

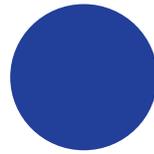


LSC

*Laboratorio Subterráneo de Canfranc*



MEMORIA ANUAL | 2015



# ÍNDICE

## EDICIÓN

Aldo Ianni

Yolanda Labarta

## FOTO DE PORTADA:

Entrada LSC

*Gracias a todos los que han contribuido  
a la realización de este proyecto  
editorial*

PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR .....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. ACTIVIDAD DEL LSC DURANTE 2015 .....	8
3. RECOPIACIÓN DE EVENTOS 2015 .....	12
4. ANAIS .....	15
5. ARDM .....	19
6. NEXT .....	23
7. BIPO .....	28
8. SUPERKGD .....	31
9. GEODYN .....	34
10. CUNA .....	38
11. GOLLUM .....	40

PUBLICACIONES EN PRENSA..... 42

ÓRGANOS DE GOBIERNO ..... 45

COMITÉS ASESORES ..... 45

AGRADECIMIENTOS..... 47



*Laboratorio Subterráneo de Canfranc*

Paseo de los Ayerbe s/n

Canfranc Estación

22880 (Huesca)

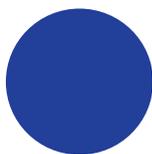
ESPAÑA

<http://www.lsc-canfranc.es>

Tel: +34 974 373474







## PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es el segundo laboratorio subterráneo a gran profundidad más grande de Europa. Lo gestiona un Consorcio compuesto por el Ministerio de Economía y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza.

Ofrece instalaciones subterráneas, aisladas de la radiación cósmica natural, a investigadores de todo el mundo en materia de física fundamental y astrofísica así como ubicaciones de características únicas para geología, biología y ciencias medioambientales. De hecho, las instalaciones subterráneas del LSC abren la posibilidad de descubrir sucesos que ocurren en una probabilidad muy baja, tal y como la interacción de la materia oscura y la desintegración doble beta de los neutrinos.

Siete complejas infraestructuras experimentales, propuestas por grupos de investigadores procedentes de universidades y laboratorios internacionales, se encuentran ya en funcionamiento o bajo construcción aunque todavía hay disponible espacio subterráneo para ubicar nuevas propuestas. También se están estudiando dos nuevas Expresiones de Interés: una sobre la búsqueda de la materia oscura con centelleadores tipo CLYC, y una segunda que propone la utilización de un sensor de fuerza ultra-sensible para la investigación de interacciones de corto alcance. Además, se está estudiando un proyecto de ampliación del espacio subterráneo para albergar una instalación de astrofísica, CUNA.

Laboratorios, oficinas y salas de reuniones se encuentran también disponibles en el edificio sede en el exterior. Durante la primavera del 2016, se completará la restauración de un nuevo edificio exterior para el laboratorio que dispondrá de una sala de exposiciones, aulas y oficinas adicionales. El LSC también ofrece los siguientes servicios para los usuarios:



- Medidas de Radiopureza de Materiales con detectores de Germanio de alta pureza (ULBS).
- Servicio de Fabricación de piezas de cobre de gran radiopureza utilizando técnicas de electroformación (CES).
- Sala blanca subterránea clase 1.000 (ISO 6) y clase 10.000 (ISO 7) (CRS).
- Auditorio para reuniones institucionales con capacidad para 98 personas.

Acogemos gustosamente tanto nuevas propuestas científicas, que pueden ser ubicadas en el espacio subterráneo que tenemos todavía disponible, como solicitudes para el uso de los servicios. El Comité Científico Internacional del LSC estudiará las propuestas científicas, aconsejando a la dirección basándose únicamente en la excelencia científica.

Por último, deseo destacar el gran trabajo desempeñado por el anterior Director del LSC, Alessandro Bettini, quien finalizó su mandato en Abril 2015.

*Esta Memoria recoge la ciencia y actividad experimental llevada a cabo durante el 2015. Está basada en los informes anuales presentados por cada experimento, que han sido editados por el LSC. Cualquier dato inexacto introducido en la edición es responsabilidad del LSC.*

**Aldo Ianni**  
Canfranc Estación, Marzo 2016



# 1 INTRODUCCIÓN

El LSC es un laboratorio subterráneo de primera categoría diseñado para la investigación de la física de neutrinos, la materia oscura y los fenómenos inusuales dentro de la física. A día de hoy, el LSC es el segundo laboratorio a gran profundidad más grande de Europa.

Los físicos han desarrollado una descripción teórica sobre las partículas elementales de la materia y las fuerzas de la Naturaleza denominada modelo estándar (MS). Se ha probado con creciente precisión todas sus predicciones en las energías que son alcanzables con los aceleradores. Un elemento fundamental que faltaba, el bosón de Higgs, fue descubierto en el CERN en el 2012. Laboratorios subterráneos como el LSC, proporcionan información científica que es complementaria a la que se obtiene con aceleradores. De hecho, los primeros elementos de la física más allá del modelo estándar se obtuvieron mediante experimentos subterráneos, como las oscilaciones de neutrinos. La ciencia que se está llevando a cabo en laboratorios subterráneos como el LSC está creciendo en interés en todo el mundo. Existe una gran competencia a nivel internacional con nuevas propuestas de infraestructuras subterráneas. Es por esto que el 2015 y los años que siguen son críticos para el LSC.

Los laboratorios subterráneos, y el LSC en particular, se dedican a la búsqueda de fenómenos nucleares y sub-nucleares extremadamente inusuales, tal como la desintegración doble beta sin neutrinos y las interacciones de la materia oscura. Dicha búsqueda necesita de un ambiente de muy bajo fondo radioactivo. No podemos detectar las señales de una desintegración nuclear en presencia de un alto fondo de radioactividad natural, que puede ser medido en la superficie. Este ruido de fondo es debido a los rayos cósmicos, originado principalmente por los protones cósmicos al golpear núcleos

de nitrógeno u oxígeno en la capa superior de la atmósfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas secundarias. Los muones son los más penetrantes de dichas partículas secundarias (ver Fig. 1.1). Alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo equivalente a unos diez millones/m<sup>2</sup>/día.

Bajo tierra, concretamente bajo el Monte Tobazo cerca de la localidad de Canfranc, el flujo de rayos cósmicos se reduce en un factor de sesenta mil. Por lo tanto, el reducido flujo cósmico de muones permite la búsqueda de procesos muy poco probables.

Únicamente es visible sobre el 5% de la materia que existe en el Universo. El resto es de naturaleza desconocida y es a lo que denominamos materia oscura. El entendimiento de la naturaleza de la materia oscura es un objetivo fundamental de la ciencia moderna. El LSC contribuye a este esfuerzo internacional.



Fig. 1.1 Cascada de rayos cósmicos. Las partículas más penetrantes son los neutrinos,  $\nu$ , y muones,  $\mu$ .

Hoy en día sabemos que los neutrinos tienen muy poca masa. Una explicación natural para el pequeño tamaño de la masa del neutrino requiere que este sea una partícula de Majorana. Una partícula de Majorana tiene la propiedad de ser su propia antipartícula. Si los neutrinos son partículas de Majorana se trasgredirá un parámetro fundamental para la ley de conservación, el número de leptones. En el MS se conserva el número de leptones. La búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos puede probar que los neutrinos son partículas de Majorana y que el número de leptones no se conserva. La trasgresión del número de leptones puede estar relacionada con la asimetría materia-antimateria del Universo. Una vez más el LSC contribuye a este objetivo de investigación internacional.

En el LSC esta actividad de investigación se está llevando a cabo a través de diversos detectores construidos por colaboraciones internacionales. En particular, en el LSC hay dos experimentos en funcionamiento que investigan la búsqueda directa de materia oscura, ANAIS con centelleadores de NaI(Tl)

y ArDM con argón líquido; se está poniendo en marcha un demostrador de un experimento sobre la desintegración doble beta sin neutrinos, NEXT-NEW, y un equipo de pruebas, BiPo, para el experimento SuperNEMO planificado en el laboratorio de Modane, Francia, que se encuentra también en pleno funcionamiento.

Otros sectores científicos pueden beneficiarse de la ubicación única de las instalaciones subterráneas del LSC. Se pueden realizar investigaciones de geodinámica en el LSC con el objetivo de medir y estudiar pequeños cambios en la contracción de la roca en la profundidad de la montaña producidos por leves sucesos sísmicos o tele-sísmicos. La alta sensibilidad que se obtiene bajo tierra es debida a una reducción significativa de los fenómenos humanos y atmosféricos que están presentes en la superficie.

Además, el LSC y el largo túnel ferroviario (ver Fig. 1.2) ofrecen la posibilidad de llevar a cabo estudios en microbiología para, por ejemplo, llegar a entender qué procesos regulan el flujo de energía para la vida subterránea.



Fig. 1.2 El Túnel Ferroviario



Fig. 1.3 Hall A en el LSC

En conclusión, el LSC es una infraestructura científica multidisciplinar a nivel mundial con 1600 m<sup>2</sup> de superficie y un volumen de 10000 m<sup>3</sup> en el subterráneo equipado con un número de instalaciones que dan servicio a actividades de investigación que llevan a cabo colaboraciones internacionales. La infraestructura principal subterránea, denominada LAB2400, se divide en Hall A, el área experimental de mayor superficie, y Hall

B. El resto de las infraestructuras se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente. En el LSC colaboraciones internacionales llevan a cabo sus investigaciones en la frontera entre la física de partículas y la física de astropartículas. Una posible mejora del LSC en años venideros se podría producir de llevarse a cabo una nueva excavación para construir una infraestructura para astrofísica nuclear.

## 2

## ACTIVIDAD DEL LSC DURANTE EL 2015

Los siguientes experimentos han llevado a cabo actividades en el LSC durante el 2015: ANAIS y ArDM (experimento reconocido por el CERN) en materia oscura. NEXT (experimento reconocido por el CERN) en física de neutrinos y GEODYN en geodinámica. Otros dos proyectos, que son auxiliares de experimentos en otros laboratorios, han estado en funcionamiento: BiPo para la propuesta SuperNEMO en el laboratorio LSM cerca de Modane en Francia y SUPERKGe para el experimento SuperKamiokande en Japón. Además, se está debatiendo la propuesta de CUNA para una instalación subterránea de astrofísica nuclear. El proyecto GOLLUM dedicado a estudios de ecología en extremófilos, fue recomendado por el Comité Científico Asesor en noviembre del 2015. Durante el 2016, GOLLUM llevará a cabo el protocolo de análisis de una serie de muestras que es fundamental para convertir esta propuesta en un programa de investigación internacional. Además, en la reunión del Comité Científico Asesor del LSC celebrada en noviembre, se presentó una nueva Expresión de Interés (Eol) sobre la posibilidad de investigar la búsqueda de la materia oscura a través de unos nuevos centelleadores inorgánicos, llamados CLYC, y producidos por "Radiation Monitor Devices" (Instrumentos de monitorización de radioactividad) en los EEUU (<http://rmdinc.com>). La idea básica de ésta propuesta es la de aprovechar la alta eficiencia de detección de neutrones de los CLYC para rechazar el retroceso del fondo de electrones y etiquetar neutrones radiogénicos frente a las interacciones de partículas de materia oscura (interacciones tipo WIMP). En el 2016 se llevará a cabo una caracterización de los CLYC en

términos de radio-pureza y rendimiento en un esfuerzo de colaboración entre el LSC y el Laboratorio de Gran Sasso en Italia. Una segunda Eol se presentó también durante la reunión del Comité Científico Asesor, en noviembre, sobre la posibilidad de instalar en el LSC un sensor de fuerza ultra-sensible, que podría estudiar interacciones de corto alcance. Se espera que el ambiente subterráneo del LSC sea el ideal para aprovechar al máximo la sensibilidad de este equipamiento. En la actualidad, un equipamiento similar está siendo instalado en CAST en el CERN para la búsqueda de camaleones, que podría lograr la materia oscura en el Universo.

Dado el perfil de la montaña en el LSC, se espera que el flujo de muones bajo tierra muestre una distribución angular. Para poder estudiar esto, se instaló un detector de muones que operó en el Hall A durante más de un año (ver Fig. 2.1)



Fig. 2.1 Imagen del detector de muones de rayos cósmicos en el LSC.

El detector de muones consiste en una serie de unidades de 3x3 superior y otra inferior. Cada unidad consiste en 4x4 centelleadores de plástico de  $122 \times 122 \times 30 \text{ mm}^3$ . Además se utiliza también una serie intermedia con 2x2 unidades. Cada unidad centelleadora está equipada con un fotodiodo avalancha y una fibra óptica de

desplazamiento de longitud de onda. Hay 352 unidades centelleadoras en total. Las tres capas centelleadoras están montadas en coincidencia. La estructura matriz del detector al completo permite estudiar bajo tierra la distribución angular de los muones procedentes de los rayos cósmicos. En octubre del 2015 el detector fue trasladado al LAB2500 (una de las tres infraestructuras subterráneas del LSC junto con el LAB780 y el LAB2400). Se tomarán datos en esta nueva localización y se llevará a cabo un análisis completo de las mediciones obtenidas. Esperamos tener un claro entendimiento de la distribución angular para el 2016. Este trabajo se realiza en colaboración con el Moscow Institute of Physics and Technology y la University of Jyväskylä en Finlandia.

El servicio ULBS del LSC ha llevado a cabo una serie de medidas dentro de un proyecto internacional para ayudar en el análisis de las condiciones del plasma en la instalación de fusión termonuclear KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research). Las muestras irradiadas dentro del KSTAR Tokamak fueron enviadas al LSC y otros laboratorios subterráneos para proporcionar información sobre las partículas con carga que escapan del plasma. Los resultados se presentarán en el LLRMT 2016 (Low-Level Radioactivity Measurement Techniques) meeting.

El servicio CES del LSC es una instalación única entre los laboratorios subterráneos en Europa.

Dicho servicio ha recibido interés por parte de varios grupos científicos con el objeto de llevar a cabo investigaciones para comprender la contaminación superficial debida al  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{210}\text{Po}$ , y para caracterizar las propiedades del cobre electroformado para su uso a baja temperatura en bolómetros. Estas actividades se desarrollarán durante el 2016. En el 2015 se realizaron varios análisis de la radiopureza de cobre electroformado en colaboración con el Laboratorio de Gran Sasso. Como resultado de

este trabajo ha sido probado que, efectivamente, el cobre electroformado es menos radioactivo que el producto original. Los valores obtenidos corresponden a cotas de detección a nivel de ppt en uranio y torio. Para poder mejorar este resultado se ha comenzado una colaboración con el PNNL (Pacific Northwest National Laboratory) en USA. En el PNNL se utilizará un instrumento ICP-MS de mayor sensibilidad.

Se prepararon cuatro piezas de cobre electroformado que formarán parte del encapsulado de PMT para los nuevos cristales NaI(Tl) del experimento ANAIS.



Fig. 2.2 Esta foto muestra en encapsulado de cobre de uno de los cristales NaI (TI) junto a dos fotomultiplicadores (PMT) a ambos lados. El encapsulado de los PTMs está fabricado con cobre electro-formado

Se han tomado medidas medioambientales (radón, temperatura, humedad, presión atmosférica, contaminación radioactiva del agua) en colaboración con el Laboratorio de Bajas Actividades (LABAC) de la Universidad de Zaragoza tanto en el laboratorio subterráneo como en las instalaciones exteriores del LSC.

Se completó una nueva guía de seguridad para los experimentos y se debatió con los GLIMOS en Octubre 2015. Este documento incluye las regulaciones generales sobre seguridad para los experimentos y contratistas. Las nuevas guías se encuentran ya en ejecución.

A continuación se detallan las nuevas infraestructuras instaladas y las mejoras llevadas a cabo en el LSC durante el 2015.

La infraestructura del LSC ha sido mejorada con un sistema de detección de radón instalado en el Hall A en diciembre 2015, tal y como se muestra en la Fig. 2.3.

Este sistema coge el aire del medio ambiente subterráneo y produce aire libre de radón a un nivel de  $1\text{mBq/m}^3$ . El sistema puede producir hasta  $220\text{ m}^3/\text{h}$  de aire libre de radón. Remarcamos que el aire en el subterráneo del LSC tiene una media de  $70\text{Bq/m}^3$  de radón. El aire producido se distribuirá al Hall C para reducir el fondo de radón en la sala experimental, que alberga los detectores de germanio hiperpuros para espectroscopia de rayos gamma. Esta mejora debería aumentar la sensibilidad de la instalación de medidas del LSC. El aire libre de radón también se distribuirá al castillo de plomo del experimento NEXT para reducir el fondo inducido por el radón que se encuentra

en el exterior de la vasija de presión NEXT-NEW. Además, el aire libre de radón puede ser utilizado por cualquier equipo durante sus fases de instalación y funcionamiento cuando sea necesario.

El ULBS ha sido mejorado con un detector SAGE well fabricado por CANBERRA, y con un espectrómetro alfa (Alpha Ensemble 4 por ORTEC).

Un nuevo grupo electrógeno diésel ha sido instalado en la entrada del LAB2400. Este equipo puede dar soporte a todos los experimentos y sistemas de seguridad en funcionamiento en el subterráneo en el caso de un corte eléctrico.

Hoy en día el LSC está equipado con dos grupos electrógenos UPS con una potencia de 63 y 200 kVA respectivamente. La autonomía mínima del sistema es de 12 horas.



Fig. 2.3 Sistema de detección de radón instalado en el LSC

Estaba previsto actualizar el sistema de conexión a internet a 60 Mbps. Lamentablemente, estos trabajos no pudieron llevarse a cabo por problemas técnicos ajenos al LSC. A día de hoy el LSC sigue operando con 32 Mbps. Esperamos poder llevar a cabo dicha actualización durante el 2016.

Para poder mejorar la calidad el agua para el uso en el subterráneo del LSC se instaló un sistema de filtrado. El agua que se recoge en la vasija de 8m<sup>3</sup> atraviesa un cartucho de 100µm. El agua que se distribuye desde la vasija pasa por dos filtros con cartuchos de 50µm u 10µm. Esta agua altamente filtrada puede utilizarse para actividades de limpieza en el subterráneo.

Se instalaron siete puertas con resistencia al fuego en el sistema de ventilación, el cual distribuye unos 32000 m<sup>3</sup>/h de aire puro al LSC. También se instaló un sistema de extinción de fuego para el experimento NEXT.

El sistema de monitorización del LSC fue mejorado: mejora del control de la calidad del aire; consumo de potencia del LAB780; funcionamiento de las bombas que distribuyen el agua a los Servicios (sistema de enfriado para el sistema de reducción de radón, grupos electrógenos).

El sistema de detección de incendios fue también mejorado, incluyendo el experimento NEXT, que ha estado trabajando en la instalación y puesta en marcha de nuevo equipamiento.

La reforma del edificio denominado "La Casa de los Abetos" fue aprobada y se han comenzado los trabajos. Se espera que dicha reforma esté completa en la primavera del 2016. El edificio se encuentra ubicado frente al edificio sede del LSC en Canfranc Estación. Será equipado con una sala de exposiciones para actividades de divulgación y salas de reunión.

Nos enorgullece informar que en Diciembre del 2015 el presupuesto para asegurar la continuidad de las actividades del LSC durante los próximos 6 años ha sido afianzado por la firma de un convenio entre el Ministerio de Economía y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza.

El número total de usuarios en el 2015 ha sido de 254, de 19 países distintos.



Fig. 2.4. Usuarios del LSC por país en el 2015

El LSC tiene también un programa de visitas. Durante el 2015 se han registrado casi 2000 visitantes. En la Fig. 2.5 se muestra la tendencia al alza del número de visitantes al LSC durante los últimos 5 años.



Fig. 2.5 Datos del número de visitantes al LSC en los últimos 5 años

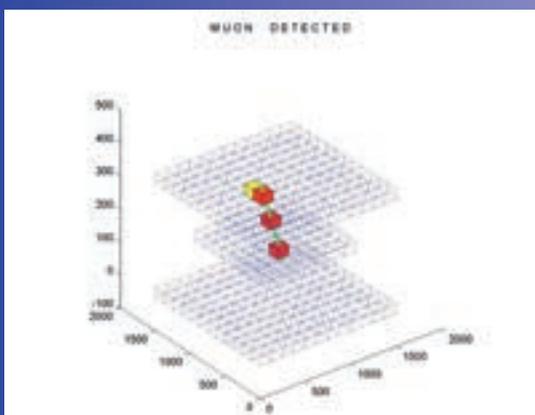
## 3

## RECOPIACIÓN DE EVENTOS 2015



### Segunda Reunión del “CEMES - INA – LPCNO” TALEM2 (12-13 Febrero 2015)

El Instituto Universitario de Investigación en Nanociencia de Aragón (INA) eligió las instalaciones del LSC para celebrar la segunda reunión del “CEMES - INA – LPCNO” TALEM2 los días 12 y 13 de febrero. En nuestro auditorio se reunieron unos 26 investigadores españoles y franceses que realizaron, dentro del programa, una visita al laboratorio subterráneo.



### Taller sobre la “Investigación del Flujo de Muones en el Hall A” (18-20 Febrero, 2015)

Investigadores procedentes de Rusia y Finlandia se reunieron en las instalaciones del LSC para realizar un Taller sobre la “Investigación del Flujo de Muones en el LSC”. Las charlas y discusiones incluyeron simulaciones del campo de muones en las instalaciones subterráneas del LSC y una visita a las mismas para ver el detector.



### Presentación del Proyecto de Rehabilitación de la Casa de los Abetos (26 de Marzo, 2015)

El arquitecto redactor del proyecto, D. Basilio Tobías Pintre, realizó la presentación del proyecto de rehabilitación de la “Casa de los Abetos” en las instalaciones exteriores del Consorcio del LSC, localizadas en el Paseo de los Ayerbe. Dicha edificación se encuentra en la zona “Los Forestales” de Canfranc Estación y en su día fue empleada como vivienda por los ingenieros de montes que trabajaron en las obras de contención de aludes para la Estación de Canfranc. La Casa de los Abetos, perteneciente al Gobierno de Aragón, ha sido adscrita al Consorcio del Laboratorio Subterráneo de Canfranc para poder ser utilizada en su actividad.

## Workshop Internacional MIS3 (Biología Molecular Procariota) (12-17 Junio, 2015)

Medio centenar de investigadores de todo el mundo viajaron hasta Canfranc para participar en unas jornadas en las que intercambiaron conocimientos muy específicos y aprendieron también algunos aspectos del arte, la gastronomía y el paisaje de Canfranc y la Comarca de la Jacetania. Los debates científicos giraron en torno a la Biología molecular procariota, que se refiere a las “cosas maravillosas e insospechadas” que hacen las bacterias. Entre las actividades paralelas y complementarias a estas jornadas destacó la visita al LSC tras la celebración en sus instalaciones de una de sus jornadas científicas.



## Encuentro Internacional “Retos para las Agencias y Universidades” (18-19 Junio, 2015)

Este Encuentro Internacional, organizado por las agencias de calidad de Aragón (ACPUA) y del País Vasco (Unibasq), tiene la finalidad de intercambiar opiniones y efectuar una primera valoración por parte de agencias, universidades y expertos sobre el contenido y alcance de las principales novedades y conlleva la revisión de los Criterios y Directrices Europeos para el aseguramiento de la calidad. Como parte del programa se realizó una visita a las instalaciones subterráneas del LSC.



## 11º Taller “Patras” sobre AXIONS, WIMPS and WISPs (24 de Junio 2015)

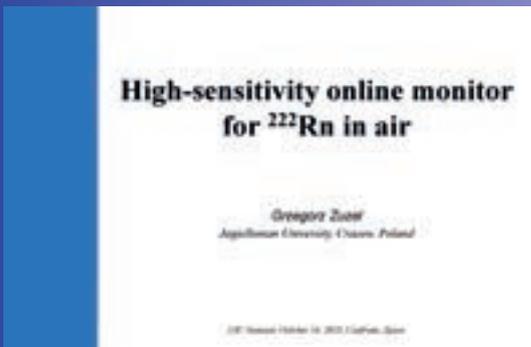
El 11º Taller Patras sobre Axions, WIMPs and WISPs se celebró en Zaragoza (organizado por UNIZAR) desde el 22 al 26, 2015. Una de sus jornadas se llevó a cabo en las instalaciones del LSC e incluyó en la agenda una visita a las instalaciones subterráneas. Este taller ha continuado su rica serie de encuentros, revisando los avances teóricos más recientes, experimentos en laboratorios y resultados en astrofísica y cosmología relacionados con axions, WIMPs and WISPs.





## DULIA-bio 2015 – Congreso sobre Actividades Integradas de Biología en Laboratorios Subterráneos (13-14 Octubre, 2015)

Durante los días 13 y 14 de Octubre tuvo lugar en las instalaciones del LSC el congreso “DULIA-bio 2015”, dedicado a Actividades Integradas de Biología en Laboratorios Subterráneos. Los objetivos del congreso eran difundir el interés en este nuevo prometedor campo de investigación, formar una nueva comunidad de científicos y técnicos que trabajen en los laboratorios subterráneos y que sea el primero de una serie de encuentros a celebrar en los cuatro laboratorios subterráneos a gran profundidad que existen en Europa. Unas 30 personas asistieron a este evento que contó con ponentes de 15 instituciones y 8 países distintos.



## Taller sobre el funcionamiento de un “Sistema de Monitorización y Análisis de Alta Sensibilidad de Rn-222 en el aire” (14 de Octubre, 2015)

Usuarios de los experimentos y miembros del staff del LSC asistieron a este taller impartido por Grzegorz Zuzel, del M. Smoluchowski Institute of Physics en Polonia, que desarrolló las características y el funcionamiento de un Sistema de Análisis de Alta Sensibilidad capaz de monitorizar el contenido de Rn-222 en el aire en tiempo real, en vista al sistema de reducción de radón que se instalará en el LSC en el 2016.

## 4

## ANAIS

EL VIAJE DE LA TIERRA Y  
LA MATERIA OSCURA<http://gifna.unizar.es/anais>

ANAIS es un proyecto de detección directa de materia oscura a través de la observación de la modulación anual que se espera en su ritmo de interacción. Esta modulación anual es una característica distintiva de la señal de materia oscura con respecto a otras posibles señales que pudieran enmascararla. De hecho, hasta la fecha, el único experimento que ha presentado una evidencia robusta de presencia de señal de materia oscura en sus datos es DAMA/LIBRA, que opera en el LNGS y estudia dicha modulación anual. Esta evidencia nunca ha sido confirmada por otros experimentos que han alcanzado una mayor sensibilidad y, sin embargo, esta aparente contradicción no puede ser considerada definitiva ya que se han utilizado diferentes técnicas de detección y núcleos blanco. Una confirmación o refutación de los resultados de DAMA/LIBRA puede realizarse de forma independiente del modelo de halo y materia oscura si se utilizan detectores similares a los suyos, es decir centelleadores de NaI, en condiciones de extremadamente bajo fondo radiactivo y bajo umbral.

En marzo de 2015 se recibió en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) un nuevo cristal de 12.5 kg de NaI(Tl) fabricado en la empresa Alpha Spectra Inc., (Colorado, Estados Unidos), que fue instalado en el blindaje de ANAIS-25. Aprovechando el sistema de adquisición, ya diseñado para dar cabida a un mayor número de módulos, la toma de datos se inició solo dos días después de recibir el detector y tras haberle acoplado los dos fotomultiplicadores en la sala blanca del LSC. El objetivo principal de este montaje, al que nos referiremos como ANAIS-37 (ver figura 4.1.) fue evaluar la radiopureza del polvo de AS y los procedimientos de crecimiento del cristal, ambos mejorados desde la fabricación de los módulos previos (D0 y D1), en términos tanto de emisores alfa internos como en contenido de  $^{40}\text{K}$ , para así poder estimar el nivel de fondo alcanzable en el experimento ANAIS. El nuevo detector (D2) fue colocado entre D0 y D1 para aprovechar la mayor eficiencia de la coincidencia entre módulos y poder así determinar mejor su contenido en potasio.



Fig. 4.1. Montaje de ANAIS-37 en el LSC (marzo de 2015).

Los resultados del contenido en potasio del módulo D2 fueron similares a los de D0 y D1. Sin embargo, tiene un nivel de contaminación en  $^{210}\text{Pb}$  mucho menor que los detectores previos lo que ha permitido conseguir un fondo mucho menor a baja energía. En la figura 4.2 se muestra el fondo del detector D2 comparado con el de D0. La mejora es evidente, incluso teniendo en cuenta que los isótopos cosmogénicamente activados en D2 estaban todavía decayendo y su contribución por debajo de 100 keV es todavía importante.

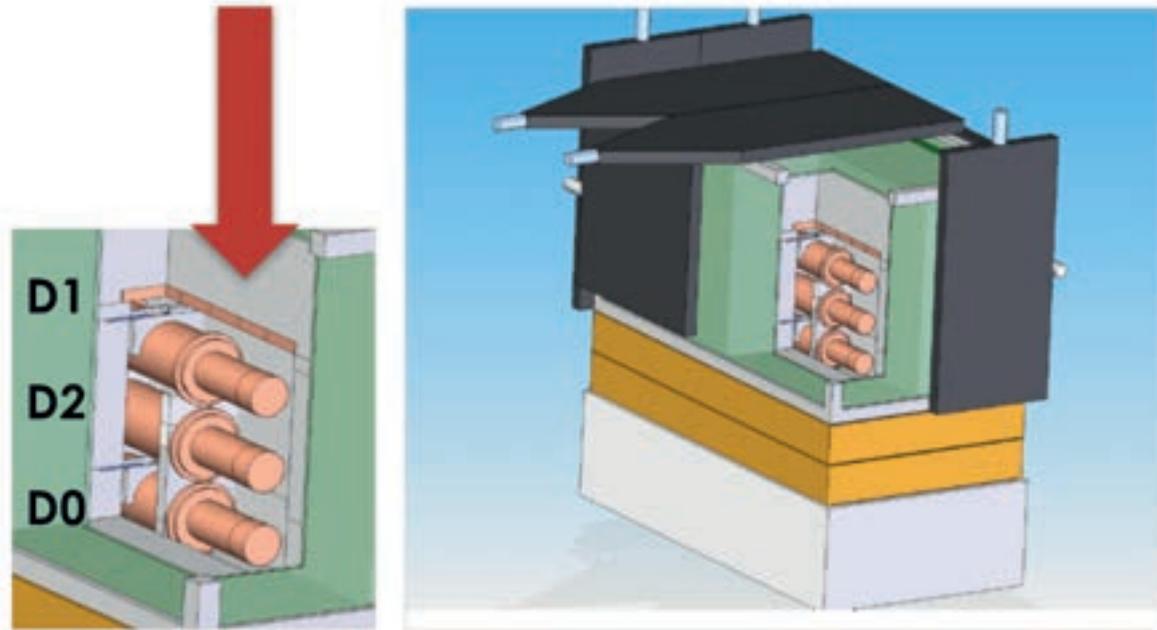


Fig. 4.2. Mejora en el fondo observada con el módulo D2 (negro) frente al fondo de del módulo D0. Isótopos cosmogénicamente activados en D2 están todavía desintegrándose.

Aprovechando esta reducción del fondo en el detector D2 que ya permite ser sensibles a la señal de modulación anual observada por DAMA/LIBRA, y dado el presupuesto disponible, se propuso un nuevo diseño experimental para ANAIS, teniendo como objetivo su montaje a lo largo de 2016 en el LSC. Consiste en una matriz de 3x3 módulos de 12.5 kg cada uno, siendo por lo tanto la masa total de detección de 112.5 kg. En la figura 4.3 se muestra el montaje experimental. Con 5 años de datos, la mayor parte del espacio de parámetros singularizado por la señal positiva de DAMA/LIBRA podría ser explorado. Además, un análisis conjunto de los datos de ANAIS en colaboración con los de los experimentos KIMS y DM-Ice (en total 220 kg de NaI(Tl)) podría permitir en solo 2 años mejorar sensiblemente la sensibilidad a la modulación anual.

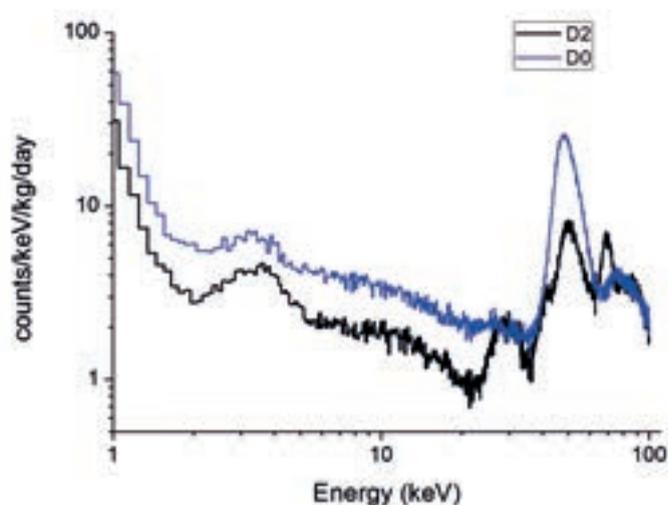


Fig. 4.3. Diseño escogido para el experimento ANAIS: matriz de 3x3 módulos de 12.5 kg cada uno. Se montará en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc en 2016.

El análisis de los datos de los módulos ANAIS-0 y ANAIS-25 permitió progresar significativamente en el desarrollo de protocolos de filtrado para rechazar sucesos anómalos en la región de baja energía, hasta 1 keVee. En septiembre de 2015 se preparó un módulo “vacío” (blank) que fue instalado en el montaje de ANAIS-37 para caracterizar mejor los sucesos que pasaban el procedimiento de filtrado antes comentado y poder optimizar este (ver figura 4.4).

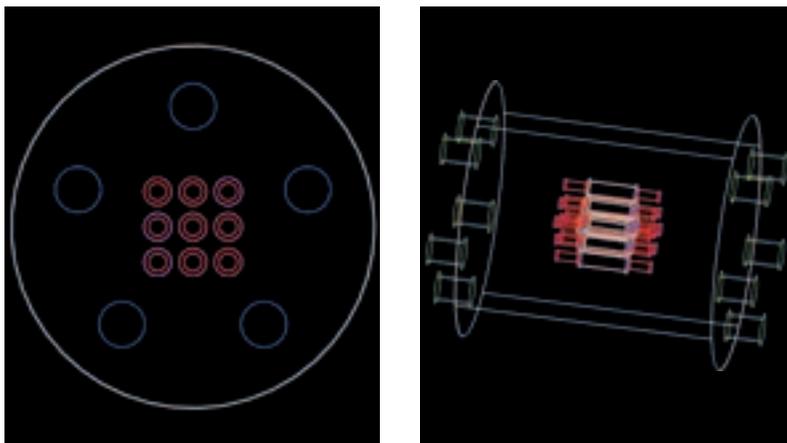


Fig. 4.4. Módulo “blank” instalado en el LSC en septiembre de 2015 para poner a prueba los procedimientos de filtrado de sucesos no producidos por el centelleo del NaI(Tl) y evaluar su contribución al fondo del experimento.

A lo largo de 2015 se ha simulado la capacidad de rechazo de fondo de un veto basado en líquido centelleador alrededor del montaje experimental de ANAIS. Este sistema de veto de centelleo líquido (LSV) se muestra en la figura 4.5 y sería efectivo para reducir la contribución de isótopos como  $^{22}\text{Na}$  y  $^{40}\text{K}$  al fondo a muy baja energía, pero no aquellas debidas a otras contaminaciones en el propio cristal como  $^{210}\text{Pb}$  o tritio, que se convertirían en el mayor peligro para el cumplimiento de los objetivos del experimento. Está previsto solicitar financiación para este sistema LSV en 2016.



Fig. 4.5. Diseño considerado para la primera evaluación Monte Carlo del efecto de veto considerando el montaje ANAIS 3x3 inmerso en un tanque de líquido centelleador.



Los resultados de las actividades de ANAIS han sido publicados en revistas internacionales y presentados en las conferencias más importantes de los campos de la física subterránea y la detección de materia oscura, como es la serie de conferencias TAUP (que se celebró en Turín, Italia, en septiembre de 2015). Además, ANAIS es citado por la prestigiosa revista Nature como uno de los esfuerzos internacionales que afrontan el test de la controvertida reclamación de detección de la materia oscura hecha por DAMA/LIBRA:

<http://www.nature.com/news/controversial-dark-matter-claim-faces-ultimate-test-1.19684>

# 5 ARDM

## ARGÓN LÍQUIDO Y MATERIA OSCURA

<http://darkmatter.ethz.ch/>

ArDM (Argon Dark Matter), que es el primer experimento a gran escala sobre Materia Oscura en funcionamiento en una ubicación subterránea, alcanzó todos sus objetivos fundamentales establecidos para el 2015. Tras completar la construcción del equipo experimental para la primera fase del Experimento (Fig. 5.1), ArDM completó su primera toma de datos en el módulo monofásico operacional (ArDM Run I) de argón líquido (LAr). En Febrero del 2015 se llevó a cabo con éxito la puesta en marcha del detector con dos toneladas de LAr al completo que fue seguido de casi seis meses de toma de datos estable hasta que en Julio se produjo un parón en el experimento tal y como estaba planeado. Durante todo el periodo de la toma de datos se demostró una excelente estabilidad en el rendimiento del detector.

Se registraron más de 3 109 triggers en el sistema local de toma de datos 192-TB instalado en el laboratorio subterráneo durante el Run I. Un primer conjunto de estos datos sirvió como muestra para desarrollar las herramientas de análisis y el marco MC para ArDM. Análisis preliminares, basados en menos del 5% de los datos, confirmaron las expectativas del rendimiento del detector y del ambiente en el que se encuentra instalado. En particular, se encontró que la totalidad del sistema de detección de luz se comportaba de acuerdo a las expectativas, incluyendo tanto los componentes ópticos activos como los pasivos.



Fig. 5.1 Se completó la construcción del equipo ArDM para la primera fase del experimento en el Hall A del LSC. El blindaje de neutrones fabricado en polietileno (blanco, en el centro) fue construido en su totalidad para albergar la vasija del detector. La mitad inferior fué cubierta con paneles de aluminio contra incendio (por fuera) y aislantes térmicos (por dentro).

Se desarrolló un modelo Monte Carlo (MC) describiendo las propiedades del detector desde los principios iniciales. Este incluye un rastreador de rayos óptico completo, basado en modelar procesos ópticos como el centelleo del LAr (emisión de 128-nm VUV, vacío ultravioleta fotones), dispersión Rayleigh, absorción VUV, conversión a luz azul visible con TPB (tetraphenylbutadiene) desplazamiento de longitud de onda, reflejos y refracciones. Los principales parámetros utilizados en la simulación fueron escaneados a grandes oscilaciones de sus valores, y los resultados fueron comparados con distintos conjuntos de datos. Se obtuvo un conjunto de resultados afinados en un ajuste global. Se encontró una descripción plenamente satisfactoria del fondo de electrones en el objetivo LAr de las fuentes radiogénicas tanto del exterior (Hall A) como del interior (LAr y los componentes del detector) (Fig. 5.2). El componente del fondo dominante, las desintegraciones  $^{39}\text{Ar}$ ,

podieron ser cuantificado de acuerdo con el valor esperado de  $\sim 1$  Bq/k. El segundo fondo más dominante es debido a fuentes externas. Fondos internos de la contaminación radioactiva de los materiales del detector cuentan por un 1/20 del índice de triggers. Los flujos gamma tanto exterior (medido en el detector ArDM) como interior (medido en la campaña de revisión de materiales utilizando la instalación de detectores de germanio de alta pureza del LSC) fueron evaluados basándose en medidas independientes y puestos en las simulaciones. Este resultado demostró las condiciones de bajo fondo del detector ArDM y probó la concepción del experimento para la búsqueda de WIMP. Una exitosa tesis doctoral se completó en Diciembre 2015 con los resultados obtenidos del Run I de ArDM, tal y como se ha descrito anteriormente, y una segunda se completará a principios del 2016.

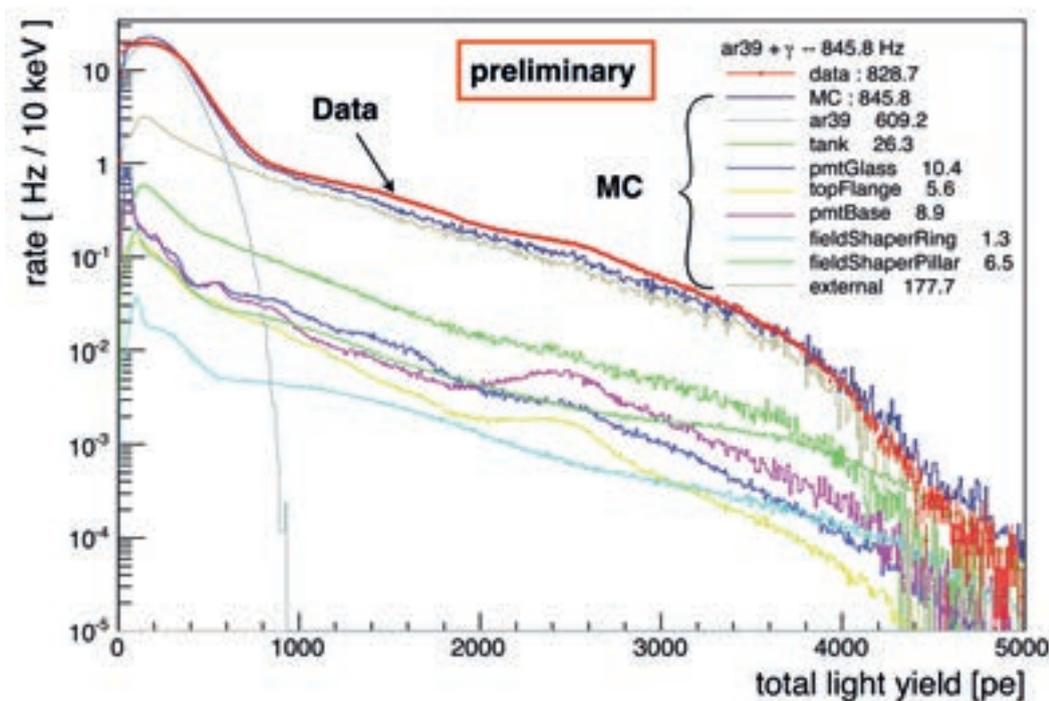


Fig. 5.2. Se compara el espectro de la energía medida en fondos de electrones (en rojo) con la simulación Monte Carlo (azul oscuro, MC). Contribuciones de distintas fuentes (desintegración  $^{39}\text{Ar}$ , gammas de fuentes externas e internas), que se muestran en diferentes colores, se simularon por separado y escaladas de acuerdo con los resultados de las medidas independientes.

El notable estrechamiento de la banda de retroceso electrónico visto en el análisis de la PSD (pulse-shape discrimination) original (Fig 5.3) ha dado una primera indicación del alto poder de discriminación de los detectores LAr a gran escala. Las primeras estimaciones de la fuga del retroceso electrónico en la región del retroceso nuclear (señal, Fig. 5.4) dan proyecciones que prometen hacia la supresión del fondo por PSD.

Mientras que la mayoría de los datos grabados representan la toma de datos de física, casi el

10% fue tomado empleando diversas fuentes de calibración para la caracterización del detector. En particular, aquellos datos tomados con fuentes  $^{83m}\text{Kr}$  internas y  $^{57}\text{Co}$  externas fueron utilizados para afinar los parámetros MC y llegar a un entendimiento satisfactorio de la respuesta del detector, representando un potente sistema de calibración del experimento.

El funcionamiento del experimento involucrando  $\sim 2$  toneladas de LAr criogénico en la instalación subterránea suponía un gran reto. Previo a la operación criogénica se

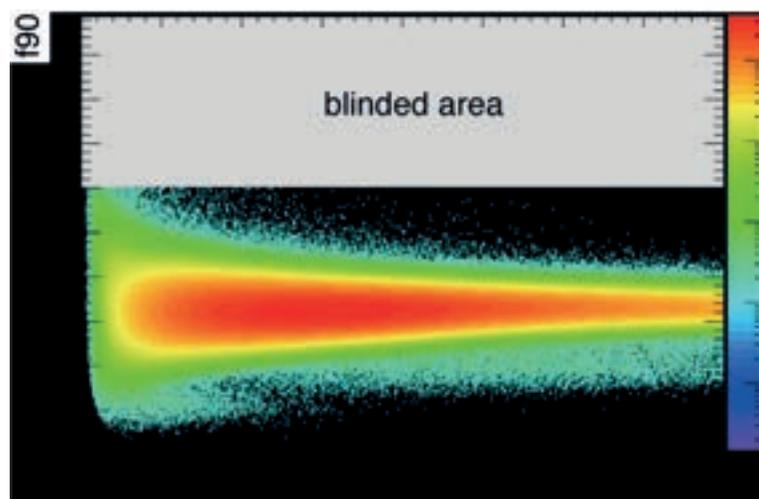


Fig. 5.3. Distribución de medida de eventos ( $\sim 30$  millón de eventos) representados en términos del parámetro f90 PSD (pulse-shape discrimination) como una función del número total de fotoelectrones detectados (LY total). El fondo de retroceso de electrones dominante (en su mayoría desintegraciones  $^{39}\text{Ar}$ ) es distribuido en la banda alrededor del valor principal de unos 0.33 en f90. El notable estrechamiento de la banda ha dado la primera indicación del alto poder de discriminación de fondo de los detectores LAr a gran escala. Los eventos de retroceso de núcleo, posibles señales inducidas por WIMPs, se esperan en el área cegada con altos valores f90.

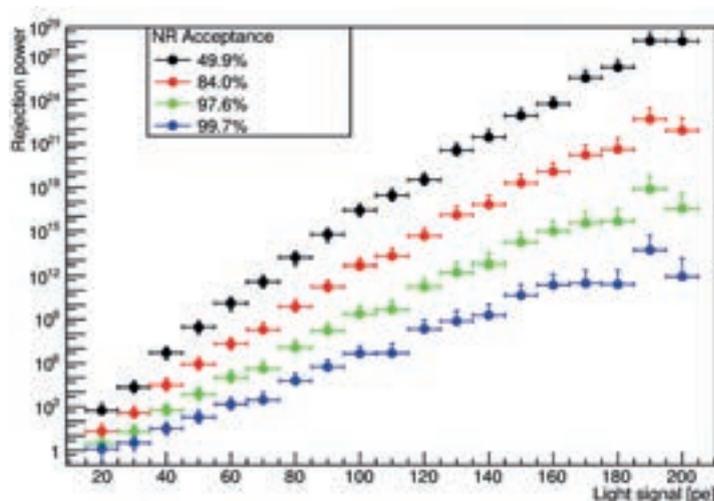


Fig. 5.4. Primera estimación del poder de rechazo de electrones en ArDM como función del número de fotoelectrones detectados, obtenida del análisis PSD (pulse-shape discrimination). Sucesos de neutrones inducidos en retroceso de núcleo fueron analizados en el conjunto de datos tomado con una fuente de fisión de neutrones  $^{252}\text{Cf}$ .

llevó a cabo un análisis de riesgos cuantitativo (QRA) del equipo experimental por parte del centro de investigación griego DEMOKRITOS, especializados en revisar instalaciones industriales como plantas de energía nuclear. Más adelante, el QRA fue revisado por otra compañía externa independiente, NIER, Italia, que tiene experiencia, en particular, en instalaciones subterráneas. Ambas revisiones se realizaron en estrecha colaboración con el LSC y con la ayuda de su personal técnico. En primera instancia la ayuda consistió en la simulación de accidentes resolviendo tres problemas transitorios de dispersión dimensional involucrando fugas criogénicas de doble fase. Los accidentes se clasificaron en tres niveles, aunque únicamente el de tercer nivel probó representar un riesgo considerable al personal del laboratorio. No obstante, la frecuencia de un suceso de estas características se estimó ser de 4 a  $10^{-5}$  al año. Se instalaron una serie de equipos de seguridad adicionales en colaboración con el LSC para prevenir riesgos en caso de tales sucesos que serán aprobados en la operación criogénica.

El sistema criogénico de ArDM mostro una alta estabilidad y seguridad durante los casi nueve meses de la operación criogénica. El sistema de control de ArDM al completo realizado con módulos PLC (Programmable Logic Controller) industriales, que regulan automáticamente las condiciones en el sistema, mantuvieron la presión del volumen principal de LAr normalmente dentro de variaciones 10 mbar. Su función de control remoto permitió operar el sistema con un mínimo de personal a turnos trabajando con trabajadores remotos a turnos desde el Centro de Control en el CERN, Ginebra.

Además de la Run I de ArDM, se completó con éxito un año de toma de datos continuo en la campaña de medida de neutrones para evaluar el flujo de neutrones ambiental en el Hall A, resultando en un tiempo de vida total

de 216 días y >109 sucesos registrados. Se está trabajando actualmente en análisis en detalle prestando especial atención en las variaciones observadas en la respuesta del detector y las posibles correcciones para ese efecto. Se seguirán tomando medidas en las nuevas configuraciones detector para proporcionar información esencial que eventualmente complementara nuestro entendimiento de los fondos de neutrones.

Al mismo tiempo que se está desarrollando un amplio trabajo en el análisis de datos, tal y como se ha descrito, la Colaboración realizó un gran esfuerzo para preparar actualizaciones de hardware, en su mayoría para la instalación de la cámara TPC para el siguiente run. El modulo operacional TPC LAr de doble fase permitirá la lectura de carga de ionización a través de una luz centelleante secundaria, producida por electrones derivados en LAr y seguidamente extraídos a la fase de vapor del argón. Esto proporcionará una reconstrucción completa en 3D de sucesos de vértices, esencial para precisar el volumen fiducial (fiducialisations) del detector, y al mismo tiempo potencia de discriminación adicional para fondos de electrones de sucesos de retroceso de núcleo. Las actualizaciones incluirán una mejora del sistema de detección de luz, utilizando ventanas de PMMA (metacrilato de polimetilo) y nuevas laminas reflectantes internas, ambos cubiertos con TPB. El detector mejorado se instalará en el LSC a principios del 2016. Tras su puesta en marcha, comenzará ArDM Run II en el modo de LAr TPC de doble fase a lo largo del 2016, donde se espera conseguir la mayor sensibilidad a los WIMPs para experimentos basados en tecnologías LAr. Para llevar a cabo estas mejoras así como varios programas de I+D que contribuyan a los planes a largo plazo del experimento ArDM, el estado de experimento reconocido en el CERN (RE18) fue reconfirmado en marzo del 2015.

# 6 NEXT

## GAS DE ALTA PRESIÓN Y DESINTEGRACIÓN DOBLE BETA SIN NEUTRINOS

<http://next.ific.uv.es/next/>

El objetivo del experimento NEXT (de las siglas en inglés Neutrino Experiment with a Xenon TPC)<sup>1</sup> es la construcción, puesta a punto y operación del detector NEXT-100, una cámara de proyección temporal (TPC) que utiliza gas xenón a alta presión (HPXe) y electroluminiscencia (EL) para amplificar las señales físicas. NEXT-100 buscará procesos de desintegración doble beta sin neutrinos ( $\beta\beta 0\nu$ ) en gas xenón enriquecido al 90 % en el isótopo  $^{136}\text{Xe}$ . El detector contendrá 100 kg de gas y se desarrollará en el laboratorio subterráneo de Canfranc (LSC).

El proyecto abarca tres fases. La I+D+i inicial se extendió desde 2010 a 2014. La operación de tres prototipos de gran tamaño NEXT-DBDM (LBNL), NEXT-DEMO (IFIC) y NEXT-MM (Zaragoza), ha demostrado las excelentes prestaciones en resolución de energía y reconstrucción de electrones de la tecnología EL adoptada por el experimento.

La segunda fase del proyecto es la construcción, puesta a punto y operación del detector NEW (NEXT-WHITE)<sup>2</sup>, que constituye la primera fase del experimento en el LSC. Se trata de un detector radiopuro, con 10 kg de masa, cuyo propósito es ejercitar las soluciones técnicas adoptadas para NEXT-100 así como las infraestructuras, incluyendo el sistema de gas y los controles de operación. NEW también se utilizará para proporcionar datos esenciales para la definición del modelo de ruido de fondo de NEXT-100. El aparato y las infraestructuras se han construido durante el 2015 y en la actualidad se están poniendo a punto en el LSC. Está previsto que NEW opere durante 2017 y 2018.

La tercera etapa del proyecto es la construcción (en 2018) puesta a punto (en 2019) y operación (a partir de 2020) de NEXT-100. En este documento se presenta un resumen de los logros conseguidos a lo largo de 2015.

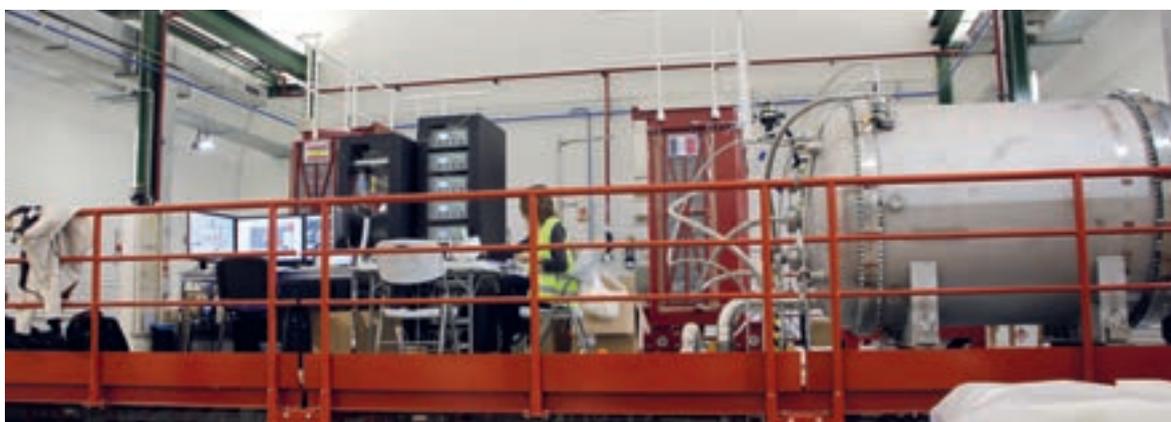


Fig. 6.1: la plataforma de trabajo de NEXT, en la que puede verse el Castillo de plomo que blindo el detector y el sistema de gas. El tanque de presión de NEXT-100 (a la derecha de la fotografía) se usa como tanque de recuperación de emergencia.

<sup>1</sup> <http://next.ific.uv.es/next>

<sup>2</sup> El nombre honra la memoria del profesor James White, uno de los científicos fundadores de la colaboración, fallecido en 2013



Fig. 6.2: El compresor escogido por NEXT ha sido manufacturado por la compañía alemana SERA. Se caracteriza por disponer de triple diafragma y sellos metal-metal. Entre cada par de diafragmas hay instalado un sensor cuya función es detectar posibles fugas. En caso de que se detecte una fuga, el compresor puede apagarse automáticamente.

### Las infraestructuras de NEXT

La figura 6.1 muestra la plataforma de trabajo de NEXT. La mayor parte de las infraestructuras necesarias para operar NEW han sido completadas en 2015. Especialmente importante es el sistema de gas, cuyo cometido es purificar el gas xenón, reduciendo las trazas de gases O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y vapor de agua a menos de una parte por billón (ppb)<sup>3</sup>. Tanto NEW como NEXT-100 operarán con xenón natural y con xenón enriquecido. El gas se mantendrá a temperatura normal y a una presión de 10-15 atmósferas. El sistema de gas ha sido diseñado para evitar pérdidas significativas de xenón bajo todas las circunstancias previsibles.

Los componentes principales del sistema de gas son:

- El sistema de recuperación de emergencia, que reutiliza la vasija a presión de NEXT-100.
- El compresor, que se muestra en la figura 6.2.
- El bucle de purificación, que hace pasar el gas por filtros moleculares para obtener la pureza requerida.
- El sistema de recuperación criogénico, que se utiliza para recuperar el gas en condiciones normales.

Las componentes principales del sistema de gas han sido completadas durante 2015 y el primer trimestre del 2016. El sistema está listo para pasar los controles de seguridad y comenzar a operar.

<sup>3</sup>Se refiere a billón americano, esto es una parte en mil millones.

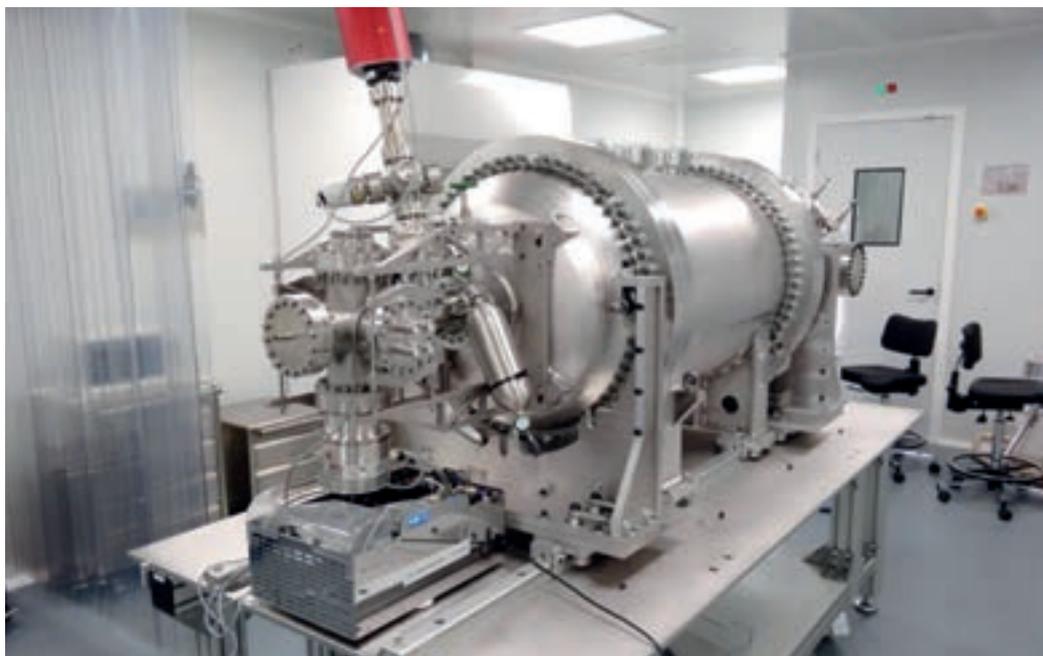


Fig. 6.3: El detector NEW en proceso de ensamblaje en la sala limpia del LSC. La fotografía muestra el detector visto desde la zona del "Plano de Energía" (EP).

### El detector NEW

El detector NEW es la primera fase del experimento NEXT. Las dimensiones de la vasija de presión y de la jaula eléctrica son aproximadamente 1:2 con respecto a las dimensiones de NEXT-100. El número de sensores es un 20% del número requerido en NEXT-100 y la masa de xenón es de 10 kg a la presión de 15 atmósferas.

La figura 6.3 muestra el ensamblaje del detector en la sala limpia del LSC, durante 2015. NEW tiene tres partes principales, llamadas Plano de Energía (EP de sus siglas en inglés), Plano de Trazado (TP) y Jaula Eléctrica (FC). El EP y el TP están ya instalados y la FC se instalará a primeros de Mayo.

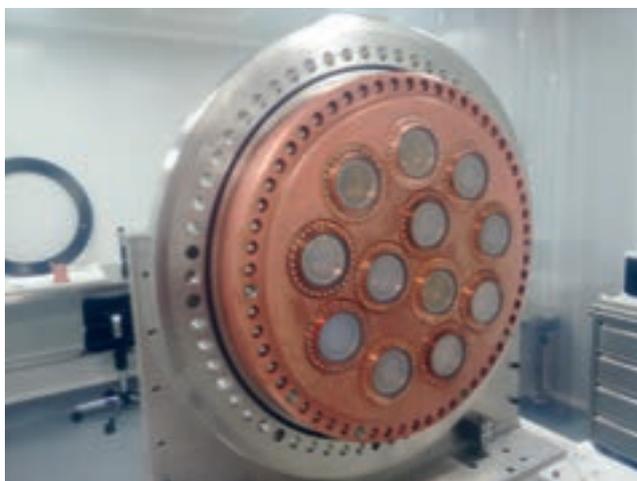


Fig. 6.4: Ensamblaje del Plano de Energía en la sala limpia del LSC durante 2015. La fotografía muestra el soporte principal (llamado plato-madre) en el que se han instalado 12 ventanas de zafiro.

El plano de energía se muestra en la figura 6.4. Consiste en un grueso plato de cobre, de 11 cm de espesor, llamado plato-madre, con 12 ventanas cubiertas por ventanas de zafiro. El plato-madre sella la parte a presión del detector, separándola de la zona donde están instalados los fotomultiplicadores (PMTs), que operan en vacío. Los 12 PMTs modelo Hamamatsu R11410 PMTs se acoplan a la ventana usando un gel óptico.

El plano de trazado de NEW permite la reconstrucción de las trayectorias de los electrones en el gas. Consiste en una matriz de fotomultiplicadores de silicio (SiPMs) que operan como píxeles detectores de luz, proporcionando una imagen en 2D del suceso (la tercera coordenada se obtiene a partir del tiempo de deriva). Los SiPMs son sensores de

1 mm, radiopuros, manufacturados por SENSIL. El TP está hecho con 29 circuitos radiopuros denominados circuitos de Kapton (KDBs). Cada KDB consta de una matriz de  $8 \times 8$  SiPMs, dispuestos con una separación entre sí de 1 cm. El número total de sensores es de 1800. Los circuitos están recubiertos por reflectores a fin de incrementar la cantidad de luz en el detector. La figura 6.5 muestra el TP con la mitad de los KDBs ya recubiertos por reflectores.

El objetivo de la FC es proporcionar un campo eléctrico homogéneo y uniforme dentro del volumen activo de NEW. La jaula eléctrica tiene un diámetro externo de 50 cm y una longitud de deriva de 50 cm. Las dimensiones longitudinales y radiales son aproximadamente la mitad que las de NEXT-100.

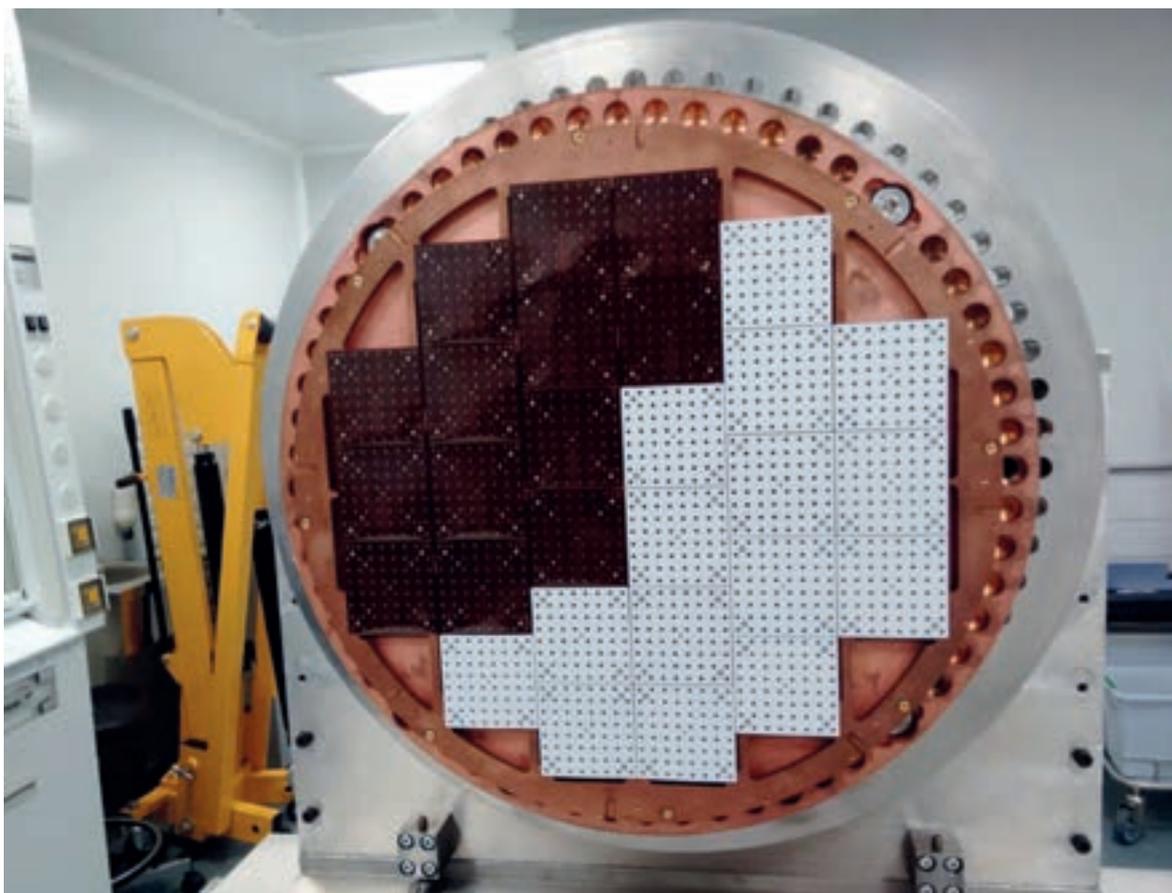


Fig. 6.5: el plano de trazado de NEW, en proceso de montaje en la sala limpia del LSC, durante 2015.

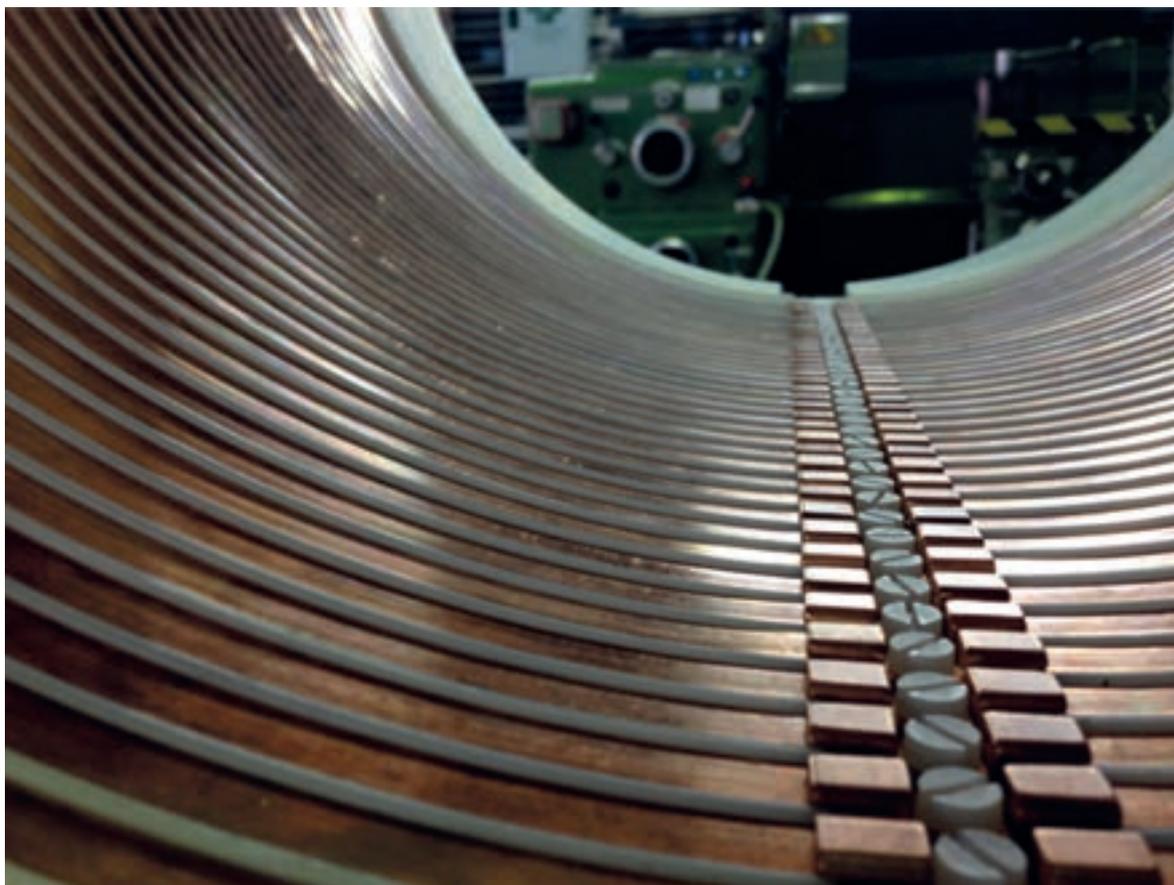


Fig. 6.6: La jaula eléctrica (FC), en la que pueden verse los anillos de cobre que definen la región de deriva.

El cuerpo principal de la FC es un cilindro hueco de polietileno de alta densidad (HDPE) cuya función es la de actuar como aislante. El espesor de las paredes del cilindro es de 2.5 cm. Dos mallas de hilos (cátodo y ánodo) definen el volumen activo de NEW. La región de electroluminescencia (EL) está definida por el ánodo y por un plato de cuarzo, situado a 5 mm de éste. Este plato está recubierto con un cambiador de frecuencia (TPB) y con un recubrimiento metálico (ITO) que garantiza una superficie resistiva. En el interior del cilindro se instalan anillos de cobre radiopuros conectados por resistencias de  $10\text{ G}\Omega$  (Fig. 6.6), que permiten generar un campo uniforme entre 300 y 600 V/cm.

### Resumen

En resumen, el progreso en la construcción y puesta punto del experimento durante 2015 ha sido:

La plataforma de trabajo y castillo de plomo han sido completados y están operacionales.

El sistema de gas del experimento está listo para entrar en funcionamiento.

El detector NEW está siendo ensamblado en el LSC, listo para empezar a operar en Mayo, 2016.

# 7 BiPo

## DECAIMIENTO DOBLE BETA SIN NEUTRINOS: CANFANC CON MODANE

<http://nemo.in2p3.fr/nemow3/>

Los dos resultados más importantes del detector BiPo-3 durante el año 2015 son : 1- la medida de la radioactividad de las primeras ocho fuentes de  $2\beta 0\nu$  de  $^{82}\text{Se}$  enriquecido para el demostrador de SuperNemo y 2- la medida de Selenio natural purificado con una técnica innovadora ideada y realizada en el instituto JINR en Dubna, Rusia.

### I. Medida de las fuentes de $^{82}\text{Se}$ enriquecido para SuperNemo

Las fuentes de  $^{82}\text{Se}$  enriquecido de las que disponemos fueron producidas en el instituto ITEP, en Rusia y tienen 2705 mm de largo por 135 mm de ancho. Estas finas hojas consisten en un 'sandwich' de  $^{82}\text{Se}$  en polvo entre dos hojas de Mylar. El polvo de  $^{82}\text{Se}$  purificado es mezclado con un adhesivo de alcohol Polyvinil (PVA) para asegurar su adherencia. Las hojas de Mylar, de un espesor de 12 mm, han sido irradiadas en el JINR (Rusia) con un haz de iones y luego atacadas con una solución de hidróxido de Sodio. Este procedimiento produce innumerables orificios microscópicos que aseguran la adherencia con el PVA y además permiten la evaporación del agua durante el secado del adhesivo. La radiopureza del Mylar y del PVA fue medida previamente de manera individual con BiPo-3. El Mylar original, antes de ser irradiado y el PVA son ambos radiopuros. Sin embargo, una contaminación en  $^{208}\text{Tl}$  ha sido medida en el Mylar después

de ser irradiado al nivel de  $A(^{208}\text{Tl}) = [47 - 171]$  mBq/kg. Esta contaminación se debe tener en cuenta para la determinación de la radioactividad de las fuentes de  $^{82}\text{Se}$ . Además de la contaminación del Mylar irradiado, dos otros componentes de ruido de fondo son incluidos en el análisis: la contaminación en la superficie de los centelladores y las coincidencias fortuitas. Ambas componentes han sido medidas en tomas de datos especiales.

Las cuatro primeras fuentes (etiquetadas como hojas 1, 2, 3 & 4) han sido medidas entre Agosto 2014 y Junio 2015. Las primeras dos hojas (hojas 1 y 2) se midieron entre Agosto y Diciembre 2014 usando la mitad de la superficie del Módulo 1. La otra mitad se dejó sin muestra para el control del ruido de fondo. En Diciembre 2014 las hojas 3 y 4 fueron instaladas en la segunda mitad del Módulo 1 junto con las hojas 1 y 2. Las cuatro hojas fueron medidas entonces entre Diciembre 2014 y Junio 2015.

Los dos periodos de medición acumularon 262 días de tiempo útil para el  $^{212}\text{Bi}$  (tras haber retirado los tres primeros días para reducir el ruido de fondo inducido por el  $^{220}\text{Rn}$ ) y 241.1 días para el  $^{214}\text{Bi}$  (tras haber retirado los primeros quince días para reducir el ruido de fondo debido al  $^{222}\text{Rn}$ ).

Para el  $^{212}\text{Bi}$  se ha encontrado un exceso significativo en los datos con respecto al ruido de fondo esperado. Este exceso es compatible con una contaminación en la mezcla de  $^{82}\text{Se}+\text{PVA}$  y corresponde a una actividad de  $A(^{208}\text{Tl}) = [6.3 - 34.2]$  mBq/kg at 90 % C.L.

Para el  $^{214}\text{Bi}$ , un análisis preliminar muestra que los datos experimentales son compatibles con la fluctuación estadística del ruido de fondo y es interpretado entonces como un límite superior para la contaminación en la mezcla  $^{82}\text{Se}+\text{PVA}$  de  $A(^{214}\text{Bi}) < 300$  mBq/kg at 90 % C.L.

Las fuentes nº 5, 6, 7 & 8 se empezaron a medir en Junio 2015 y la medición todavía continúa. El resultado parcial para la contaminación de  $^{212}\text{Bi}$  que resulta es de  $A(^{208}\text{Tl}) = [14 - 79]$  mBq/kg at 90 % C.L.

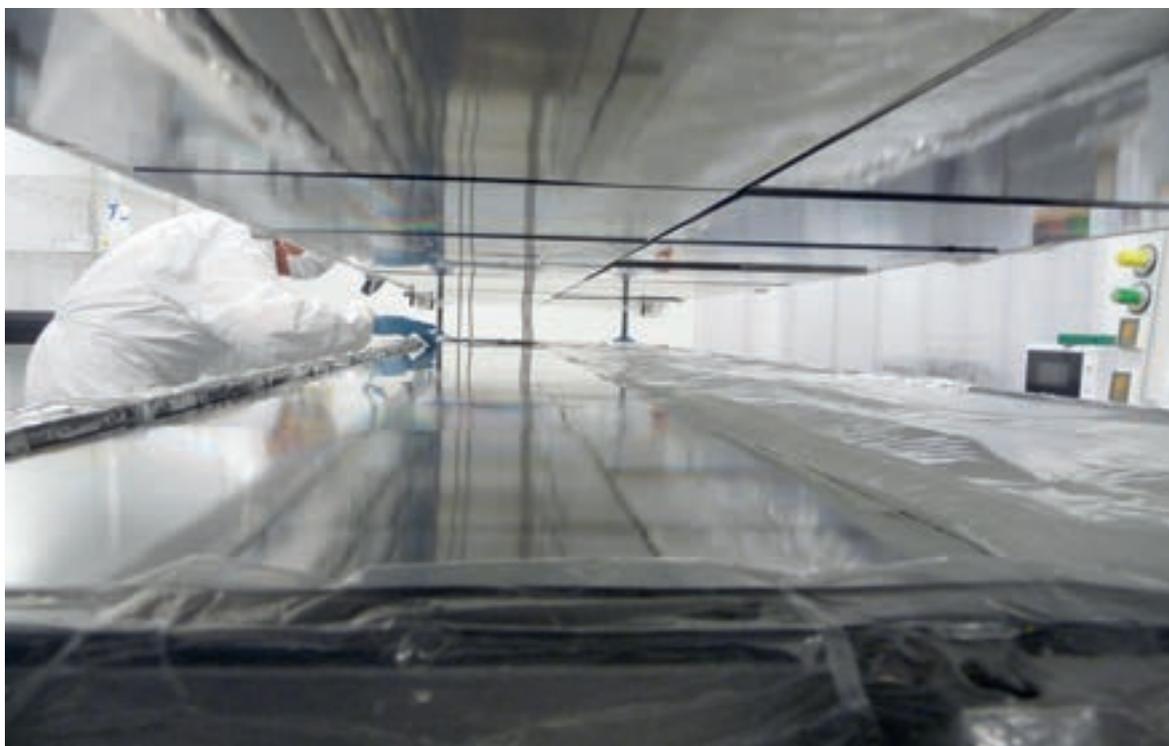


Fig. 7.1: Instalación de una muestra en uno de los módulos de BiPo-3 en la sala blanca del LSC

## 2. Medida de Se natural purificado

El grupo de la colaboración SuperNemo del instituto de JINR en Dubna, Rusia, ha desarrollado una técnica de purificación innovadora para el Se. El detector BiPo es el único detector capaz de medir los niveles de pureza que han sido alcanzados y este resultado permitirá la evaluación de esta nueva técnica de purificación.

El Se natural purificado fue puesto en forma de finas hojas en el LAPP, Annecy, Francia. Las fuentes tienen un largo total de 2700 mm por 135 mm de ancho. Para producir estas hojas, el polvo  $^{nat}\text{Se}$  que resulta de la purificación ha sido mezclado con PVA y depositado entre dos hojas de Mylar. Debido a que se ha encontrado una contaminación en el Mylar irradiado, las nuevas fuentes han sido producidas con Mylar sin irradiar. Esto conlleva el desarrollo de una nueva técnica de producción, ya que el Mylar sin irradiación, sin los orificios microscópicos del Mylar irradiado, no permite la adhesión de la mezcla Se+PVA y tampoco la evaporación del agua durante el secado del PVA.

La medida de las hojas de  $^{nat}\text{Se}$  mostró una contaminación de  $^{208}\text{Tl}$  relativamente importante en la superficie de la mezcla de Se+PVA que condujo a la modificación de la técnica de producción con el objetivo de mejorar el nivel de radiopureza de las hojas.

### Conclusión

Actualmente un total de ocho hojas de fuentes de  $^{82}\text{Se}$  enriquecido han sido medidas en radiopureza con el detector BiPo. Nuevas fuentes están siendo fabricadas, con un nuevo método de purificación de Se y una nueva

técnica de producción. Una parte de estas fuentes serán caracterizadas durante el año 2016 con el detector BiPo-3.

Hay un interés creciente de la parte de otros experimentos de doble-beta o materia oscura en mediciones con BiPo-3 para caracterizar la radiopureza de materiales muy finos ya que la selección de materiales de baja radioactividad es un ingrediente clave para lograr las sensibilidades requeridas. Muestras de los experimentos de doble beta CUORE y LUMINEU han sido medidas con el detector BiPo-3. Varias muestras de micromegas producidas con distintas tecnologías de la Universidad de Zaragoza ya han sido también caracterizadas. El grupo del CEA/Saclay del proyecto IAXO (continuación del experimento CAST) está interesado en medidas con BiPo-3 de micromegas y de las tecnologías alternativas MMCs y TES. El experimento de materia oscura DarkSide ha expresado también su interés por medidas con el detector BiPo.

El detector BiPo-3 se ha convertido en un detector genérico y estará disponible a partir de 2017 para la medida de muestras de distintos experimentos.

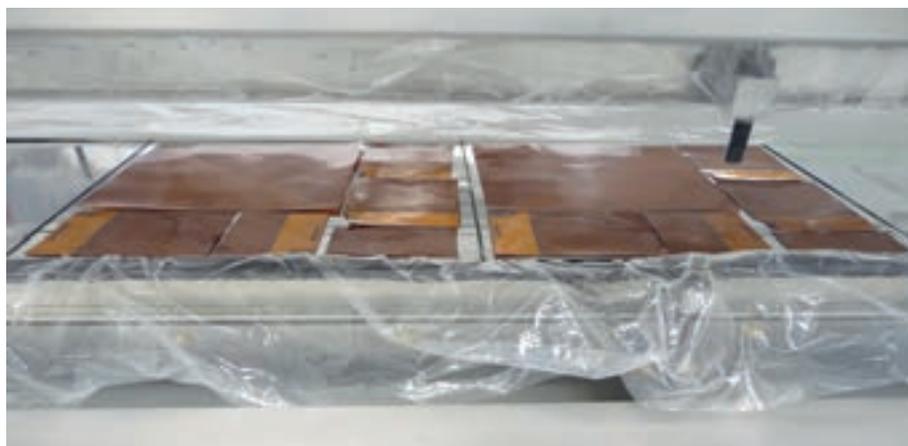


Fig. 7.2: Micromegas en el detector BiPo-3 para la medida de su radioactividad

# 8 SUPERKGD

## BUSQUEDA DE RADIO PUREZA: CANFRANC CON KAMIOKA

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index-e.html>

### SuperKGD en el 2015

Un hito muy importante ocurrido durante el año 2015 es la aprobación del proyecto Gd por la Colaboración Super-Kamiokande en su reunión de 27 de junio de 2015. El comunicado oficial es el siguiente:

*El 27 de junio de 2015, la colaboración Super-Kamiokande aprobó el proyecto SuperK-Gd para mejorar la identificación de los antineutrinos, mediante la disolución de gadolinio en el agua de Super-K. La planificación del proyecto, incluyendo la remodelación del tanque y cuando se disolverá el Gd, se determinará en un futuro próximo teniendo en cuenta el calendario de T2K.*

**Actividades.** Durante el año 2015 se han realizado varias medidas de radio pureza, la mayor parte en muestras de sales de Gd. Se enumeran a continuación dándose una explicación básica para ponerlas en contexto.

1. Una nueva muestra  $Gd_2(SO_4)_3$  de **Stanford Materials Co.** (CA, EE.UU.) [Gd-201412]. A pesar de que la contaminación es todavía grande, ésta sigue mejorando de manera constante en cada nuevo lote entregado. Esto es, sin duda, una buena noticia ya que **Stanford Materials Co.** es, hasta ahora, el único candidato realista para la producción en masa.
2. Una muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$ , [Gd-201508] del proveedor japonés **Kojundo Chemicals Laboratories Co. Ltd.**. Es la muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  más limpia de las hasta ahora medidas (ver tabla). Consideramos interesante la detección de pequeñas cantidades de  $^{134}Cs$  y  $^{137}Cs$  en la muestra.
3. Hemos vuelto a medir la muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  que proviene del mismo lote de la sal que está disuelta actualmente en el tanque de prueba EGADS en el Observatorio Kamioka: [Gd-201308] de **Stanford Materials Co.** (CA, EE.UU.). La razón inicial de ésta repetición era entender los resultados ICPMS de muestras tomadas in situ. Sin embargo el resultado principal han sido el constatar cambios importantes en el no-equilibrio de las cadenas  $^{232}Th$  y  $^{235}U$  después del intervalo de 2 años entre ambas medidas.
4. Una muestra de polvo de  $SiO_2$ , uno de los pegamentos candidatos para el material a usar en el sellado de la fuga del tanque Super-Kamiokande que ha de hacerse antes de disolver el Gd. El producto es también de **Kojundo Chemicals Laboratories Co. Ltd.**. Dada la excelente limpieza de la muestra de Gd de **Kojundo**, se tenían grandes expectativas sobre la limpieza de este  $SiO_2$ . Desgraciadamente no han sido cumplidas.
5. Una muestra de  $Gd_2O_3$  de **Molycorp, Inc.** (CO, EE.UU.) [Gd2O3-201510], una empresa global de minería, procesamiento de tierras raras y fabricación de metales de tierras raras. **Molycorp** ha mostrado interés un gran interés en nuestro proyecto y, sobre todo, en el desarrollo de su propio programa de I+D para producir  $Gd_2(SO_4)_3$  limpio. Con el fin de tener una primera iteración con ellos, **Molycorp** nos proporcionó esta muestra de  $Gd_2O_3$  de origen, propósito y características de contaminación radioactiva aleatorias.

Chain	Main sub-chain isotope	Gd-201412	Gd-201508	Gd-201308 measured 201508	SiO <sub>2</sub> Kojundo	Gd2O3 -201510
<b><sup>238</sup>U</b>	<b><sup>238</sup>U</b>	< 76	< 34	14 ± 7	777 ± 207	1673 ± 122
	<b><sup>226</sup>Ra</b>	< 1.4	< 0.8	1.0 ± 0.4	449 ± 8	< 3
<b><sup>232</sup>Th</b>	<b><sup>228</sup>Ra</b>	2 ± 1	< 1.1	12 ± 1	40 ± 6	258 ± 6
	<b><sup>228</sup>Th</b>	29 ± 2	2.0 ± 0.5	63 ± 2	43 ± 5	124 ± 3
<b><sup>235</sup>U</b>	<b><sup>235</sup>U</b>	< 1.8	< 0.6	< 2.5	<	25 ± 8
	<b><sup>227</sup>Ac/<sup>227</sup>Th</b>	190 ± 6	11 ± 4	196 ± 5	<	< 15
	<b><sup>40</sup>K</b>	< 5	< 3	3 ± 1	875 ± 36	21 ± 6
	<b><sup>138</sup>La</b>	23 ± 1	< 0.6	3.2 ± 0.3		< 3.2
	<b><sup>176</sup>Lu</b>	2.5 ± 0.6	2.9 ± 0.2	24 ± 1		5.9 ± 0.4
	<b><sup>134</sup>Cs</b>		0.5 ± 0.1			< 0.8
	<b><sup>137</sup>Cs</b>		2.6 ± 0.3			< 1.1

Los resultados para las 3 cadenas radiactivas e isótopos radiactivos relevantes se muestran en la siguiente tabla (las unidades son mBq / kg):

Respecto al impacto esperado en el programa de física de SuperK-Gd de las contaminaciones medidas, se estima que contaminaciones similares a las de la muestra [Gd-201508] (*Kojundo Chemical Labs. Co. Ltd.*) básicamente no tendrían ningún impacto en las medidas clave de “fondo reliquia de neutrinos de la supernova” y “aviso temprano de supernova por quema de Si en candidatos pre-supernova”. Por el contrario sí que estaría en peligro la excelente sensibilidad actual de Super-

Kamiokande a los neutrinos solares de baja energía (energía cinética de 3,5 MeV en los electrones de retroceso), debido a electrones y fotones producidos en las desintegraciones  $\beta$  de los productos del Ra, principalmente <sup>208</sup>Th y en menor medida <sup>214</sup>Bi. Para mantener la capacidad actual de Super-Kamiokande se necesitaría una reducción de la contaminación de Ra en un factor entre 50 y 500. A pesar de que sigue siendo nuestro objetivo muestras de Gd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> limpias ya en su recepción, se está desarrollando en el Observatorio de Kamioka un sistema de eliminación de Th/Ra para tal fin.

### Planes a medio plazo.

Hemos establecido relación con dos nuevos proveedores de  $Gd_2(SO_4)_3$ : el japonés **Kojundo Chemical Labs. Co. Ltd.**, que ha proporcionado la muestra más limpia recibida hasta la fecha, y el americano **Molycorp, Inc.**, una empresa líder global de minería, procesamiento de tierras raras y fabricación de metales de tierras raras que ha mostrado un gran interés en el desarrollo, con nuestra ayuda, de un programa de I+D para producir  $Gd_2(SO_4)_3$  limpio. Ya teníamos a **Stanford Materials Co.** que está mejorando de manera constante y significativa la limpieza de su producto. Estas tres compañías forman un conjunto de candidatos muy serios para la producción y entrega de las 100 toneladas de  $Gd_2(SO_4)_3$  necesarias en SuperK-Gd.

En un futuro cercano se iniciarán negociaciones exhaustivas con los candidatos finales para la producción en masa, con el fin de establecer un conjunto razonable de requisitos para la baja radiactividad, la reproducibilidad, la capacidad de entrega, precio, otros, que serán incluidos

en el obligatorio proceso de licitación para el contrato principal. SUPERKGD será importante para su éxito.

Los planes a día de hoy, elaborados siempre en acuerdo con T2K, contemplan que la actividad principal de introducción del Gd en SK ocurra durante 2018. Es nuestra intención, y así lo habíamos previsto originalmente en SUPERKGD, el medir en el LSC al menos una muestra de cada uno de los lotes de las 100 toneladas de  $Gd_2(SO_4)_3$ . A pesar de que en la actualidad hay una gran incertidumbre en la evolución temporal del proyecto, el comienzo más probable en SUPERKGD de las correspondientes actividades sería a finales de 2016, aumentando de manera constante durante 2017 y con una duración de, tal vez, un año más. Las solicitudes detalladas de apoyo al LSC por SUPERKGD dependerán en gran medida de cómo evoluciona la planificación de la producción y entrega.

# 9 GEODYN

## GEOFISICA BAJO TIERRA

El proyecto EPOS-IP (Earth Plate observing System – Implementation Phase) se puso en marcha en octubre de 2015 con 46 socios de 23 países europeos. El proyecto está financiado por el programa Horizonte 2020 de la Comisión Europea y tiene como objetivo crear una infraestructura paneuropea en Ciencias de la Tierra. Geodyn aparece repertoriado como una de las infraestructuras de investigación en el catálogo RIDE (Research Infrastructure Database for EPOS), aumentando así su visibilidad internacional y garantizando un fácil acceso a los datos.

### Componente sísmica

Los dos sensores (sismómetro de banda ancha y acelerómetro) y el equipo de registro instalados en el Laboratorio 780 han estado plenamente operativos durante 2015. Se ha mantenido la comunicación con el nodo EIDA situado en el Orfeus Datacenter (<http://www.orfeus-eu.org/eida/eida.html>), el cual recibe los datos en tiempo casi real y los hace accesibles a la comunidad sismológica.

El registro e identificación de los eventos locales, regionales y telesísmicos se ha continuado realizando de forma regular. La sismicidad local ha sido más bien escasa durante el año 2015, sin eventos locales de magnitud superior a 4. En cuanto a la actividad regional, podemos destacar el registro del evento del 23/02/2015 con epicentro en Montilla (Albacete) y magnitud 5.2 (Figura 9.1).

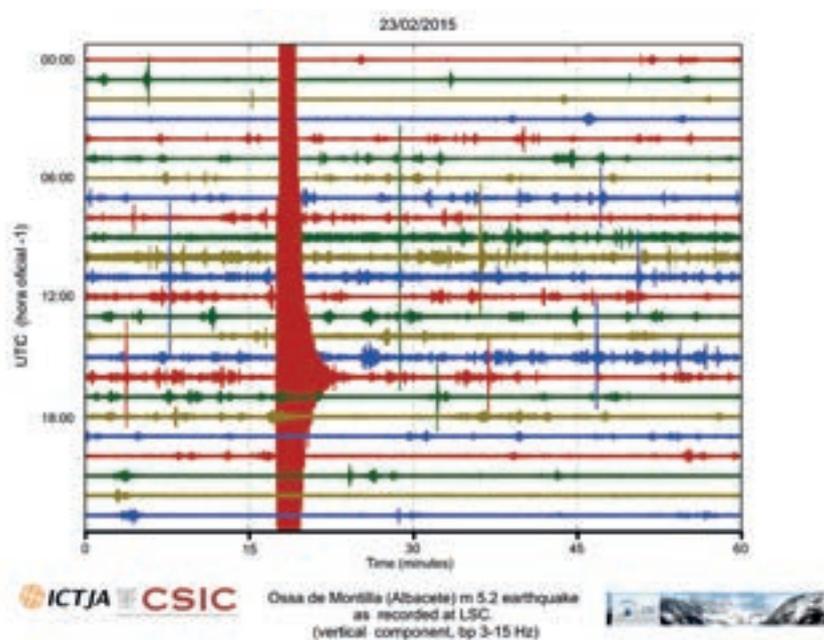


Fig. 9.1: Registro sísmico del terremoto de Montilla ( cada línea corresponde a 1 hora de registro)

El terremoto distante más significativo registrado en Geodyn durante este año ha sido el evento del 16 septiembre 2015, con epicentro cerca de Illapel (zona central de Chile) y magnitud 8.3 Mw (Fig. 9.2) .

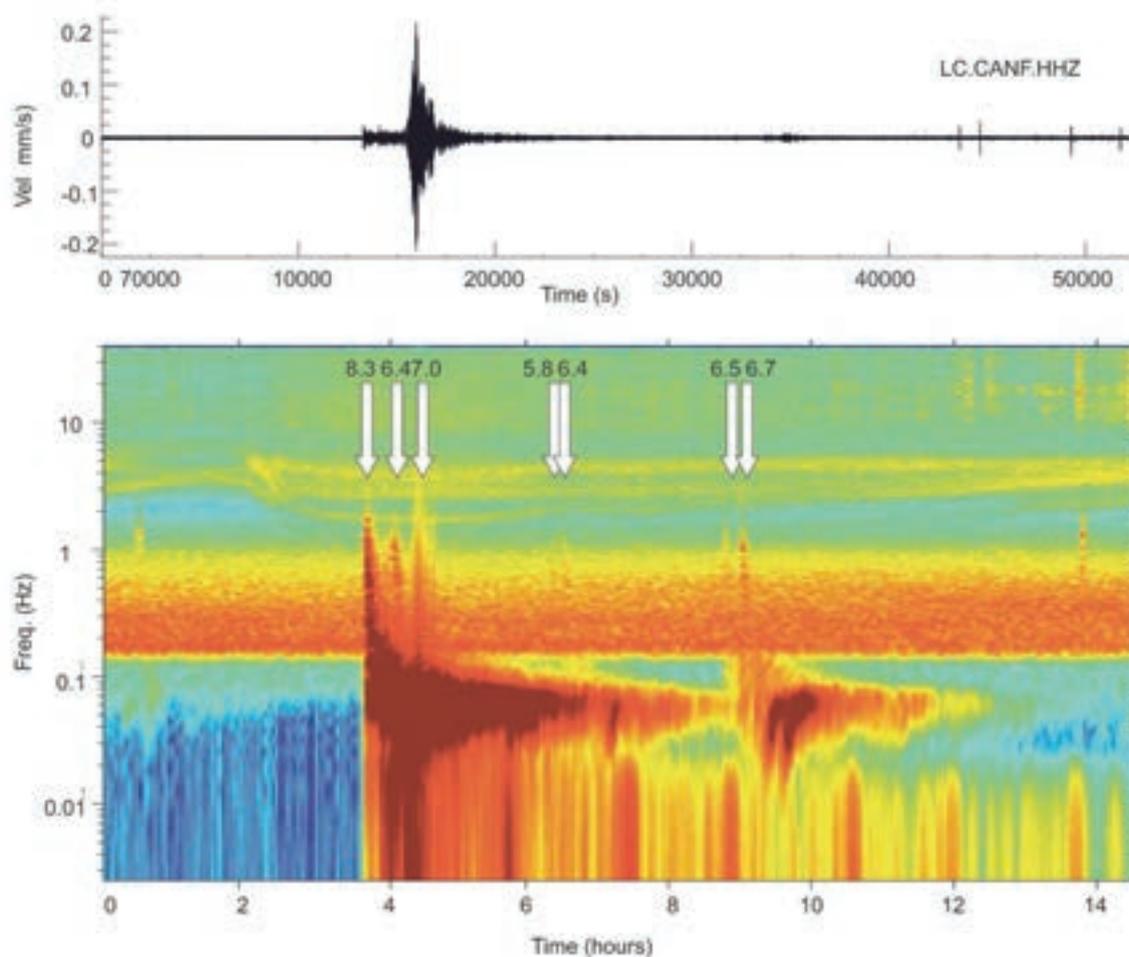


Fig. 9.2 : Registro sísmico del terremoto del 16/09/2015 de magnitud 8.3 Mw en la región central de Chile. La flechas blancas indican la llegada de las principales réplicas.

Durante 2015 se han retomado las investigaciones sobre el uso de datos sísmicos para monitorear las características hidrológicas del río Aragón. Se ha enviado un manuscrito para su publicación en un número especial de la revista "Journal of Hydrology" dedicado a "Inundaciones repentinas, gestión de la respuesta y el riesgo hidro-geomorfológico", pero el artículo no ha sido retenido. Dado que estamos en total desacuerdo con esta decisión, el artículo ha sido enviado a otra revista incluida en el SCI, "Physics of the Earth and Planetary Interiors".

## Componente de deformación

Los fallos en las bombas de vacío y los equipos de adquisición de datos de ambos interferómetros láser, ya detectados en 2014, han dado lugar a graves trastornos durante 2015. En enero se sustituyeron las bombas de vacío de ambos interferómetros y el ordenador que gestiona Gall6. La adquisición de datos se reinició en marzo, pero se detuvo de nuevo en julio, como consecuencia de uno de los múltiples apagones que han afectado a los instrumentos. El interferómetro Lab780 se detuvo a principios de junio debido a un fallo del Pc y se reinició a finales de julio con el Pc anteriormente utilizado en Gall6.

La vida útil de funcionamiento de un tubo de láser de HeNe se estima en unas 25.000 a 30.000 horas, en función de las condiciones de trabajo. Los dos láseres Geodyn han estado trabajando durante aproximadamente

3,5 años sin reemplazo del tubo. Durante el primer semestre de 2015 fueron detectadas inestabilidades en la intensidad de la señal, lo que constituye un indicio claro de que los tubos estaban cerca de la rotura. En consecuencia, los tubos láser de ambos interferómetros fueron retirados el 18 de agosto y enviados al fabricante para su mantenimiento. La adquisición de datos se reiniciará tan pronto como los láseres regresen.

La actividad científica referente a los datos de deformación se ha centrado en la investigación de las señales hidrológicas. Durante el episodio de lluvias torrenciales de noviembre de 2013, los dos interferómetros registraron unos datos complejos, cuya interpretación a sido incorporada al artículo actualmente enviado a "Physics of the Earth and Planetary Interiors".

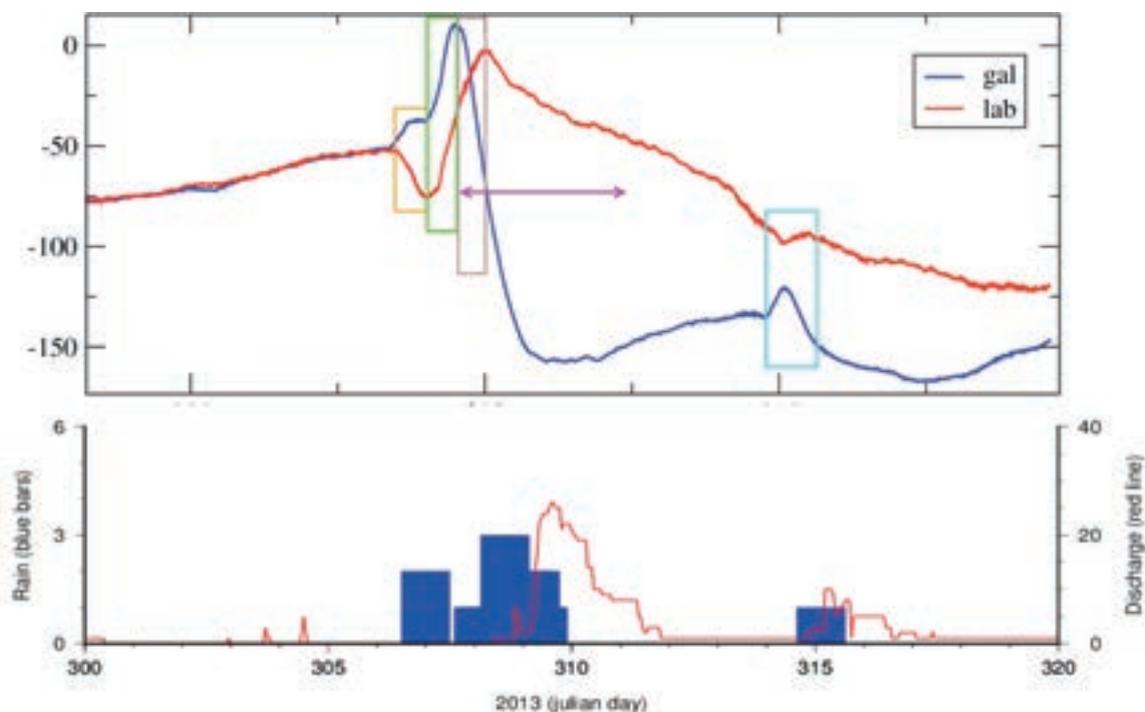


Fig. 9.3: Datos de deformación durante el episodio hídrico de noviembre de 2013, presentados junto con los datos de precipitación (barras azules) y la descarga del río Aragón. La escala de tiempo se expresa días julianos

## Componente GNSS

En marzo el año 2015 la estación Fuerte de Rapián (CGPS1) fue equipada con todo el instrumental necesario (antena, receptor, paneles solares). La estación se sitúa a unos 18 km al sur de la LSC, cerca del Fuerte de Rapián, en las cercanías de Jaca. La segunda estación, CGPS2, ha sido instalada en mayo de 2015 en Candanchú, en los terrenos de la base militar (Escuela Militar de Montaña). El monumento consta de un pilar de hormigón de 2 m de altura anclado al suelo mediante varillas de hierro. La caja con el equipo registrador y el panel solar

se encuentran a unos 2-3 metros de distancia del monumento.

Ambas estaciones se han puesto en funcionamiento durante el segundo semestre y están adquiriendo datos de manera regular. Los datos de la estación CGPS1 son accesibles a través de la dirección web <http://95.124.250.98>. El acceso remoto a la estación de Candanchú no ha sido posible durante el 2015 debido a problemas técnicos que se hallan en vía de solución.



Fig. 9.4: Aspecto final de las estaciones CGPS1 (Jaca) y CGPS2 (Candanchú).

Actualmente el grupo UB está procesando los datos usando el software GAMIT / GOBK del MIT. La siguiente mejora será aumentar la memoria externa de los receptores con el fin de permitir la adquisición de datos en alta frecuencia (1 Hz).

## 10 CUNA

El proceso de captura lenta de neutrones (**proceso s**), que tiene lugar en estrellas gigantes rojas en la rama asintótica de las gigantes (componente principal) o en estrellas masivas (componente débil) se piensa que es responsable de la síntesis de la mitad de las especies más pesadas que el hierro. Una cuestión pendiente es cómo se crea el flujo de neutrones necesario para producir las capturas de neutrones, siendo los candidatos más probables los procesos ( $\alpha, n$ ), y en concreto las reacciones  $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$  y  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ , dependiendo del escenario específico.

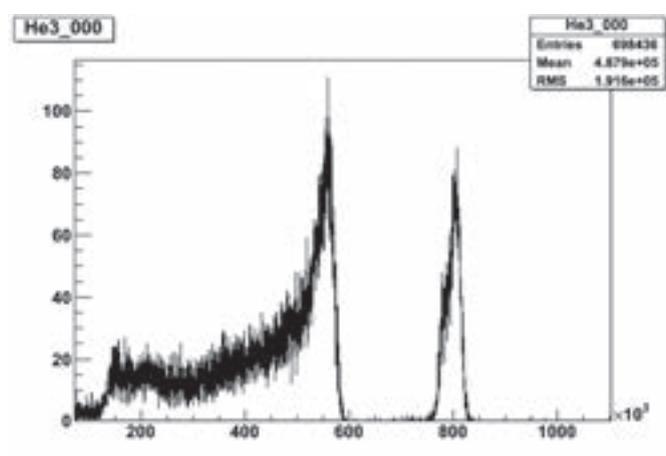
Para evaluar tanto el flujo esperado de neutrones como la eficiencia del proceso **s** hacen falta medidas precisas de las reacciones eficaces de estos procesos. Pero estas medidas necesarias para comprender los procesos astrofísicos no pueden hacerse en laboratorios en superficie debido a los rayos cósmicos que producen interacciones de fondo a tasas muy grandes, y por lo tanto deben llevarse a cabo en un laboratorio subterráneo. El LSC proporciona el entorno de bajo fondo ideal, y hace posible efectuar medidas a energías muy bajas, donde las tasas de conteo serían del orden de 1 suceso por hora o incluso aún menores. Una "Expresión de Interés" titulada "Una instalación de Astrofísica Nuclear para el LSC: las fuentes de neutrones en las estrellas y otras reacciones de interés astrofísico" se presentó en 2009 al LSC por varios grupos españoles y los asociados internacionales. La idea era instalar un acelerador de última generación de alta corriente que funcionando a bajas energías hiciera posible medir las reacciones de interés. Una "Carta de Intenciones" completa se presentó en octubre de 2012, respaldada por más de 50 cartas de apoyo internacional.

Las secciones eficaces extremadamente bajas de las reacciones nucleares que se estudiarán en CUNA hace imprescindible un sistema de detección de alta eficiencia y con una alta capacidad de discriminación del canal de reacción de interés. Dado que el núcleo del programa experimental propuesto en CUNA son las reacciones ( $\alpha, n$ ), el uso de un contador de neutrones basado en tubos proporcionales de  $^3\text{He}$  embebidos en una matriz de polietileno que actúa como moderador es el mejor candidato a detector, ya que aún a una eficiencia de detección del orden de 50%, y una señal muy limpia de sucesos de neutrones (y bastante insensibilidad a otros tipos de radiación). Un detector de este tipo, que consta de 20 tubos dispuestos en dos anillos alrededor de un orificio longitudinal central de radio 5,5 cm, ha sido recientemente construido por una colaboración española para la medida de neutrones retardados por emisión beta, y podría ser fácilmente adaptado a experimentos en CUNA. Una caracterización completa de los tubos individuales de  $^3\text{He}$  incrustados en bloques de polietileno está en curso con el objetivo de entender plenamente la respuesta del detector. Un experimento en el que las matrices fueron bombardeadas con haces de neutrones de energías determinadas en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), cerca de Brunswick, Alemania, se encuentra actualmente en fase de análisis. Los resultados complementarán las medidas del fondo de neutrones en el LSC (trabajo ya publicado en [1]), donde los detectores se calibraron usando una fuente  $^{252}\text{Cf}$ , y finalmente ayudará a reducir la incertidumbre sistemática en la fluencia de neutrones medida en el Hall A. Además, en el mismo experimento el detector completo

(BELEN-48) fue calibrado usando varias reacciones que producían un amplio espectro de energías de neutrones en el rango relevante.

El fondo de neutrones que pueda enmascarar las escasas señales reales de las reacciones necesita ser caracterizado completamente. Tras el trabajo realizado en la LSC en los últimos años, una comparativa medición de fondo de neutrones se ha realizado en 2015 en el laboratorio de bajo fondo en Felsenkeller (Alemania). La medida permitirá la comparación del fondo en un laboratorio de poca profundidad (Felsenkeller) y un laboratorio subterráneo (Canfranc) y por lo tanto una mejor comprensión de las condiciones para la medida exitosa de reacciones ( $\alpha, n$ ). El experimento se ha llevado a cabo en colaboración con el grupo de Física Nuclear de la Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf utilizando ocho contadores de  $^3\text{He}$  neutrones moderados por polietileno, de la colaboración BELEN (España-Alemania) y tubos de  $^3\text{He}$  proporcionales con presión reducida a 10 atm. Se han empleado las seis matrices de polietileno de alta densidad que ya fueron utilizadas en el LSC se han empleado, con la adición de una matriz compleja de PE-Pb-PE con una mayor eficiencia a alta energía ( $E_n > 10$  MeV) y un contador sin blindar.

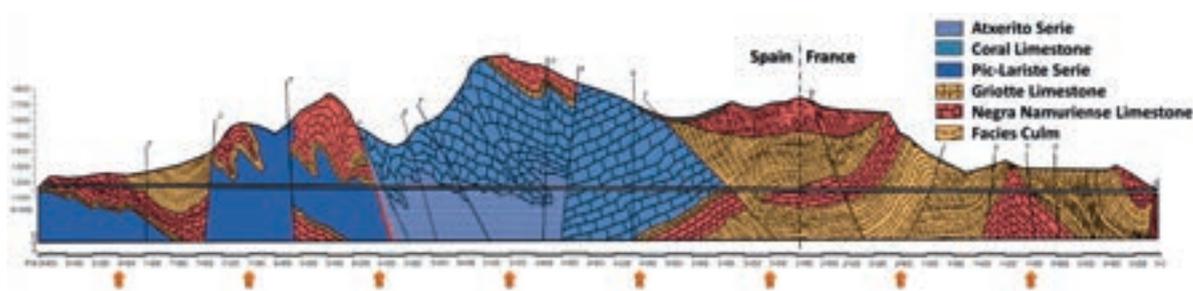
Un segundo aspecto relevante para minorar el fondo en las medidas de reacciones ( $\alpha, n$ ) es el que proviene de los propios detectores. En 2015 hemos investigado el fondo intrínseco de los tubos de  $^3\text{He}$ , con el propósito de comprender las señales no deseadas que han sido identificadas con anterioridad [2] en los espectros, en la región donde existe una superposición con las señales inducidas por neutrones (200-800 keV). Para experimentos en el LSC es necesario desarrollar un detector de neutrones específico, con un límite inferior de sensibilidad definido por las secciones eficaces de las reacciones ( $\alpha, n$ ) clave. En 2015 se ha llevado a cabo una medida comparativa con dos pequeños tubos gemelos de  $^3\text{He}$ . Uno de los tubos está cubierto internamente por una fina película de carbono, que impide que la radiación alfa de las paredes penetre en el volumen de gas, mientras que el otro es un contador estándar. La medida permitirá evaluar el origen del fondo intrínseco e idear maneras de reducirlo.



## Referencias

- [1] D. Jordán, J. L. Taín *et al.*, Física de Astropartículas 42 (2013) 1.
- [2] J. L. Taín *et al.*, Journal of Physics: Conference Series 665 (2016) 012031.

## VIDA EN AMBIENTES EXTREMOS



El túnel de Somport atraviesa diferentes tipos de roca de la época del Paleozoico lejano. Su longitud, profundidad y diversidad ecológica lo hacen un lugar ideal para estudios ecológicos de extremófilos. En ambientes extremos, los principales organismos vivos pertenecen a los dominios bacteria y archaea. Se han descrito detalladamente los microorganismos subterráneos en muestras poco profundas, mayoritariamente compuestos por fotoautótrofos. Por contra, hay pocos estudios sobre los microorganismos que habitan en rocas internas, unas pocas decenas de kilogramos de muestras de un número pequeño de lugares, con datos que muestran una alta diversidad de taxones y metabolismos, incluyendo, entre otras, bacterias reductoras de azufre o hierro o productoras de metano.

Gollum propone realizar la caracterización detallada de las comunidades bacterianas residentes en varios tipos de roca a diferentes profundidades gracias a la secuenciación masiva de los genomas de las poblaciones presentes en las rocas (secuenciación metagenómica). Se van a tomar muestras en diferentes profundidades y tipos de roca a lo largo del túnel con

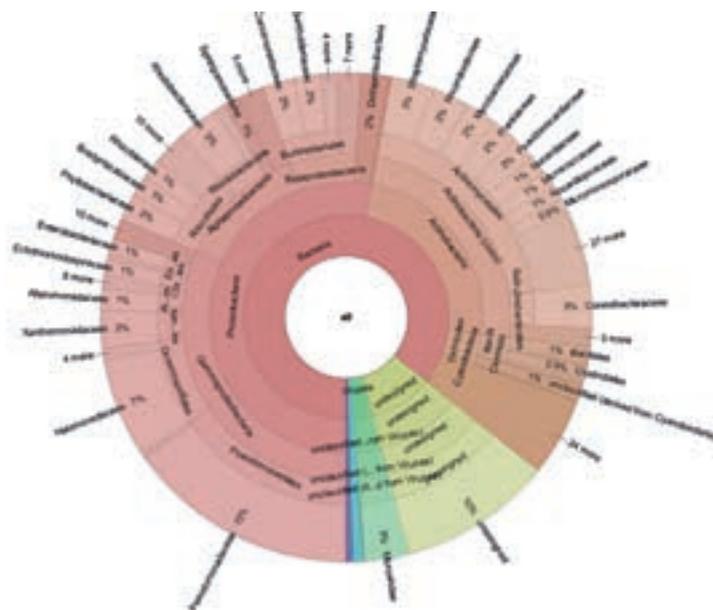
perforaciones de alrededor de un metro de profundidad para minimizar la contaminación externa. Se están desarrollando métodos de extracción de ácido desoxirribonucleico (ADN) adaptados al escaso material genético presente en la muestra, con controles de contaminación. Las recientes avances tecnológicos en secuenciación masiva de nueva generación están permitiendo identificar multitud de nuevas especies en los dominios bacteria y archaea, que no son cultivables con las técnicas actuales.

El éxito del desarrollo tecnológico en metagenómica se debe a que viene acompañado de nuevos métodos computacionales que permiten la clasificación metagenómica de grandes conjuntos de datos, manteniendo una clasificación precisa en el caso de la presencia de nuevos organismos de virus, procariotas, hongos y protistas. El reciente Livermore Metagenomics Analysis Toolkit (LMAT) permite analizar datos de metagenómica de ADN total con alta precisión y con muy pequeño nivel de rechazo (típicamente menor al 0.1%). Este método computacional ha permitido nuevos descubrimientos al analizar el contenido

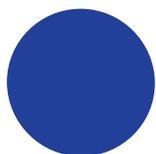
metagenómico de muestras de importancia histórica. La visualización con Krona de una muestra control analizada en nuestro laboratorio se muestra en la figura adjunta. La versión interactiva de toda la clasificación taxonómica se puede encontrar en la página web [http://soml.ific.uv.es/krona/kwashiorkor\\_ALL.html](http://soml.ific.uv.es/krona/kwashiorkor_ALL.html)

Gollum, gracias al sencillo acceso a través del túnel a muestras profundas, explora un ambiente extremo poco conocido, caracterizado por pocos nutrientes, diversos sustratos físico-químicos, bajos niveles de radiación y pequeñas fluctuaciones térmicas. El proyecto se propone analizar una compleja matriz de datos con consecuencias importantes en cuestiones fundamentales (origen de la vida, astrobiología) y aplicadas (bioprospección, descubrimiento de nuevas especies con propiedades útiles).

La colaboración GOLLUM ha diseñado el mejor protocolo para perforar y obtener muestras en las condiciones de esterilidad necesarias para la extracción de ADN y la caracterización genómica de muestras con bajos niveles de ADN. GOLLUM ha verificado el protocolo con rocas superficiales del interior del túnel de tren en zonas próximas al laboratorio subterráneo. La composición del microbioma de la roca se muestra en la figura inferior, indicando una composición muy diferente a la que se encuentra en otro tipo de suelos en superficie, con abundancia de especies de Actinobacterias, Pseudomonas y Halomonas.



El plan del experimento se ha aprobado. Se perforará en 20 puntos del túnel de Canfranc (testigos de 10 centímetros de diámetro y 1 metro de longitud) durante el mes de Mayo de 2016. Los testigos se empaquetarán en cilindros estériles de aluminio y se transportarán y almacenarán a bajas temperaturas (-20°C). Se utilizará agua estéril para la perforación, dopada con KBr para verificar posibles contaminaciones. Los testigos se tratarán en la Universidad de Valencia, donde pequeñas rocas se pulverizarán en un cilindro con émbolo en una prensa de alta presión. El polvo de roca servirá para la extracción de ADN con kits estándar, ADN que se enviará para la secuenciación masiva del metagenoma de ADN total en Sistemas Genómicos. Las muestras de ADN se compartirán con grupos de investigación asociados en Sevilla, Alicante y Bucarest para estudios complementarios (pH, célula única y virus, celdas de presión de diamante). La secuenciación de ADN y el análisis de datos se realizarán en la segunda parte de 2016 y primera de 2017.



## PUBLICACIONES

### ***Status of the ANAIS Dark Matter Project at the Canfranc Underground Laboratory***

J. Amaré et al. Contributed to the 11th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, Zaragoza, June 22 to 26, 2015. DESY-PROC-2015-02, published by Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, 2015. ISBN: 978-3-935702-43-0. Pages 88-91

### ***Background model of NaI(Tl) detectors for the ANAIS Dark Matter Project***

J. Amaré et al. Contributed to the 11th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, Zaragoza, June 22 to 26, 2015. DESY-PROC-2015-02, published by Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, 2015. ISBN: 978-3-935702-43-0. Pages 232-235

### ***Light Collection in the Prototypes of the ANAIS Dark Matter Project***

J. Amaré et al. Contributed to the 11th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, Zaragoza, June 22 to 26, 2015. DESY-PROC-2015-02, published by Verlag Deutsches Elektronen-Synchrotron, 2015. ISBN: 978-3-935702-43-0. Pages 224-227

### ***Background analysis and status of the ANAIS dark matter Project***

J. Amaré et al. AIP Conference Proceedings 1672 (2015) 100001. Proceedings of the Low Radioactivity Techniques 2015 conference, March 2015, Seattle, WA, US.

### ***Production and relevance of cosmogenic radionuclides in NaI(Tl) crystals***

J. Amaré et al. AIP Conference Proceedings 1672 (2015) 140001. Proceedings of the Low Radioactivity Techniques 2015 conference, March 2015, Seattle, WA, US

### ***From ANAIS-25 towards ANAIS-250***

J. Amaré et al. Physics Procedia 61 (2015) 157, TAUP2013 Proceedings.

### ***Cosmogenic radionuclide production in NaI(Tl) crystals,***

J. Amaré et al. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 02 (2015) 046

### ***Rare Event Searches at Canfranc: ANAIS Experiment***

J. Amaré et al. Proceedings of the 13th Marcel Grossmann Meeting, July 2012, Stockholm, Sweden Published by World Scientific in March 2015. ISBN: 978-981-4612-14-2. Pages 1010-12.

### ***Ionization and scintillation of nuclear recoils in gaseous xenon***

The NEXT Collaboration (J. Renner et al.), Nuclear Inst. and Methods in Physics Research A 793 (2015), 62-74.

***PMT calibration of a scintillation detector using primary scintillation***

The NEXT Collaboration (E.D.C. Freitas et al.), JINST 10 C02039 (2015)

***An improved measurement of electron-ion recombination in high-pressure xenon gas***

The NEXT Collaboration (L. Serra et al.), JINST 10 P03025 (2015).

***Radiopurity assessment of the tracking readout for the NEXT double beta decay experiment***

S. Cebrián et al., JINST 10 P05006 (2015).

***Readout and data acquisition in the NEXT-NEW detector based on SRS-ATCA***

R. Esteve et al., Topical Workshop on Electronics for Particle Physics 2015, September 28th to October 2nd, Lisbon (Portugal), 2016 JINST 11 C01008.

***Radon and material radiopurity assessment for the NEXT double beta decay experiment*** S. Cebrián et al., AIP Conference Proceedings 1672, 060002 (2015).***Status of ArDM-1t: First observations from operation with a full ton-scale liquid argon target***

ArDM Collaboration (J. Calvo et al.), “,” May 2015. e-Print: arXiv:1505.02443 [physics.ins-det]

***Performance study of the effective gain of the double phase liquid Argon LEM Time Projection Chamber***

C. Cantini et al., Published in JINST 10:P03017, 2015 e-Print: arXiv:1412.4402 [physics.ins-det]

***“The sensitivity of LaBr3:Ce scintillation detectors to low energy neutrons: Measurement and Monte Carlo simulation”***,

J.L. Taín et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 774 (2015) 17–24

***“The Canfranc Underground Laboratory: a multidisciplinary underground facility”***

A. Ianni, International Conference on Particle Physics and Astrophysics (ICPPA-2015), Journal of Physics: Conference Series 675 (2016) 012002

***“The LSC welcomes new experiments”***

A. Ianni, CERN Courier, November 2015, p. 29.

***“Canfranc Underground Laboratory”***

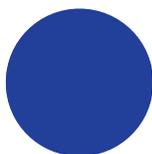
A. Ianni, Proceedings of the XIV International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics

Editors: N. Fornengo, M. Regis, H.-S. Zechlin

Journal of Physics: Conference Series 718 (2016).

***A lo largo del 2015 los usuarios del LSC han realizado 17 presentaciones en Conferencias Internacionales.***





## ÓRGANOS DE GOBIERNO

### Consejo Rector

María Luisa Castaño, Directora General de Innovación y Competitividad

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Planificación de Infraestructuras Científicas y Tecnológicas

Manuel Lozano, Coordinador del Área de Ciencia y Tecnologías Físicas del CSIC

Miguel Ángel García Muro, Director General de Investigación e Innovación (Vicepresidente)

Cristina San Román Gil, Secretaria General Técnica del Departamento de Innovación y Nuevas Tecnologías

Luis Miguel García Vinuesa, Vicerrector de Política Científica

Pilar Zaragoza Fernández, Vicerrectora de Transferencia e Innovación Tecnológica

### Comisión Ejecutiva

Ángela Fernández Curto, Subdirectora Adjunta de Planificación de Infraestructuras Científicas y Tecnológicas

Francisco Herrada Martín, Jefe del Área de la Subdirección General Adjunta de Planificación de Infraestructuras Científicas y Tecnológicas

Cristina San Román Gil, Secretaria General Técnica del Departamento de Innovación y Nuevas Tecnologías

Miguel Ángel García Muro, Director General de Investigación e Innovación

Luis Miguel García Vinuesa, Vicerrector de Política Científica

Eduardo García Abancéns, Investigador Universidad de Zaragoza (GIFNA)

### Comité Científico Asesor

David Sinclair (Presidente) - Carleton University (Canada)

Frank T. Avignone - University of South Carolina (USA)

Concha González-García - Universidad de Barcelona (Spain) y State University of Stonybrook (New York)

Ariella Cattai - CERN, Geneva (Switzerland)

Antonio Bueno Villar- Universidad de Granada, Granada (Spain)

Cristiano Galbiati - Princeton University, New Jersey (USA)

Andrea Giuliani - CSNSM, Orsay Campus (France)

Berta Rubio Barroso - CSIC, Instituto de Física Crepuscular, Valencia (Spain)





## AGRADECIMIENTOS

---

El LSC agradece al Ministerio de Economía y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza su apoyo financiero sin el cual no podría perseguir su misión de investigación y divulgación. El LSC también quiere agradecer al Alcalde de Canfranc y al Centro de Control del Túnel de Somport su positiva colaboración.





*Laboratorio Subterráneo de Canfranc*

