

Arsenic speciation of atmospheric particulate matter (PM₁₀) in an industrialised urban site in Southwestern Spain

D. A. Sánchez-Rodas Navarro, A. M. Sánchez de la Campa Verdone, J. D. de la Rosa Díaz, V. Oliveira de Campos, J. L. Gómez Ariza, X. Querol Carceller, J. A. Alastuey Urós

Chemosphere (2007). Vol. 66, Issue 8, pp 1485-1493

Geochemistry and origin of PM₁₀ in the Huelva region, Southwestern Spain

A. M. Sánchez de la Campa Verdoná, J. D. de la Rosa Díaz, J. A. Alastuey Urós, X. Querol Carceller, E. Mantilla
Environmental Research (2007). Vol. 103, Issue 3, pp 305-316

Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain

X. Querol Carceller, J. A. Alastuey Urós, M. Viana, F. Amato, T. Moreno, J. Pey, J. D. de la Rosa Díaz, A. M. Sánchez de la Campa Verdoná, B. Artiñano Rodríguez de Torres, P. Salvador Romero, S. García Dos Santos, R. Fernández Patier, S. Moreno Grau, L. Negral, M. C. Minguillón, E. Monfort, E. Gil, A. Inza, L. A. Ortega, J. M. Santamaría, J. Zabalza
Atmospheric Environment (2007). Vol. 41, Issue 34, pp 7219-7231

²²⁶Ra and ²²⁸Ra determination in environmental samples by alpha-particle spectrometry

Juan Luis Aguado Casas, Juan Pedro Bolívar Raya, R. García-Tenorio
Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2008). Vol. 278, Issue 1, pp 191-199

Behavior, distribution and variability of surface ozone at an arid region in the South of Iberian Peninsula (Seville, Spain)

J. A. Adame Carnero, J. P. Bolívar Raya, B. A. de la Morena Carretero, F. Godoy, A. Lozano Garcia, J. Contreras
Chemosphere (2008). Vol. 70, Issue 5, pp 841-849

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

J. P. Bolívar Raya, J. E. Martín Domínguez, R. García-Tenorio García-Balmaseda, J. P. Pérez Moreno, J. L. Mas Balbuena
Applied Radiation and Isotopes (2008). Vol 67, Issue 2, pp 345-356

Water quality and distribution of trace elements in the Doñana aquifer (SW Spain)

M. Olías Álvarez, F. González García, J. C. Cerón García, J. P. Bolívar Raya, J. González Labajo, S. García López.
Environmental Geology (2008). Vol. 55, Issue 7, pp 1555-1568

An efficiency calibration for ²¹⁰Pb and ⁷Be measurements by gamma-ray spectrometry in atmospheric filters

F. J. Martínez Ruiz, E. Borrego Flores, E. Gutiérrez de San Miguel, J. P. Bolívar Raya
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (2007). Proceedings of the 10th International Symposium on Radiation Physics - ISRP 10. Vol. 580, Issue 1, pp 663-666

Quantification of Saharan and local dust impact in an arid Mediterranean area by the positive matrix factorization (PMF) technique

J. Nicolás, M. Chiari, J. Crespo, I. García Orellana, F. Lucarelli, S. Nava, C. Pastor, E. Yubero
Atmospheric Environment (2008). Vol. 42, Issue 39, pp 8872-8882

Colour quenching corrections on the measurement of ^{90}Sr through Cerenkov counting

F. Mosqueda Peña, M. Villa Alfageme, F. Vaca Galán, J. P. Bolívar Raya
Analytica Chimica Acta (2007). Vol. 604, Issue 2, pp 184-190

Development and operational performance of a single calibration chamber for radon detectors

J. L. Mas Balbuena, A. Vargas, I. López Coto, J. P. Bolívar Raya, R. García-Tenorio
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (2007). Vol. 579, Issue 3, pp 1135-1140

Radioactivity levels in aerosol particles surrounding a large TENORM waste repository after application of preliminary restoration work

E. Borrego, J. L. Mas Balbuena, J. E. Martín Domínguez, J. P. Bolívar Raya, F. Vaca Galán, J. L. Aguado Casas
The Science of the Total Environment (2007). Vol. 377, Issue 1, pp 27-35

IBA characterisation of glasses from the archaeological site of “La Alcazaba”, Almería (Spain)

M.A. Respaldiza, I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubío, F. Capel, A. Suárez, F. Barba, F. Arias, F. Alcalá
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2008). Vol. 266, Issue 8, pp 1587-1590

The new Cyclone 18/9 beam transport line at the CNA (Sevilla) for high energy PIXE applications

J. García López, I. Ortega-Feliu, Y. Morilla, A. Ferrero
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2008). Vol. 266, Issue 8, pp 1583-1586

Depth Profiling and Compositional Study of Implanted Surface Layers and Nitride Multilayers by a Combined GDOES, NRA and RBS Analysis

C. Fernández-Ramos, J. García-López, A. Fernández, R. Martínez, J. A. García, R. J. Rodríguez
Plasma Processes and Polymers (2007). Vol 4, Issue S1, pp S851-S856

Vanadium- Al_2O_3 nanostructured thin films prepared by pulsed laser deposition: Optical switching

S. Núñez-Sánchez, R. Serna, M. Jiménez de Castro, J. García López, A. K. Petford-Long, J. F. Morhange
Applied Surface Science (2007). Vol 253, Issue 19, pp 8136-8140

The use of a portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer for the characterization of patinas from the architectural heritage of the Iberian peninsula

C. Vázquez-Calvo, B. Gómez Tubío, M. Álvarez de Buergo, I. Ortega Feliu, R. Fort, M. A. Respaldiza
X-Ray Spectrometry (2008). Vol. 37, Issue 4, pp 399-409

Exhalation of ^{222}Rn from phosphogypsum piles located at the Southwest of Spain

M. C. Dueñas Buey, J. P. Bolívar Raya, E. Liger Pérez, S. Cañete Hidalgo, M. Pérez Martínez

Journal of Environmental Radioactivity (2007). Vol. 95, Issue 2-3, pp 63-74

Fine particle concentrations in buses and taxis in Florence, Italy

M. C. Fondelli, E. Chellini, T. Yli-Tuomi, I. Cenni, A. Gasparrini, S. Nava, I. García-Orellana, A. Lupi, D. Grechi, S. Mallone, M. Jantunen

Atmospheric Environment (2008). Vol. 42, Issue 35, pp 8185-8193

Study of the composition transfer in the pulsed laser deposition of silicon substituted hydroxyapatite thin films

E.L. Solla, J.P. Borrajo, P. González, J. Serra, S. Chiussi, B. León, J. García López

Applied Surface Science (2007). Vol 253, Issue 19, pp 8282-8286

Pulsed laser deposition of silicon substituted hydroxyapatite coatings from synthetical and biological sources

E.L. Solla, P. González, J. Serra, S. Chiussi, B. León, J. García López

Applied Surface Science (2007). Vol 254, Issue 4, pp 1189-1193

Microscopic and macroscopic dielectric description of mixed oxide thin films

F.J. Ferrer, F. Yubero, J.A. Mejías, F.J. García-López, A.R. González-Elipe

Journal of Applied Physics (2007). Vol 102, Issue 8. Article number: 084112

Correlation between Mn oxidation state and magnetic behaviour in Mn/ZnO multilayers prepared by sputtering

E. Céspedes, J. García-López, M. García-Hernández, A. de Andrés, C. Prieto

Journal of Applied Physics (2007). Vol 102, Issue 3. Article number: 033907

Optical activation of Er^{3+} in Al_2O_3 during pulsed laser deposition

M. Jiménez de Castro, A. Suárez-García, R. Serna, C.N. Afonso, J. García López

Optical Materials (2007). Vol 29, Issue 5, pp 539-542

Optical refractive index and static permittivity of mixed Zr-Si oxide thin films prepared by ion beam induced CVD

F.J. Ferrer, F. Frutos, J. García-López, A.R. González-Elipe, F. Yubero

Thin Solid Films (2007). Vol 516, Issue 2-4, pp 481-485

Influence of the yttria content on the mechanical properties of $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ thin films prepared by EB-PVD

I.M. Ochando, D. Cáceres, J. García-López, R. Escobar-Galindo, R.J. Jiménez-Rioboó, C. Prieto

Vacuum (2007). Vol 81, Issues 11-12, pp 1457-1461

Accelerator-Based Research Activities at "Centro Nacional De Aceleradores", Seville (Spain)

M. A. Respaldiza Galisteo, F. J. Ager Vázquez, A. Carmona Luque, F. J. Ferrer Fernández, M. García León, F. J. García López, I. García Orellana, B. M. Gómez Tubío, Y. Morilla García, M. A. Ontalba Salamanca, I. Ortega Feliu

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2008). Vol. 266, Issue 8, pp 2105-2109

Gold and electrum jewellery in the strategic area of Gadir in Phoenician period

I. Ortega-Feliu, B. Gómez-Tubío, M.Á. Ontalba Salamanca, M.Á. Respaldiza, M.L. de la Bandera, G. Ovejero Zappino

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2007). Vol. 260, Issue 1, pp 329-335

Microstructural and chemical characterization techniques for nanostructured and amorphous coatings

V. Godinho, C. Fernández Ramos, D. Martínez Martínez, J. García López, J. C. Sánchez López, A. Fernández

European Physical Journal: Applied Physics (2008). Vol. 43, Issue 3, pp 333-341

Heterostructure and composition depth profile of low-temperature processed lead titanate-based ferroelectric thin films prepared by photochemical solution deposition

I. Bretos, R. Jiménez, E. Rodríguez-Castellón, J. García López, M.L. Calzada

Chemistry of Materials (2008). Vol. 20, Issue 4, pp 1443-1450

Complex dielectric function of ion implantation amorphized SiC determined by spectroscopic ellipsometry

T. Lohner, P. Petrik, Z. Zolnai, G. Battistig, J. García López, Y. Morilla, A. Koós, M. Fried

Physica Status Solidi C: Current Topics in Solid State Physics (2008). Vol. 5, Issue 5, pp 1374-1377

Photochemical solution deposition of lead-based ferroelectric films: avoiding the PbO-excess addition at last

I. Bretos, R. Jimenez, J. Garcia Lopez, L. Pardo, M. L. Calzada

Chemistry of Materials (2008). Vol. 20, Issue 18, pp 5731-5733

Quantification of self-sputtering and implantation during pulsed laser deposition of gold

A. Perea, J. Gonzalo, C. Budtz-Jorgensen, G. Epurescu, J. Siegel, C. N. Afonso, J. Garcia Lopez

Journal of Applied Physics (2008). Vol. 104, Issue 8, Article Number 084912

Polychromated sculptures of Mercadante and Millan analysed by non-destructive technique of XRF

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

Lasers in the Conservation of Artwork, Lacona VII, Taylor & Francis Group, London, New York, Leiden, 2008, pp. 79-88

Reactions induced by 35 MeV ^6He beam on ^{12}C and ^{14}C

M. Milin, A. Maggio, L. Acosta, M.A.G. Alvarez, C. Angulo, E. Casarejos, N. de Sereville, A. Di Pietro, P. Figuera, M. Fisichella, M. Freer, Th. Keutgen, M. Lattuada, M. Majer, I. Martel, D. Miljanic, F. Pansini, D. Price, A.M. Sanchez-Benitez, N. Soic, M. Uroic, M. Zadro

The European Physical Journal: Special Topics (2007). Vol. 150, Number 1, pp 43-46

Alpha-particle production in the scattering of ^6He by ^{208}Pb at energies around the Coulomb barrier

D. Escrig, A. M. Moro Muñoz, M. A. González Álvarez, C. Angulo, M.J.G. Borge, J. Cabrera, S. Cherubini, P. Demaret, P. Figueira, M. Freer, J. J. Gómez Camacho, M. Gulino, O. R. Kakuee, C. Metelco, J. Rahighi, K. Rusek, D. Smirnov, O. Tengblad, V. Ziman

Nuclear Physics A (2007). Vol. 792, Issue 1-2, pp 2-17

Pigment identification using X-ray fluorescence in a polychromated sculpture by Pedro Millán

A. Kriznar, M. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega

X-Ray Spectrometry (2008). Vol. 37, Issue 4, pp 355-359

A comparison of pigments applied in an original painting by El Greco and in a copy by an anonymous follower

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

Actas de CHRESP 2008, Liubliana, Eslovenia, 10-12 de Noviembre de 2008, NUK, Liubliana 2008, p. 245

DETNEEX project: dispersion, structure and tracking of exotic nuclei

M. A. G. Alvarez, J. Gomez-Camacho, J. M. Espino, I. Mukha, I. Martel

Nuclear Physics A (2007). Vol. 787, Issue 1-4, pp 443c-450c

Structure of exotic nuclei from direct reactions

A. Gillibert, N. Alamanos, M. Alvarez, F. Auger, D. Beaumel, E. Becheva, Y. Blumenfeld, R. Dayras, F. Delaunay, A. Drouart, G. de France, L. Giot, B. Jurado, N. Keeley, K.W. Kemper, V. Lapoux, W. Mitting, X. Mougeot, L. Nalpas, A. Obertelli, N. Patronis, A. Pakou, E. C. Pollacco, R. Raabe, P. Roussel-Chomaz, F. Rejmund, M. Rejmund, H. Savajols, J. A. Scarpaci, J. L. Sida, F. Szaka, S. Stepantsov, Ch. Theisen, R. Wolski

Nuclear Physics A (2007). Vol. 787, Issue 1-4, pp 423c-432c

Observation of two-proton radioactivity of ^{19}Mg by tracking the decay products

I. Mukha, K. Summerer, L. A. Acosta Sánchez, I. Martel Bravo, M. A. González Álvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina Gil, J. M. Espino Navas, J. E. García Ramos, A. Fomichev, H. Geissel, J. J. Gómez Camach, L. Grigorenko, J. Hoffmann
Physical Review Letters (2007). Vol. 99, Issue 18, Article Number: 182501

Study of N = 16 for Ne isotopes

A. Gillibert, A. Obertelli, N. Alamanos, M. Alvarez, F. Auger, R. Dayras, A. Drouart, G. de France, B. Jurado, N. Keeley, V. Lapoux, W. Mittig, X. Mougeot, L. Nalpas, A. Pakou, N. Patronis, E. Pollacco, F. Rejmund, M. Rejmund, P. Roussel-Chomaz, H. Savajols, F. Skaza, Ch. Theisen

The European Physical Journal: Special Topics (2007). Vol. 150, Number 1, pp 161-163

Study of the elastic scattering of ^6He from ^{208}Pb at energies around the Coulomb barrier

A.M. Sanchez-Benitez, D. Escrig, M.A.G. Alvarez, M.V. Andres, C. Angulo, M.J.G. Borge, J. Cabrera, S. Cherubini, J.M. Espino, P. Figuera, M. Freer, J.E. Garcia-Ramos, J. Gomez-Camacho, M. Gulino, O.R. Kakuee, I. Martel, C. Metelco, A.M. Moro, J. Rahighi, K. Rusek, D. Smirnov, O. Tengblad, P. Van Duppen, V. Ziman.

Nuclear Physics A (2008). Vol. 803, Issue 1-2, pp 30-45

Application of diamond detectors in tracking of heavy ion slowed down radioactive beams

P. Bednarczyk, E. Berdermann, J. Gerl, M. Gorska, I. Kojouharov, M. Pomorski, M. Rebisz, B. Voss, L. Acosta, R. Berjillos, I. Martel, M.A.G. Álvarez, J.M. Espino, J.L. Flores, I. Mukha, R. Wolski

Acta Physica Polonica B (2007). Vol. 38, Issue 4, pp 1293-1296

Proton-proton correlations observed in two-proton decay of ^{19}Mg and ^{16}Ne

I. Mukha, K. Suemmerer, L. Acosta, M.A.G. Alvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina-Gil, J. Espino, A. Fomichev, J.E. Garcia-Ramos, H. Geissel, J. Gomez-Camacho, L. Grigorenko, O. Kiselev, A. Korshennikov, N. Kurz, Yu. Litvinov, I. Martel, C. Nociforo, M. Pfitzner, C. Rodriguez-Tajes, E. Roeckl, M. Stanoiu, H. Weick, P.J. Woods

Physical Reviews C (2008). Vol. 77, Issue 6, Article Number: 061303(R)

^{129}I record in a sediment core from Tinto River (Spain)

F. J. Santos, J. M. López-Gutiérrez, M. García-León, H.-A. Synal, E. G. San Miguel

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2007). Vol. 259, Issue 1, pp 503-507

Status of the compact 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

E. Chamizo, J.M. López-Gutiérrez, A. Ruiz-Gómez, F.J. Santos, M. García-León, C. Maden, V. Alfimov

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2008). Vol. 266, Issue 10, pp 2217-2220

Plutonium measurements on the 1 MV AMS facility at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

E. Chamizo, S.M. Enamorado, M. García-León, M. Suter, L. Wacker
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interaction with Materials and Atoms (2008). Vol. 266, Issue 22, pp 4948-4954

Isolation of Pu-isotopes from environmental samples using ion chromatography for accelerator mass spectrometry and alpha spectrometry

E. Chamizo, M. C. Jiménez-Ramos, L. Wacker, I. Vioque, A. Calleja, M. García-León, R. García-Tenorio
Analytica Chimica Acta (2008). Vol. 606, Issue 2, pp 239-245

Characterisation of hot particles remaining in soils from Palomares (Spain) using a nuclear microprobe

J. García López, M. C. Jiménez-Ramos, M. García-León, R. García-Tenorio
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms (2007). Vol. 260, Issue 1, pp 343–348

Numerical analysis of alpha spectra using two different codes

S. Hurtado, M.C. Jimenez-Ramos, M. Villa, I. Vioque, G. Manjón y R. García-Tenorio
Applied Radiation Isotopes (2008). Vol. 66, Issue 6-7, pp 808-812

Levels, distribution and bioavailability of transuranic elements released in the Palomares accident (Spain)

M.C. Jimenez-Ramos, I. Vioque, R. García-Tenorio y M. García-León
Applied Radiation Isotopes (2008). Vol. 66, Issue 11, pp 1679-1682

4.4 OTRAS PUBLICACIONES / OTHER PUBLICATIONS

Non-destructive XRF analysis of pigments in a 15th century panel painting

A. Križnar, M. V. Muñoz, F. de la Paz, M. A. Respaldiza, M. Vega
(2008) link: <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/177Kriznar.pdf>.

Discovery of two-proton radioactivity of ^{19}Mg by tracking the decay products

I. Mukha, K. Suemmerer, L. Acosta, M.A.G. Alvarez, E. Casarejos, A. Chatillon, D. Cortina-Gil, J. Espino, A. Fomichev, J.E. Garcia-Ramos, H. Geissel, J. Gomez-Camacho, L. Grigorenko, O. Kiselev, A. Korshennikov, N. Kurz, Yu. Litvinov, I. Martel, C. Nociforo, M. Pfutzner, C. Rodriguez-Tajes, E. Roeckl, M. Stanoiu, H. Weick, P.J. Woods

The Scientific report of GSI (the Gesellschaft für Schwerionenforschung Institut) in 2007, p.110; <http://www.gsi.de/informationen/wti/library/scientificreport2007/PAPE RS/NUSTAR-EXPERIMENTS-02.pdf>

4.5 PARTICIPACIÓN EN CONGRESOS / PAPERS PRESENTED AT CONFERENCES AND MEETINGS

4.5.1 Congresos Nacionales / National Meetings

Aplicación de la Microsonda de Protones en la Especiación Mineralógica de Elementos Traza en Suelos Contaminados de la Faja Pirítica (Riotinto, España)

Isabel González Díez, María de los Reyes López Pérez, J. García, Antonio Romero Baena

Sevilla. Sociedad Española de Mineralogía (SEM) 2008. pp 132-133

Influencia de la Composición Mineralógica Sobre la Movilidad de Elementos Traza en Suelos Agrícolas Afectados Por Explotaciones Mineras de la Faja Pirítica Ibérica

Isabel González Díez, María de los Reyes López Pérez, Antonio Romero Baena, Juan Carlos Fernández Caliani, Patricia Aparicio Fernández, Emilio Galán Huertos

VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria. España. 2008. p 295

Problemática Post-Minera Derivada de la Explotación de Sulfuros Polimetálicos

Isabel González Díez

Sevilla. Sociedad Española de Mineralogía SEM. 2008. pp 61-75

Consideraciones Químico-Mineralógicas Sobre la Movilidad de Elementos Tóxicos en Suelos Afectados por Explotaciones Mineras de Sulfuros (Faja Pirítica Ibérica)

Isabel González Díez, María de los Reyes López Pérez, Antonio Romero Baena, Emilio Galán Huertos

Jornada Científica de la Sociedad Española de Arcillas (SEA). Sevilla. 2007. p 22

Contaminación Por Metales Pesados en Suelos Afectados por Explotaciones de Sulfuros (Faja Pirítica)

Isabel González Díez, María de los Reyes López Pérez, Emilio Galán Huertos

XX Reunión Anual de la Sociedad Española de Arcillas. Sevilla. Sociedad Española de Arcillas. 2007. p 22

Concentraciones de Ozono Superficial en Andalucía: Zonificación. Actas VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)

Benito Arturo de la Morena Carretero, José Antonio Adame Carnero, J. Contreras, Antonio Lozano García, F. Godoy, Miguel Ángel Hernández Ceballos, Juan Pedro Bolívar Raya

VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). Madrid. 2008. pp 1-29

Episodios de Ozono en el Área Metropolitana de Sevilla (España)

José Antonio Adame Carnero, Antonio Lozano García, J. Contreras, Daniel Domínguez López, Juan Pedro Bolívar Raya, Benito Arturo de la Morena Carretero, F. Godoy

Actas de la VI Asamblea Luso Española de Geodesia y Geofísica. Tomar (Portugal). 2008. pp 105-106

Ciencia y tecnología Nuclear en el CNA

Joaquín Gómez Camacho.

Red temática de Física Nuclear. Santiago de Compostela, 17-19 de septiembre de 2008

Datación por radiocarbono mediante AMS en el Centro Nacional de Aceleradores (CNA)

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

XXXI Biental de la Real Sociedad de Física. Granada, 10-14 septiembre de 2007

Análisis no destructivo de monedas romanas de Ilipa (II-I A.C.) mediante técnicas nucleares

Ana Isabel Moreno-Suarez, Blanca Gómez-Tubío, Miguel A. Respaldiza, Francisca Chavez, Inés Ortega-Feliu, M. Ángeles Ontalba-Salamanca y Francisco J. Ager

III Encuentro de Física Nuclear, Santiago de Compostela, 17-19 de septiembre de 2008

La técnica de datación por radiocarbono mediante AMS

F. J. Santos, I. Gómez-Martínez

II Seminario Hispano-Marroquí de especialización en Arqueología, Cádiz, 5-7 de septiembre del 2008

La Espectrometría de Masas con Aceleradores en el CNA: una herramienta al servicio de la comunidad científica

J. M. Gómez-Guzmán, E. Chamizo, S. M. Enamorado, M. García-León, I. Gómez-Martínez, J. M. López-Gutiérrez, A. R. Pinto, A. Ruiz, F. J. Santos Arévalo

III Encuentro de Física Nuclear, Santiago de Compostela, 17-19 de septiembre de 2008

El Centro Nacional de Aceleradores: Qué es, qué ofrece y cómo poder usarlo por todos los laboratorios

F. J. Santos

V Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental. Jaca, 28-30 mayo 2008

PIXE analysis of atmospheric aerosols. Some applications.

I. García-Orellana

Reunión Española de Ciencia y Tecnología de Aerosoles, RECTA 2008. Torremolinos, Málaga, 2008

4.5.2 Congresos Internacionales / *International Meetings*

A Multivariate Approach to the Environmental Evaluation of Three Peri-Mediterranean Lagoons

Francisco Ruiz Muñoz, Manuel Abad de los Santos, Emilio Galán Huertos, Isabel González Díez, M.I. Prudêncio, M.I. Dias, N. Hamouni

International Symposium in Marine Sciences. Valencia, España. UCV. 2007. pp 80-88

Trace Element Storage By Efflorescent Sulphates in Acidic Streams

Antonio Romero Baena, Isabel González Díez, Emilio Galán Huertos

Frontiers in Mineral Sciences 2007. Mineralogical Society. Cambridge, Reino Unido. pp 135-135

Aerosol Carbonaceous Species Characterization in the South of Iberian Peninsula

Ana María Sánchez de la Campa Verdone, C. Pio, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Xavier Querol Carceller, José Andrés Alastuey Urós

9th International Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere. Berkeley, EEUU. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2008. pp 12-14

High PM₁ and Ozone Levels in the Cadiz Gulf During the Galicia Fires of Summer 2006

Jesús Damián de la Rosa Díaz, Ariel Fabián Stein, Yolanda González Castanedo, Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller, Juan Contreras González, Ana María Sánchez de la Campa Verdone

European Aerosol Conference 2007. Austria. p 23

Arsenic Species Levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Urban Monitoring Station (Huelva, SW Spain)

Ana María Sánchez de la Campa Verdone, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Daniel Alejandro Sánchez-Rodas Navarro, Vanessa Oliveira de Campos, Xavier Querol Carceller, José Andrés Alastuey Urós, Jose Luis Gómez Ariza

European Aerosol Conference 2007. Austria. p 47

Air Masses Origin and Chemical Characterization of PM in a Rural Background Monitoring Station in the Southwest of Spain

Yolanda González Castanedo, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Sonia Castillo Fernández, Ana María Sánchez de la Campa Verdone, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller, Victoria Cachorro

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Universidad de Tesalónica. 2008. pp 1-2

Characterization of Levels and Chemical Composition in PM₁₀ and PM_{2.5} in an Urban Background near a Copper Smelting (Huelva)

Rocío Fernández Camacho, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Ana María Sánchez de la Campa Verdone, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. pp 3-4

Carbon Species of PM₁₀ and PM_{2.5} in Two Urban Monitoring Station of South of Spain

Ana María Sánchez de la Campa Verdoná, C. Pio, Jesús Damián de la Rosa Díaz, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. pp 5-6

Levels and Composition of Atmospheric Particulate Matter Deposited in an Industrial Area in the Southwest of Spain

Sonia Castillo Fernández, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Yolanda González Castanedo, Rocío López Picón, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. pp 6-7

Possible Urban Biological Indicator of Heavy Metal Content in Air Particulate Matter

Luisiana Morales Zamudio, A. Fierro Cabo, M. A. Domínguez Crespo, Jesús Damián de la Rosa Díaz

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. pp 8-9

Saharan dust impact in central Italy: a review on many year elemental data records

G. Calzolari, M. Chiari, F. Lucarelli, F. Mazzei, S. Nava, I. G. Orellana, S. Portarena, P. Prati, R. Udisti, G. Valli, R. Vecchi and E. Yubero.

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. Book of abstracts, Abstract T06A086O

An integrated approach to assess air pollution threats to cultural heritage: the case-study of Michelozzo's Courtyard in Florence (Italy)

R. Vecchi, F. Becherini, A. Bernardi, A. Bonazza, M. Chiari, I. García Orellana, F. Lucarelli, N. Ludwig, A. Migliori, S. Nava, C. Sabbioni, and G. Valli.

European Aerosol Conference. Tesalónica, Grecia. Thessalonica University. 2008. Book of abstracts, Abstract T15A002O

Niveles y Caracterización del Aerosol Carbonáceo Grueso (PM₁₀) en una Estación Rural y de Fondo Urbano del Suroeste de España

Ana María Sánchez de la Campa Verdoná, Jesús Damián de la Rosa Díaz, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller, C. Pio

6ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Tomar, Portugal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Tomar. 2008. pp 1-2

Concentrations and Activity Ratios of Uranium Isotopes in Groundwater from Doñana National Park, South of Spain

Juan Pedro Bolívar Raya, Francisca González García, Jesús González Labajo, Manuel Olías Álvarez

7th International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII). Natural Radiation Environment Association. Rodas (Grecia). 2007. p 41

^{226}Ra and ^{228}Ra Determination in Environmental Samples by Alpha-Particle Spectrometry

Juan Pedro Bolívar Raya, Juan Luis Aguado Casas, R. García-Tenorio

7th International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII). Natural Radiation Environment Association. Rodas (Grecia). 2007. p 88

An Improved Method to Determine ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po in Air Aerosol Filters

Juan Pedro Bolívar Raya, Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, T. Teran

7th International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII). Natural Radiation Environment Association. Rodas (Grecia). 2007. p 99

External Occupational Exposures in Some Norm Industries Located At the South of Spain

Juan Pedro Bolívar Raya, R. García-Tenorio

7th International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-VII). Natural Radiation Environment Association. Rodas (Grecia). 2007. p 100

^7Be , ^{210}Pb and ^{210}Po Concentrations in Aerosols in Coastal Areas of Southwest of Spain

Juan Pedro Bolívar Raya, Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, T. Terán

European Aerosol Conference 2007. Austria.

Occupational Exposures in a Phosphate Fertiliser Industry Located At Huelva (Southwestern Spain)

José Luis Mas Balbuena, Juan Pedro Bolívar Raya, Juan Pedro Pérez Moreno, José Enrique Martín Domínguez, Esther Flores Borrego

5th International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V). Sevilla, España. 2007. pp 42-44

Activity Ratios of Natural Radionuclides As Markers of Changes in the Policy of Norm Wastes Released By Industries Located At the South West of Spain

Juan Pedro Bolívar Raya, Juan Luis Aguado Casas, Enrique Gutiérrez de San Miguel Herrera, Esther Borrego Flores, R. García-Tenorio

5th International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V). Sevilla, España. 2007. p 123

Analysis of the Ozone Concentrations in Seville Metropolitan Area (Spain)

José Antonio Adame Carnero, Antonio Lozano García, Benito Arturo de la Morena Carretero, J. Contreras, Juan Pedro Bolívar Raya, F. Godoy
Geophysical Research Abstracts. General Assembly of the European Geosciences Union. 2007. Austria

Radium and Uranium Isotopes in Spanish Phosphogypsum Leachates

Juan Pedro Bolívar Raya, Juan Luis Aguado Casas, R. García-Tenorio
5th International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V). Sevilla, España. 2007. pp 107

PIXE Technique Contribution In Archaeometallurgical Studies

M. A. Ontalba Salamanca, B. Gómez Tubío, I. Ortega-Feliu, M. A. Respaldiza
20th International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry (CAARI 2008), 10-15 de Agosto de 2008, Fort Worth, Texas (Estados Unidos)

Ozone Concentration Variations at El Arenosillo (Southwestern Spain) under Mesoscale Circulations.

Benito Arturo de la Morena Carretero, José Antonio Adame Carnero, Juan Pedro Bolívar Raya
Geophysical Research Abstracts. General Assembly of the European Geosciences Union. 2007. Austria

Levels and Chemical Composition of PM₁₀ and PM_{2.5} in "El Arenosillo" Rural Monitoring Station (SW Spain)

Yolanda González Castanedo, Jesús Damián de la Rosa Díaz, Ana María Sánchez de la Campa Verdoná, José Andrés Alastuey Urós, Xavier Querol Carceller, Juan Pedro Bolívar Raya, Victoria Cachorro, Mar Sorribas Panero
European Aerosol Conference 2007. Austria. p 28

Variability of NO, NO₂, O₃, SO₂ and Toluene Measured With a DOAS System At Puertollano (Spain).

A. Saiz López, Alberto Notario, José Albaladejo, F. Poblete, José Antonio Adame Carnero, Daniel Domínguez López, Juan Pedro Bolívar Raya
Geophysical Research Abstracts. General Assembly of the European Geosciences Union. 2007. Austria

Applications of High Energy PIXE using 18 MeV protons to the study of Cultural Heritage samples

J. García-López, I. Ortega-Feliu, R. Bugoi, Y. Morilla
20th International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry (CAARI 2008), 10-15 de Agosto de 2008, Fort Worth, Texas (Estados Unidos)

Early stages of the ion irradiation tests for space application devices at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

Y. Morilla, J. García López and J. Labrador
20th International Conference on the Application of Accelerators in Research and Industry (CAARI 2008), 10-15 de Agosto de 2008, Fort Worth, Texas (Estados Unidos)

New facilities for ion irradiation tests of space application devices at the Centro Nacional de Aceleradores (Spain)

Y. Morilla, J. García López and J. Labrador

8th International Workshop on Irradiation effects on Semiconductor devices for space applications (8th RASEDA), 15-17 de Diciembre, 2008, Tsukuba, Japón

Effect of substrate doping on the magnetic behaviour of nickel-implanted SiC

J. García López, Y. Morilla, H. J. von Bardeleben, J.L. Cantin, J. Sánchez Marcos, C. Prieto, F. Pompean, G. Battistig, Z. Zolnai and J.C. Cheang Wong

European Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ECSCRM 2008)

7-11 de Septiembre, 2008, Barcelona, España

Structural study of nickel-implanted SiC at different temperatures

J. García López, Y. Morilla, G. Battistig, Z. Zolnai, J.C. Cheang Wong and J.L. Cantin

XVII International Materials Research Congress (IMRC 2008)

17-21 de Agosto, 2008, Cancún, México

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

C. Muñoz, Y. Morilla, J. García López, A. Paúl and J.A. Odriozola

11th International Conference on Nuclear Microprobe Technology and Applications (ICNMTA 2008) 20-25 de Julio, 2008, Debrecen, Hungría

Structural and magnetic properties of Ni-implanted SiC

J. García López, Y. Morilla, G. Battistig, Z. Zolnai, J.L. Cantin, J. Sánchez and C. Prieto

MRS International Materials Research Conference (IMRS 2008), 9-12 de Junio, 2008, Chongqing, China

On the applications of IBA techniques to biological samples analysis: PIXE and RBS

J. M. Falcón-González, J. Bernal-Alvarado, M. García-León, R. García-Tenorio, Y. Morilla García and M. Sosa

10th Mexican Symposium on Medical Physics, 17-19 de Marzo, 2008, México DF, México

Dos tablas de Vasco Pereira del Museo de Bellas Artes de Sevilla analizadas por FRX portátil

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

9ª Reunión Red Temática del CSIC de Patrimonio Histórico y Cultural, Sevilla, 4 y 5 de Marzo de 2008

A diptych by Marcelo Coffermans analysed by portable XRF

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

37th International Symposium on Archaeometry, Siena (Italia), 12 al 16 de Mayo de 2008

Non-destructive XRF analysis of pigments in a 15th century panel painting

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

9th International Conference on ART2008: Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage, Jerusalén (Israel), 25 al 29 de Mayo de 2008

XRF analysis of two terracotta polychromated sculptures by Pietro Torrigian

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

European Conference on X-ray Spectrometry (EXRS-2008), Cavtat, Dubrovnik (Croacia), 16-20 Junio de 2008

A comparison of pigments applied in an original painting by El Greco and in a copy by an anonymous follower

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

8th European Conference on Research for Protection, Conservation and Enhancement of Cultural Heritage, CHRESP 2008, Liubliana, Eslovenia, 10-12 de Noviembre de 2008

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

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

Radiocarbon & Archaeology 5th International Symposium. Zúrich, 26-28 Marzo 2008

Radiocarbon dating of medieval manuscripts from the University of Seville

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

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, 14-19 Septiembre 2008

Application of ¹⁴C dating in archaeological samples

N. Ziad, A. Bouzzougar, F. J. Santos, I. Gómez-Martínez, A. Laissaoui, M. Benmansour

In situ Nuclear Metrology as a Tool for Radioecology Symposium, Rabat (Marruecos), 13-16 Octubre 2008

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, P. Masqué, J. L. Mas, J. Merino, J. A. Sánchez-Cabeza

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, Italia, 14-19 Septiembre 2008

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

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

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, Italia, 14-19 Septiembre 2008

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

M. Suter, E. Chamizo, A. Milenko, H.-A. Synal.

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, Italia, 14-19 Septiembre 2008

Accelerator Mass Spectrometry of ^{129}I in lichens by a MW-based sample preparation method

J. M. Gómez Guzmán, A. R. Pinto Gómez, J. M. López Gutiérrez

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, Italia, 14-19 Septiembre 2008

Radionuclides in Sea-Ice Sediments from the Artic Ocean as Tracers of Sea Ice

P. Cámara, P. Masqué, J. García-Orellana, K. J. Cochran, C. Halfland, J. L. Mas, E. Chamizo.

23rd Polar Meeting, Munster, Alemania, 10-14 Marzo 2008

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

Aarón Ruiz Gómez, Elena Chamizo Calvo, Jose Maria López Gutiérrez, Manuel García León, Arnold Milenko Müller, Marcus Christl

11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Roma, Italia, 14-19 Septiembre 2008

Plutonium isotopes ^{241}Pu and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ activity ratios in atmospheric fallout after the Chernobyl accident

E. Chamizo, M. García-León, E. Holm, B. Skwaerzek, D. Struminska.

35th International Symposium on Environmental Analytical Chemistry, Gdansk, Polonia, 2008

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

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

International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Bergen, Noruega, 15-20 Junio 2008. Oral-poster presentation

The use of micro-analytical techniques for hot particles characterization

M. Eriksson, Y. Ranebo, M. C. Jimenez-Ramos, D. Wegrzynek, J. Jernstrom, M. Betti, R. García-Tenorio, R. Simon, G. Falkenberg, J. García-López

International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Bergen, Noruega, 15-20 Junio 2008. Poster presentation

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 Vitró, P.I. Mitchell, R. García-Tenorio, M. C. Jimenez-Ramos, M. Burkibayev and N.D. Priest

Congreso ICRM-LLMRT 2008, Braunschweig, Alemania, Septiembre 2008

Characterization of environmental radioactive microparticles by Scanning Electron Microscopy (SEM) combined with Energy-Dispersive X-Ray Spectrometry (EDXRS)

M.C. Jimenez-Ramos, R. García-Tenorio, I. Vioque y M. García-León

Congreso INSINUME 2008, Rabat, Marruecos, Octubre 2008

^{90}Sr , ^{137}Cs and Pu-isotopes alpha-emitters activity concentration profiles in soils from Middle Atlas (Morocco)

I. Vioque, M. Ghazzi, M.C. Jiménez-Ramos, J. Mantero, S. Padilla, G. Manjón y R. García-Tenorio

Congreso INSINUME 2008, Rabat, Marruecos, Octubre 2008

Low-level counting methods used in a Spanish Environmental Radiological Surveillance

G. Manjón, J. Mantero, M. Villa, A. Calleja, J. Diaz-Ruiz, S. Hurtado, M. C. Jiménez-Ramos, R. García-Tenorio y M. García-León

Congreso INSINUME 2008, Rabat, Marruecos, Octubre 2008

Arctic Ocean Sea Ice Drift Studied Through Radionuclides

P. Cámara, P. Masqué, J. García-Orellana, K. J. Cochran, J. L. Mas, E. Chamizo, M. García-León, J. Mathiessen, C. Halfland

American Geophysical Union Fall Meeting, 15-21 Diciembre 2008, San Francisco, EEUU

4.6 TESIS DOCTORALES / *THESES*

Título/Title: Capas Finas de Óxidos Mixtos Zr-Si-O: Caracterización, Propiedades Ópticas y Eléctricas

Autor / *Author*: Francisco Javier Ferrer Fernández

Director / *Supervisor*: Javier García López

Año de Lectura / *Year*: 2007

Título/Title: Técnicas IBA Aplicadas al Estudio del Patrimonio Histórico y Cultural

Autora / *Author*: Inés Ortega Feliu

Directores / *Supervisors*: Miguel Ángel Respaldiza Galisteo, María Ángeles Ontalba Salamanca, Blanca Gómez Tubío

Año de Lectura / *Year*: 2008

4.7 ORGANIZACIÓN DE CONGRESOS Y CURSOS / *MEETINGS AND COURSES AT CNA*

Física Nuclear Aplicada

Programa de Doctorado Interuniversitario de Física Nuclear de la Universidad de Sevilla

Personal Implicado / *Organizers*: Miguel Ángel Respaldiza, Manuel García León, Aurelio Climent

Año / *Year*: 2007

Física Nuclear Aplicada

Programa de Doctorado Interuniversitario de Física Nuclear de la Universidad de Sevilla

Personal Implicado / *Organizers*: Miguel Ángel Respaldiza, Manuel García León, Aurelio Climent

Año / *Year*: 2008

Prácticas de Máster de Ingeniería Nuclear de la Universidad de Huelva

Personal Implicado / *Organizer*: Marcos Álvarez

Año / *Year*: 2008

Prácticas de Especialización en Radiofarmacia de la Universidad de Granada

Personal Implicado / *Organizer*: Unidad IBA Molecular

Año / *Year*: 2008

Workshop: “Problemática Minera Derivada de la Explotación de Sulfuros Polimetálicos”

Coordinadora / *Coordinator*: Isabel González Díez

17-18 de noviembre de 2008 / *17-18 November 2008*

Jornada Técnica: “Innovación, un Desafío Permanente”

Organizada en colaboración con el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Andalucía Occidental / *Organized in collaboration with Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Andalucía Occidental*

16 de octubre de 2008 / *16 October 2008*

Workshop: “Electronics for Novel Nuclear Physics Detectors”

Personal implicado / *Contact persons*: Ivan Mukha y Marcos Álvarez

8 de octubre de 2008 / *8 October 2008*

Seminario de Datación Absoluta / Workshop: “Absolute Chronology”

Personal implicado / *Organizer*: Francisco Javier Santos Arévalo

Organizado en colaboración con el Grupo de Investigación Atlas, Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla / *Organized in collaboration with Grupo de Investigación Atlas, Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla*

3-4 de diciembre de 2007 / *3-4 December 2007*

Workshop: “Surface Treatments and Coatings for Mechanical and Aeronautical Applications”

Organizado en colaboración con las redes INGESNET y NOE EXCELL y el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla / *Organized in collaboration with the INGESNET and NOE EXCELL networks and Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla*

28-30 de marzo de 2007 / *28-30 March 2007*

Reunión del consorcio científico creado alrededor del proyecto de investigación / Meeting about the research project: “Técnicas Ultrasensibles para la Determinación de Radionucleidos en Materiales Ambientales”

Personal implicado / *Contact person*: Manuel García León

2 de febrero de 2007 / *2 February 2007*

4.8 ORGANIZACIÓN DE CONFERENCIAS Y SEMINARIOS (COLOQUIOS EN EL CNA) / *CONFERENCES AND SEMINARS AT CNA*

La Física Médica en el IFUG

Dr. Jesús Bernal Alvarado, Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato, México.
11/01/2007

An Arctic Marine Radioecology Study Around a Nuclear Weapon Accident Site, Thule Greenland

Dr. Mats Ericsson, Laboratorio del Medio Ambiente Marino de la Agencia Internacional de Energía Atómica IAEA-MEL
01/02/2007

Elementos transuránidos provenientes de Chernobyl y de otras fuentes

Prof. E. Holm, Investigador del CNA
08/02/2007

Radionucleidos en el aerosol atmosférico: Medidas y aplicaciones

J. P. Bolívar, Universidad de Huelva y miembro de la Unidad de Investigación ACOMETA del CNA
19/04/2007

Aplicaciones de Técnicas Analíticas en el CNESTEN con énfasis en Contaminación Atmosférica y Evaluación de Impactos

Dr. Moussa Bounakhla del CNESTEN de Rabat, Marruecos
04/05/2007

Nuclear Physics in the Sunshine State

Dr. Sam Tabor, Florida State University, EE. UU.
17/05/2007

Diseño y caracterización de nuevas aleaciones inoxidables superdúplex para aplicaciones avanzadas

Carlos Muñoz Luque (CNA)
06/06/2007

Fundamentos y Aplicaciones del Uso de Campos Electromagnéticos en Sistemas Biológicos

Prof. Modesto Sosa Aquino, Universidad de Guanajuato, México
21/06/2007

Ion Beam Analysis and Modification at Bucharest Tandem accelerator

Dra. Roxana Bugoi, National Institute of Nuclear Physics and Engineering “Horia Hulubei” de Bucarest, Rumanía
08/10/2007

Proyecto RENASER: Nuevas opciones para el ciclotrón del CNA

Dr. M. A. Aguirre Echanove, Escuela Técnica Superior de Ingenieros U.S.
15/11/2007

Medidas de ^{129}I en el CNA: Buscando los límites

Dr. José María López Gutiérrez del Departamento de Física de la U.S.

22/11/2007

¿Cuándo dice que vivió este mamut?: Una introducción a la datación por radiocarbono

Dr. Francisco Javier Santos Arévalo, investigador del CNA

24/01/2008

Using peatbogs and dams as archives for radioactive deposition

Prof. Elis Holm, investigador del CNA

13/03/2008

Resonance Ionization Mass Spectroscopy (RIMS) for nuclear studies

Prof. H.-Jürgen Kluge, Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI, Darmstadt).
University of Heidelberg, Alemania

27/03/2008

Variación de ^{14}C en el siglo XX reflejada en los anillos de árbol del norte de México

Dr. Laura Beramendi Orozco, Universidad Nacional Autónoma de México

13/04/2008

PIXE de Alta Energía

Dr. Inés Ortega Feliu, investigadora del CNA

15/05/2008

Aproximaciones a los eventos de radiación sobre circuitos CMOS

Prof. Rogelio Palomo Pinto, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

28/05/2008

Papel del hielo marino en el Ártico como mecanismo de transporte y distribución de material particulado y especies químicas

Dra. Patricia Cámara, Universidad Autónoma de Barcelona

23/06/2008

Química del Carbono-11 y Flúor-18 en la Tomografía por Emisión de Positrones (PET)

Dr. Segundo Francisco García Argüello, investigador del CNA

26/09/2008

Aceleradores de uso clínico y equipamiento de física médica de SIEMENS

D. Fernando Barral, SIEMENS

01/12/2008

Física de neutrones: análisis de datos y fuentes de neutrones

Dr. Javier Praena, investigador del CNA

17/12/2008

5 PROGRAMA DE DIVULGACIÓN / *PROGRAMMES AND ACTIVITIES FOR THE GENERAL PUBLIC*

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 a la ciudadanía en general, la Física y la investigación con aceleradores de partículas.

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 hecho 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:

1.-Visitas guiadas al centro. Con carácter semanal y durante todo el año académico, en las que nuestros monitores muestran los distintos aceleradores de los 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 como funcionan el campo eléctrico y magnético con partículas cargadas, y también se llevan a cabo concursos en los que se demuestren los conocimientos adquiridos por los alumnos/as durante la visita.

2.-Semana de la Ciencia. 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.

3.-Feria de las Ciencias. El CNA participa con un stand en la Feria de las Ciencias que se lleva a cabo todos los años en el mes de mayo. 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.

4.-Página Web Infantil. 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/cna.php?w=1024>

Resumen de actividades 2007-2008

2007. “Programa divulgación del Centro Nacional de Aceleradores”:

- Visitas guiadas al centro de enero a mayo y de septiembre a diciembre, con un total de 25 grupos y 1129 alumnos/as.
- Participación en la “VI Feria de la Ciencia”, mayo de 2007. Para dicho evento se realizaron diversos trabajos:
 - Elaboración de un manual en castellano de 54 páginas sobre las distintas técnicas de análisis que se aplican en el Centro.
 - Adquisición de material de divulgación (camisetas, bolígrafos, lapiceros de colores, llaveros, mochilas, gorras, tazas y pendrives).
- Participación en la Semana de la Ciencia del 5-9 de noviembre de 2007, con jornadas de puertas abiertas y un total de 200 visitantes.
- Se inició un programa de conferencias titulado “Coloquios en el CNA” e impartido por personalidades científicas relevantes, en los que se profundiza en la actividad científica del CNA. Estos coloquios han tenido su difusión mediática a través de los medios de comunicación convencionales y a través del portal "Andalucía Investiga" de la Junta de Andalucía, gracias a lo cual van contando cada vez con mayor éxito de público.

2008. “Programa divulgación del Centro Nacional de Aceleradores”:

- Visitas guiadas al Centro de enero a mayo y de septiembre a diciembre, con un total de 29 grupos con 1200 alumnos/as.

- Participación en la “VII Feria de la Ciencia”, mayo de 2008. Para dicho evento se realizaron diversos trabajos como son:

- Actualización del vídeo de divulgación del centro con la incorporación del nuevo sistema de AMS.

- Elaboración de un póster de 100 x 200 cm² sobre técnicas y aplicaciones del sistema de AMS recientemente implantado en el CNA.

- Adquisición de sistema de reproducción de DVD y de audio.

- Diseño y elaboración con fines didácticos de juegos de mesa: puzzles y un tablero con tarjetas de preguntas dirigido a los visitantes más pequeños de la feria.

- Diseño y adquisición de camisetas, bolígrafos y pegatinas sobre el CNA que se entregan en el stand del centro.

- Participación en la Semana de la Ciencia del 17-21 de noviembre de 2008 con jornadas de puertas abiertas y un total de 180 visitantes.

- Participación en el Programa de Rutas Científicas por Andalucía a lo largo de los meses de octubre y noviembre de 2008 con 10 visitas y un total de 230 visitantes.

- Elaboración de la página Web de Divulgación del Centro
<http://www.institucional.us.es/divulgacioncna/cna.php>

- Se continúa con el programa de “Coloquios en el CNA”

CNA has designed an extensive number of activities for the general public. This programme started in 2000 and has had considerable success. Several educational topics are included in this programme, such as general physics, particle accelerators and atomic and nuclear physics. Our plan intends to encourage student interest in science and to teach physics and the possible uses of particle accelerators to the community.

Our visitors are High Schools, Schools, Universities, Companies and Public Research Organizations.

The main objectives of our programme 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 science to mankind within the particle accelerator field.

4.- To promote scientific knowledge, within the particle accelerator field, in the general public. This is essential in our modern society, where science is particularly involved in daily life.

There is a group of enthusiastic people at the centre that will help any group that wants to visit CNA.

The educational activities that are carried out at the centre are:

1.-Guided visits to the centre. They are weekly and are held during the academic year. Our guides show the CNA particle accelerators to the visitors: Van de Graaff 3 MV Tandem Accelerator, 18 MeV Cyclotron and 1 MV AMS system. The visit begins with a video showing the physical basics of particle accelerators. Later on, we visit the Tandem accelerator and explain in detail all its parts. Finally, there is a presentation showing information about the research lines and the scientific applications, such as medicine, art, archaeometry, environment, nuclear physics, material science, etc. Ad hoc experiments showing how charged particles behave within electric and magnetic fields are performed in the visits. Besides that, there are contests where students have to show how much they have learnt during the visit.

2.-Science Week. Our centre has an open-doors policy during the “Science Week” (held annually in November). This means that anyone can visit the centre (reservation in advance is required) and get to know the particle accelerator field.

3.-Science Fair. CNA has a stand at the “Science Fair”, which is held annually in May. Our centre shows videos, presentations and carries out experiments to curious people visiting the fair.

4.-CNA children website. Our project also includes the preparation of a website aimed at children and teenagers. The website (<http://www.institucional.us.es/divulgacioncna/cna.php?w=1024>) presents the fundamentals and applications of particle accelerator research and nuclear physics in an amusing manner.

Summary of Activities 2007-2008

2007. “Programa divulgación del Centro Nacional de Aceleradores”:

- Guided tours of the centre: January-May and September-December. 25 groups and 1129 students.

- Participation at the “VI Feria de la Ciencia” (Science Fair), May 2007. The following items were produced for the event:

- Booklet (54 pages, in Spanish) describing the analysis techniques employed at CNA.

- Distribution of CNA promotional material (T-shirts, pens, colour pencils, key rings, backpacks, caps, mugs and USB pendrives).

- Participation at the Science Week (5-9 November 2007). The centre opened its doors to the general public (200 visitors).

- Beginning of the conference programme “Coloquios en el CNA” with the participation of relevant scientists. This programme was advertised in the media and the website “Andalucía Investiga” (Junta de Andalucía) and had notable success.

2008. “Programa divulgación del Centro Nacional de Aceleradores”:

- Guided tours of the centre: January-May and September-December. 29 groups and 1200 students.

- Participation at the “VI Feria de la Ciencia” (Science Fair), May 2008. The following items were produced for the event:

- The promotional CNA video was updated with information of the new AMS system.

- Production of a 100 x 200 cm² poster highlighting applications and techniques of the new AMS system.

- Purchase of an audio and DVD system.

- Design and distribution of different table games for children: puzzles and a board with question cards.

- Distribution of CNA promotional material (T-shirts, pens, stickers) at the centre stand.

- Participation at the Science Week (17-21 November 2008). The centre opened its doors to the general public (180 visitors).

- Participation in the “Andalusia Scientific Routes” programme (October-November 2008), resulting in 10 visits and 230 visitors.

- New website talking about the CNA programmes and activities for the general public: <http://www.institucional.us.es/divulgacioncna/cna.php>

- Continuation of the conference programme “Coloquios en el CNA”.

6 APÉNDICES / APPENDICES

6.1 INSTITUCIONES USUARIAS DEL CNA DURANTE 2007/2008 / COLLABORATING INSTITUTIONS AND CUSTOMERS OF CNA IN 2007/2008

Dadas las características del centro, las plataformas de usuarios son innumerables: universidades, hospitales, CSIC, organismos públicos de investigación (CIEMAT, INTA, ESA, etc.), CSN, ENRESA, museos, organismos de protección ambiental, empresas privadas, etc. Muchos científicos pertenecientes a las instituciones que se detallan a continuación han sido usuarios del CNA durante el bienio 2007-2008:

A great variety of scientific institutions have required the services offered by CNA in 2007/2008: universities, hospitals, CSIC centres, public research organizations (CIEMAT, INTA, ESA, etc.), CSN, ENRESA, museums, environmental protection institutions, private companies...

Scientists of the following organizations used or required CNA services in 2007-2008:

- Departamento de Física Aplicada, ETSA, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Física Aplicada, ESI, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Cristalografía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Estomatología, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla.
- Departamento de Ingeniería Electrónica, ESI, Universidad de Sevilla.
- Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla, CSIC.
- Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, CSIC.
- Instituto de Óptica "Daza de Valdés", CSIC.
- Instituto de Ciencias Materiales de Madrid, CSIC.
- Instituto de Cerámica y Vidrio de Madrid, CSIC.
- Instituto de Geología Económica, CSIC.
- Instituto de Ciencias Materiales de Barcelona, CSIC.
- Instituto de Arqueología de Mérida, CSIC.
- Instituto de Historia, CSIC.
- Instituto Química Física, CSIC.
- Instituto de Estructura de la Materia, CSIC.
- Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CSIC.
- Departamento de Física Aplicada, Universidad de Huelva.
- Departamento de Tecnología Electrónica, ETSI Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid.
- Departamento de Física Aplicada, Universidad Autónoma de Madrid.

- Departamento de Física de Materiales, Universidad Autónoma de Madrid.
 - Universidad Autónoma Madrid.
 - Universidad Complutense de Madrid.
 - Cátedra Obstetricia, Universidad de Extremadura.
 - Departamento de Ciencia de Materiales, Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, Universidad de Cádiz.
 - Departamento de Física Aplicada, Universidad de Vigo.
 - Departamento de Física, Universidad de Extremadura.
 - Departamento de Física Aplicada, Universidad de Valencia.
 - Departamento de Ingeniería Civil y de Materiales, Universidad de Málaga.
 - Universidad de Lleida.
 - Grupo de Física de Radiaciones, Universidad Autónoma de Barcelona.
 - Universidad de Barcelona.
-
- Groupe de physique des solides, Université de Paris VI y VII. Francia.
 - Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Universidad de Uppsala, Suecia.
 - Universidad de Lund, Suecia.
 - ETH, Zúrich.
 - Universidad de Glasgow.
 - Australian National University.
 - Oxford Radiocarbon Laboratory, University of Oxford.
 - Instituto de Física, Universidad de Guanajuato, México.
 - Laboratoire de Matériaux et de Génie Physique, Francia.
 - Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém, Portugal.
 - Research Institute for Technical Physics and Materials Sciences, Budapest, Hungría.
 - Max-Planck Institute for Plasma Physics, Alemania.
 - Research Institute for Technical Physics and Materials Sciences, Hungría.
 - KFKI-Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Hungría.
 - Laboratorio Central Thomson-CSF, Francia.
 - CNAB, Francia.
 - IAEA-Marine Environment Laboratory.
 - ITU, Alemania.
 - Laboratorio TANDAR, Argentina.
-
- INTA.
 - CIEMAT, Madrid.
-
- Hospital Virgen del Rocío, Sevilla.
 - Hospital Virgen de las Nieves, Granada.
-
- Museo Arqueológico de Sevilla.
 - Museo Arqueológico Municipal de Écija.
-
- Coleccionistas privados.

6.2 ESTADÍSTICAS DE USO DE LOS ACELERADORES / ACCELERATOR STATISTICS

6.2.1 Acelerador Tándem 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator

Año 2007:

Días laborables útiles: 228

Días dedicados a la investigación: 126 (56 %)

Días dedicados al mantenimiento: 67 (29 %)

Días sin uso: 35 (15 %)

Año 2008:

Días laborables útiles: 225

Días dedicados a la investigación: 78 (35 %)

Días dedicados al mantenimiento: 85 (37 %)

Días sin uso: 62 (28 %)

Year 2007:

Total work time: 228 days

Research: 126 days (56 %)

Maintenance: 67 days (29 %)

Not in use: 35 days (15 %)

Year 2008:

Total work time: 225 days

Research: 78 days (35 %)

Maintenance: 85 days (37 %)

Not in use: 62 days (28 %)

6.2.2 Acelerador Ciclotrón-Laboratorio de Producción de FDG / Cyclotron-FDG Production Lab

Año 2007:

Horas totales de tiempo de haz: 1249,76 horas

Actividad total de ^{18}F producida: 2738 Ci

Actividad total de ^{18}FDG sintetizada: 1040 Ci

Año 2008:

Horas totales de tiempo de haz: 1642,50 horas

Actividad total de ^{18}F producida: 4115 Ci

Actividad total de ^{18}FDG sintetizada: 1665 Ci

Year 2007:

Total beam time: 1249.76 hours

Total ^{18}F activity produced: 2738 Ci

Total $^{18}\text{F-FDG}$ activity produced: 1040 Ci

Year 2008:

Total beam time: 1642.50 hours

Total ^{18}F activity produced: 4115 Ci

Total ^{18}F -FDG activity produced: 1665 Ci

6.2.3 Acelerador Tándem de 1 MV para AMS / 1 MV Tandem Accelerator for AMS

Año 2007:

Días laborables útiles: 230

Días dedicados a la investigación: 100 (43 %)

Días dedicados al mantenimiento: 45 (19 %)

Días sin uso: 89 (38 %)

Año 2008:

Días laborables útiles: 228

Días dedicados a la investigación: 101 (43 %)

Días dedicados al mantenimiento: 83 (36 %)

Días sin uso: 48 (21 %)

Year 2007:

Total work time: 230 days

Research: 100 days (43 %)

Maintenance: 45 days (19 %)

Not in use: 89 days (38 %)

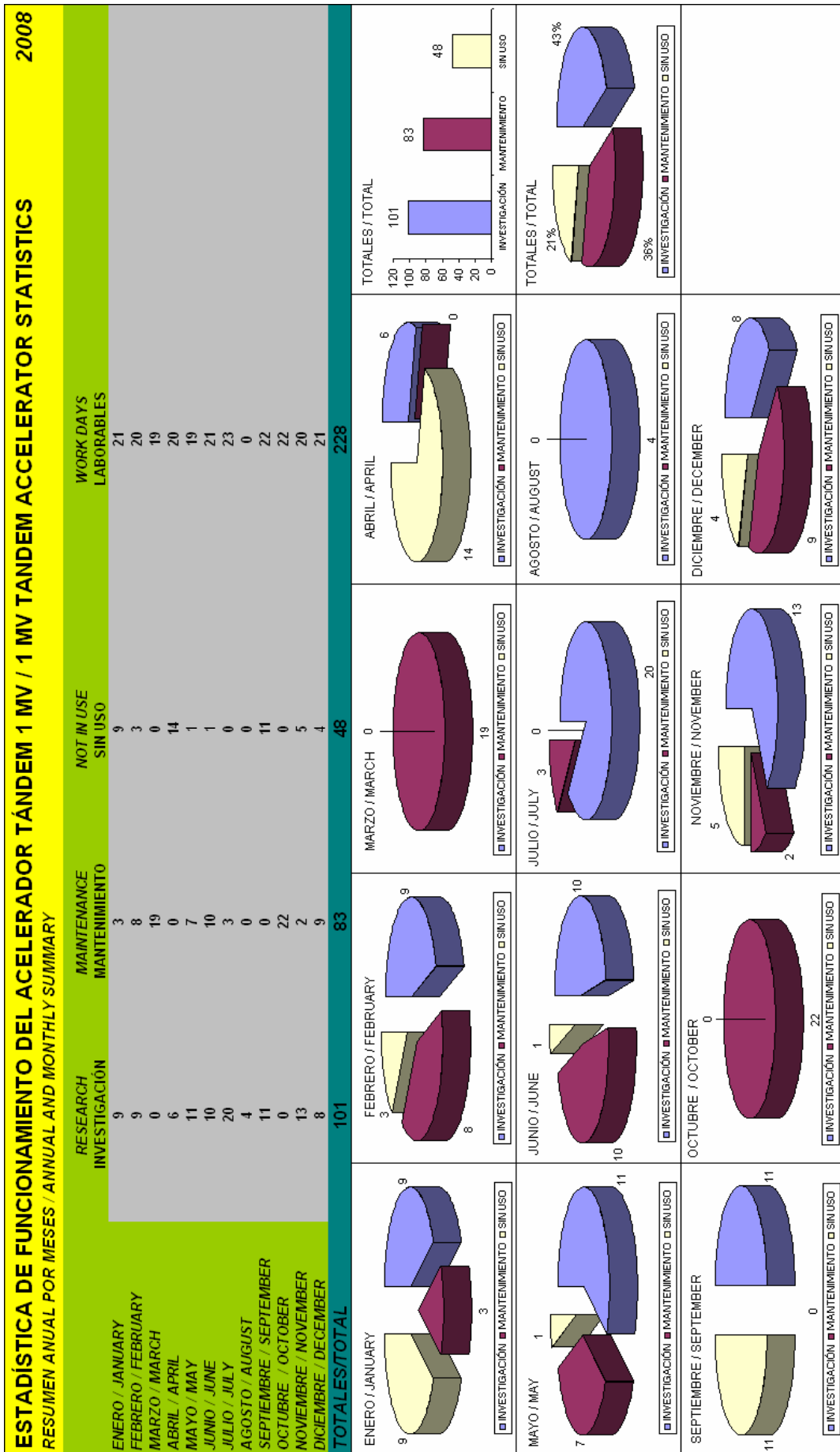
Year 2008:

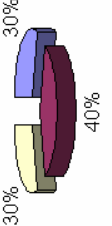
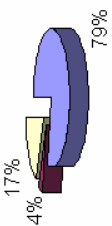
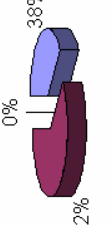
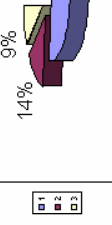
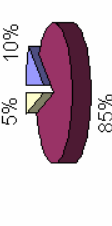
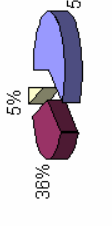
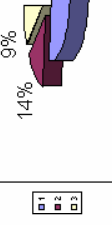
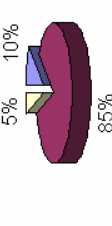
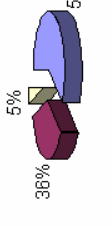
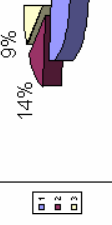
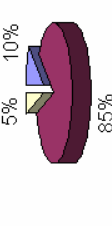
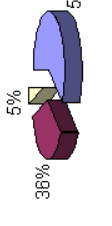
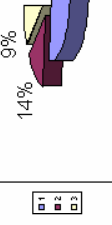
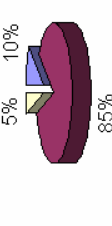
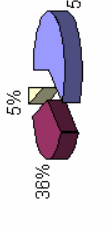
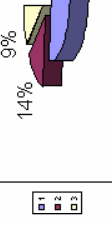
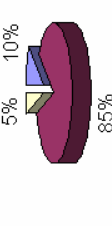
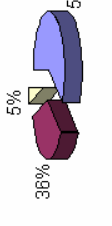
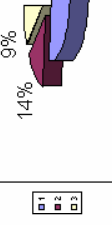
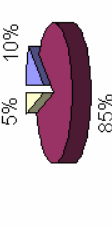
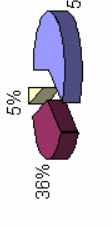
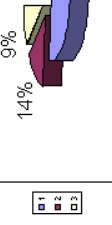
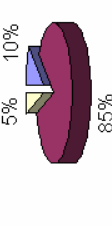
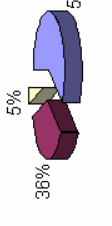
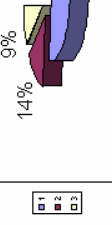
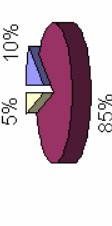
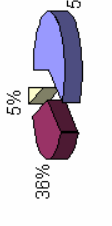
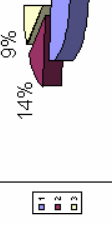
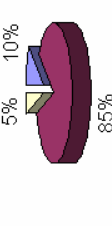
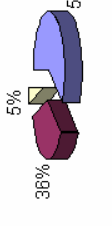
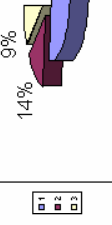
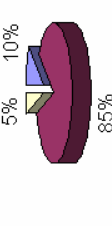
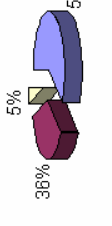
Total work time: 228 days

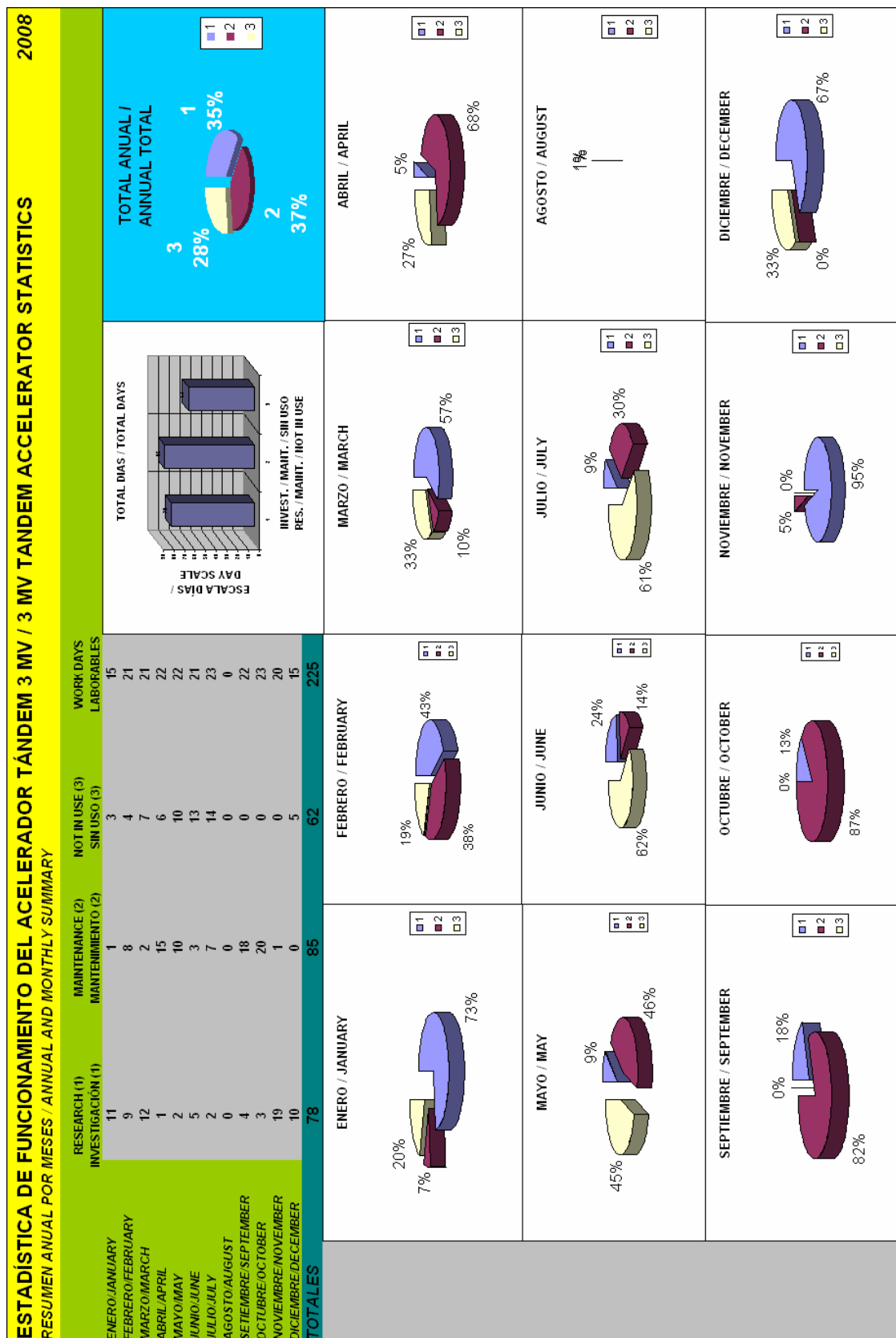
Research: 101 days (43 %)

Maintenance: 83 days (36 %)

Not in use: 48 days (21 %)



ESTADÍSTICA DE FUNCIONAMIENTO DEL ACCELERADOR TÁNDEM 3 MV / 3 MV TANDEM ACCELERATOR STATISTICS						2007
RESUMEN ANUAL POR MESES / ANNUAL AND MONTHLY SUMMARY						
	RESEARCH (1) INVESTIGACIÓN (1)	MAINTENANCE (2) MANTENIMIENTO (2)	NOT IN USE (3) SIN USO (3)	WORK DAYS LABORALES		
ENERO / JANUARY	6	8	6	20		
FEBRERO / FEBRUARY	12	3	5	20		
MARZO / MARCH	16	2	5	23		
ABRIL / APRIL	8	5	7	20		
MAYO / MAY	18	1	4	23		
JUNIO / JUNE	13	8	1	22		
JULIO / JULY	2	18	1	21		
AGOSTO / AUGUST	0	vacaciones	0	0		
SEPTIEMBRE / SEPTEMBER	8	13	0	21		
OCTUBRE / OCTOBER	15	4	2	21		
NOVIEMBRE / NOVEMBER	17	3	2	22		
DICIEMBRE / DECEMBER	11	2	2	15		
TOTALES / TOTAL	126	67	35	228		
					ENERO / JANUARY	
						
					MAYO / MAY	
						
					SEPTIEMBRE / SEPTEMBER	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	
						
					NOVIEMBRE / NOVEMBER	
						
					DICIEMBRE / DECEMBER	
						
					AGOSTO / AUGUST	
						
					JULIO / JULY	
						
					JUNIO / JUNE	
						
					OCTUBRE / OCTOBER	



6.3 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 by CNA have been approved by the Governing Board. Updated tariffs and services may also be checked visiting the CNA web page.

6.3.1 Uso de Tiempo de Haz en el Acelerador Tándem de 3 MV / 3 MV Tandem Accelerator Beam Time

SERVICIO DE MEDIDAS ROUTINARIAS <i>Existing Services</i>		GRUPO 1 <i>Group 1</i>	GRUPO 2 <i>Group 2</i>	GRUPO 3 <i>Group 3</i>
RBS con He ⁺⁺ <i>RBS with He⁺⁺</i>		20 €	30 €	60 €
PIXE con H ⁺ <i>PIXE with H⁺</i>		20 €	30 €	60 €
NRA (C, N, O)		20 €	30 €	60 €
RBS en geometría de canalización		60 €	180 €	300 €
ERDA (H)		30 €	60 €	90 €
PIXE y RBS en microsonda <i>PIXE and RBS with microprobe</i>	Obtención de mapeos multielementales (del C en adelante) <i>Multielemental mapping (starting from C)</i>	60 €	180 €	300 €

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).
- Las tarifas incluyen la preparación del experimento para el GRUPO 1. Para los GRUPOS 2 y 3 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 de haz en el acelerador TÁNDEM del CNA y no incluyen ni la preparación de la muestra ni la cuantificación de los resultados experimentales por espectro.
- Existen disponibilidades para la preparación de muestras. Su uso conllevará unas tarifas a convenir.
- Los precios por concepto de cuantificación de resultados experimentales se muestra en el siguiente apartado.
- I.V.A. no incluido.

NOTES:

- *GROUP 1 prices are for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía.*
- *GROUP 2 prices are for other public research institutions.*
- *GROUP 3 prices are 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).*
- *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 you request a service that is not shown here.*
- *Prices only include Tandem accelerator beam time. Sample preparation and quantification of results are not included in the shown prices.*

- Sample preparation is available at CNA. Ask for quotes.
- Prices for quantification of experimental results can be found in the next section.
- Prices do not include V.A.T.

6.3.2 Análisis de Espectros y Elaboración de Informes/ *Data Analysis and Reports*

	GRUPO 1 <i>Group 1</i>	GRUPO 2 <i>Group 2</i>	GRUPO 3 <i>Group 3</i>
Por hora dedicada al tratamiento de datos <i>Prices per Hour</i>	15 €	30 €	40 €

6.3.3 Medidas de ^{14}C y Datación / ^{14}C Measurements and Radiocarbon Dating

Servicio de medida de ^{14}C <i>^{14}C Measurements</i>	GRUPO 1 <i>Group 1</i>	GRUPO 2 <i>Group 2</i>	GRUPO 3 <i>Group 3</i>
Preparación de la muestra <i>Sample Preparation</i>	60 €	100 €	160 €
Medida y análisis de resultados <i>Measurement and Data Analysis</i>	90 €	150 €	240 €
Proceso completo <i>Whole Analysis</i>	150 €	250 €	400 €

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 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ mediante el acelerador Tandetrón del CNA, así como la aplicación de todas las correcciones necesarias para la obtención del dato definitivo.
- A partir de 10 muestras medidas se aplicará un descuento de un 10%.
- El estudio de casos especiales conlleva una tarifa a convenir.
- En el caso de llevarse a cabo exclusivamente la medida y análisis de resultados con muestras preparadas en otros laboratorios, no se podrá certificar el resultado obtenido.
- I.V.A. no incluido.

NOTES:

- *GROUP 1 prices are for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía.*
- *GROUP 2 prices are for other public research institutions.*
- *GROUP 3 prices are 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 you request a service that is 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.*

6.3.4 Uso del Animalario y del Micro-PET / *Animal PET Scanning*

SERVICIO INTEGRADO DEL ANIMALARIO Y ESTUDIO PET <i>Animal PET Scanning</i>	GRUPO 1 <i>Group 1</i>	GRUPO 2 <i>Group 2</i>	GRUPO 3 <i>Group 3</i>
RATÓN: IMÁGENES CRUDAS SIN ANÁLISIS DEL ESTUDIO <i>Mouse: Raw Images without Data Analysis</i>	100 €	180 €	400 €
RATA / OCTODÓN: IMÁGENES CRUDAS SIN ANÁLISIS DEL ESTUDIO <i>Rat / Octodon: Raw Images without Data Analysis</i>	120 €	200 €	420 €

NOTAS:

- Las tarifas no incluyen los costes de los animales necesarios para realizar los estudios, que se regirán por las tarifas aprobadas por la Universidad de Sevilla para los tres grupos previstos, incluyendo eso si en el primer grupo (Grupo 1) a los centros de la Universidad de Sevilla, CSIC y Junta de Andalucía (Ej. SAS), siendo iguales los grupos 2 y 3.
- En caso de que la Universidad no dispusiera de los mismos, estos se regirán por los precios de coste determinados por los posibles proveedores de los mismos junto a los costes de envío y certificado de Sanidad pertinente.
- 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 conllevará unas tarifas a convenir.
- Los precios por concepto de cuantificación de resultados experimentales se muestra en el siguiente apartado.

NOTES:

- *Prices do not include animal-related expenses. Costs incurred by animals are regulated by the Universidad de Sevilla.*

- *Animal expenses that may not be regulated by the Universidad de Sevilla, such as delivery costs, animal certificates and others, will be added to the final invoice.*
- *Prices only include the use of the microPET. Quantification of experimental results is not included in the price (charges for this service are shown in the next section).*
- *Prices do not include V.A.T.*

6.3.5 Postratamiento de las Imágenes, Análisis y Elaboración de Informes / *Image Processing, Data Analysis and Reports*

POR HORA DEDICADA AL TRATAMIENTO DE DATOS <i>Prices per hour</i>	GRUPO 1 <i>Group 1</i>	GRUPO 2 <i>Group 2</i>	GRUPO 3 <i>Group 3</i>
RATÓN: IMÁGENES PROCESADAS Y CON ANÁLISIS DEL ESTUDIO <i>Mouse: Image Processing and Data Analysis</i>	15 €	30 €	40 €
RATA / OCTODÓN: IMÁGENES PROCESADAS Y CON ANÁLISIS DEL ESTUDIO <i>Rat / Octodon: Image Processing and Data Analysis</i>	20 €	35 €	45 €

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 GRUPOS 2 y 3 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.
- I.V.A. no incluido.

NOTES:

- *GROUP 1 prices are for Universidad de Sevilla centres, CSIC centres and Junta de Andalucía (for instance, Servicio Andaluz de Salud: SAS).*
- *GROUP 2 prices are for other public research institutions.*
- *GROUP 3 prices are 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 you request a service that is not shown here.*
- *Prices do not include V.A.T.*