



# MEMORIA ANUAL 206

#### EDICIÓN

Aldo lanni Yolanda Labarta

#### FOTO DE PORTADA:

Jorge Quiñoa

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 2016	8
3. RECOPILACIÓN DE EVENTOS 2016	12
4. CAPTURAS	15
5. ANAIS	17
6. ARDM	20
7. NEXT	25
8. BIPO	
9. SUPERKGD	
10. geodyn	
11. CUNA	
12. GOLLUM	41

PUBLICACIONES EN PRENSA	45
ÓRGANOS DE GOBIERNO	46
COMITÉS ASESORES	46
AGRADECIMIENTOS	47



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, Industria y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza. El LSC pertenece a la red nacional de las llamadas ICTS (Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares).

El LSC ofrece a investigadores de todo el mundo la oportunidad de llevar a cabo sus investigaciones en materia de física fundamental y astrofísica geología, biología y ciencias medioambientales en sus ubicaciones de características únicas. De hecho, las instalaciones subterráneas del LSC, aisladas de la radiación cósmica natural, abren la posibilidad de descubrir sucesos que ocurren en una probabilidad muy baja. En este momento, el programa científico principal del LSC se centra en la detección de la materia oscura y la física de neutrinos, esto es 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 albergar nuevas propuestas. Hay dos nuevas propuestas que fueron recomendadas por el Comité Científico Asesor del LSC a finales del 2016: TREX-DM para la detección directa de la materia oscura y ETSEC para la caracterización del ruido newtoniano en el marco de la nueva generación de detectores de ondas gravitacionales.

Laboratorios, oficinas y salas de reuniones se encuentran también disponibles en el edificio sede en el exterior. Un nuevo edificio, conocido como "La Casa de los Abetos", ubicado junto al edificio sede principal, ha sido rehabilitado. Salas de exposiciones, aulas y un auditorio se encuentran disponibles en esta nueva ubicación. El LSC también ofrece los siguientes servicios para los usuarios externos:



- 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).
- Dos auditorios para reuniones institucionales con capacidad para unas 100 personas cada uno.

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

El fin del LSC es el de aportar ciencia a nivel mundial y proporcionar accesibilidad a nivel internacional a una infraestructura de única en el campo de la investigación.

Esta Memoria recoge la ciencia y actividad experimental llevada a cabo durante el 2016. 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 2017

# $\left( 1\right)$

## INTRODUCCIÓN

El LSC es un laboratorio subterráneo a gran profundidad de nivel mundial 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. Estamos trabajando arduamente para crear sinergias con otras infraestructuras similares con el fin de poder establecer un intercambio de experiencia y proponer intereses comunes.

En el marco de la física sub-atómica, los investigadores han desarrollado una descripción teórica sobre las partículas elementales de la materia y las fuerzas básicas 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 be Higgs, fue descubierto en el CERN en el 2012. Laboratorios subterráneos como el LSC, proporcionan información científica que es complementaria a aquella obtenida por laboratorios con aceleradores. De hecho, los primeros elementos de la física más allá del modelo estándar se obtuvieron mediante experimentos subterráneos, cómo 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. No obstante, dicha competencia puede dar lugar en el futuro a una colaboración mundial para alcanzar la sensibilidad máxima para la detección de procesos inusuales. Es por ello que el LSC está abierto a colaborar con infraestructuras de similares características.

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 extremadamente inusual 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 atmosfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas secundarias. Los muones,  $\mu$ , y neutrinos,  $\nu$ , son los más penetrantes de dichas partículas (ver Fig. 1.1). Los muones alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo equivalente a unos diez millones/m<sup>2</sup>/día.



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

La ubicación del LSC a 850 metros bajo tierra (equivalente a unos 2400 metros en agua) está excavada entre el túnel carretero de Somport y un túnel ferroviario ahora abandonado de unos 8 km de longitud en la frontera entre España y Francia. A esa profundidad, bajo el Monte Tobazo cerca de la localidad de Canfranc en el Pirineo Aragonés, 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 sobre el 5% de la materia que existe en el Universo es visible. 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.

Hoy en día sabemos que los neutrinos tienen muy poca masa. Una explicación natural para el diminuto 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 materiaantimateria del Universo. Una vez más el LSC contribuye a este objetivo de investigación internacional.

En el LSC estas actividades de investigación se están 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 Nal(TI) y ArDM con argón líquido. Además, un demostrador de un experimento sobre la desintegración doble beta sin neutrinos, NEXT-NEW, está en funcionamiento así como un equipo de pruebas, BiPo, para el experimento SuperNEMO planificado en el laboratorio de Modane, Francia. Un nuevo proyecto sobre la detección directa de la materia oscura con argón y neón con una cámara de alta presión TPC fue recomendado por el Comité Científico del LSC a finales del 2016. Se trata del proyecto TREX-DM.

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 se debe a una reducción significante de actividad humana y atmosférica que está presente en la superficie. El LSC está equipado con una infraestructura geofísica



Fig. 1.2: El Túnel Ferroviario



Fig. 1.3: Toma de muestras en el Túnel

denominada GEODYN. GEODYN es un observatorio y cubre el espectro geodinámico en su totalidad, desde la sismicidad más cercana a las deformaciones tectónicas pasando por las mareas terrestres o la nutación del núcleo terrestre. Esta instalación tiene tres componentes: una estación sísmica, interferómetros láser y una estación GNSS externa. Tanto la estación sísmica como los interferómetros se encuentran instalados bajo tierra. Dentro del marco de la geofísica, el LSC recibió una nueva propuesta en el 2016 para la instalación de seis sensores sísmicos para caracterizar el ruido Newtoniano cara a la próxima generación de detectores de ondas gravitacionales. Esta propuesta, llamada ETSEC, ha sido recomendada por el Comité Científico. Los sensores serán instalados a lo largo del túnel ferroviario (cuatro) y otro en una de las galerías entre el túnel ferroviario y el túnel carretero.

Además, el LSC y el largo túnel ferroviario (ver Fig. I.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. El proyecto GOLLUM del LSC está interesado en la identificación y caracterización de las comunidades macrobióticas que habitan en una variedad de rocas a lo largo del túnel ferroviario. GOLLUM presentó resultados preliminares ante el Comité Científico en su reunión de Diciembre 2016 de sus muestras tomadas en Mayo 2016 a lo largo de dicho túnel (ver Fig. 1.3).

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 laboratorio subterráneo equipado con un número de instalaciones que dan servicio a actividades de investigación llevadas a cabo por colaboraciones internacionales. La infraestructura principal subterránea, denominada LAB2400, se divide en Hall A (Fig. 1.4), el área experimental de mayor superficie, y Hall B. El resto de las infraestructuras denominan LAB2500 se 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 o un tanque de agua instrumentado, este último actuaría como un veto activo de muones para un experimento de próxima generación.



Fig. 1.4: Hall A en el LSC

2

### ACTIVIDAD DEL LSC DURANTE EL 2016

Los siguientes experimentos han llevado a cabo actividades en el LSC durante el 2016: 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 SUPERKGd para el experimento SuperKamiokande en Japón. Además, se debatió sobre la propuesta de CUNA para una instalación subterránea de astrofísica nuclear. El proyecto GOLLUM dedicado a estudios de ecología en extremófilos, recogió varias muestras de roca de 1 metro de longitud a lo largo del túnel ferroviario (ver Fig. 2.1) y presentaron resultados preliminares en la reunión del Comité Científico celebrada en Diciembre 2016.



Fig. 2.1: Muestra de extracción (5A) fragmentada

Además, se presentaron dos nuevas propuestas ante el Comité Científico Asesor del LSC. Dichas propuestas son TREX-DM y ETSEC. TREX-DM consta de una TPC de alta presión encapsulada en una vasija de cobre y rellenada con menos de Ikg de argón (empobrecido en <sup>39</sup>Ar) o neón para la búsqueda de interacciones de la materia oscura. ETSEC tiene como objetivo la instalación de seis sensores sísmicos a lo largo de túnel ferroviario (cuatro de ellos) y uno más en una de las galerías con el fin de caracterizar el ruido newtoniano para la próxima generación de detectores de ondas gravitacionales. Tanto TREX-DM como ETSEC fueron recomendados por el comité Científico en Diciembre 2016.

infraestructura GEODYN consta La de tres componentes: una estación sísmica, interferómetros láser y una estación GNSS externa. La estación sísmica y los interferómetros láser están instalados en el subterráneo. La estación sísmica está equipada con un acelerómetro Titán y un sismómetro Trillium 240s. Los interferómetros láser consisten en dos tubos de 70 m de longitud al vacío orientados ortogonalmente. El observatorio LSC GEODYN ha sido integrado en el EPOS (European Plate Observing System), que fue aprobado por el ESFRI Roadmap en el 2008. El interferómetro ubicado en el LAB780 fue puesto de nuevo en funcionamiento en el 2016. El interferómetro ubicado en la galería 16 se pondrá en funcionamiento durante el 2017.

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. Más adelante, el detector fue trasladado al LAB2500 donde actualmente se encuentra tomando datos (ver Fig. 2.2). 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 122x122x30mm<sup>3</sup>. 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. Este trabajo se realiza en colaboración con el Moscow Institute of Physics and Technology y la University of Jyvaskyla en Finlandia. En Agosto 2016 se organizó un meeting para debatir sobre los resultados de los datos obtenidos y trazar un plan sobre la distribución angular de los muones en el LSC. Este progreso se encuentra actualmente en progreso.



Fig. 2.2: Detector de muones de rayos cósmicos en el LAB2500

El servicio ULBS del LSC ha estado en funcionamiento desde el 2010 en el Hall C del LAB2400. El ULBS ofrece una instalación de alta calidad en la toma de medidas para los experimentos. En la actualidad se encuentra equipada con siete detectores de Germanio de Alta Pureza (HPGe) tipo p coaxial (Fig. 2.3). Cada detector está protegido por un revestimiento de 20 cm de plomo de baja contaminación en <sup>210</sup>Pb. Una capa interna de cobre OFHC completa la protección. En el 2016 la protección interna de un detector, llamado GeAnayet, fue mejorada de 5 a 10 cm de cobre. Además, se mejoró barrera de radón con la instalación de una caja fabricada en metacrilato. A parte de la toma de medidas para los experimentos existentes y propuestos, también se llevan a cabo otras labores de investigación I+D con el ULBS. En el 2016 se completó la toma de medidas para el KSTAR

Tokamak (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) y estas fueron publicadas en colaboración con otras infraestructuras similares. El objetivo de este trabajo era el de proporcionar información para el análisis de las condiciones del plasma midiendo radio-isotopos activos en las muestras expuestas al mismo.



Fig. 2.3: Uno de los detectores HPGe dentro de la protección de plomo y cobre

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 <sup>210</sup>Pb y <sup>210</sup>Po, y para caracterizar las propiedades del cobre electroformado para su uso a baja temperatura en bolómetros. En el 2016 se realizó una nueva instalación de equipamiento para la electroformación del cobre. Ambos equipamientos han sido utilizados para producir piezas de cobre para el experimento ANAIS (Fig. 2.4). En particular, el CES ha producido los encapsulados para los fotomultiplicadores y los divisores. En colaboración con el laboratorio de Gran Sasso, en Italia, el CES ha utilizado cobre del experimento OPERA para fabricar piezas

#### 2 www.lsc-canfranc.es

electroformadas y estudiar después como es de efectivo el proceso de producción en eliminar los isotopos radioactivos.



Fig. 2.4: Piezas de cobre electroformado fabricadas para el experimento ANAIS

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. La Fig. 2.5 es una gráfica de las medidas de radón y de humedad relativa tomadas en el Hall A desde 2014 hasta 2016. Se muestra una clara correlación estacional entre las dos cantidades.



Fig. 2.5: Medidas de radón y de humedad relativa tomadas en el Hall A del 2014 al 2016

Se llevó a cabo una reunión con los GLIMOS en el 2016 con el fin de revisar los procedimientos en materia de seguridad e interaccionar entre los usuarios y el personal del LSC.

El LSC cuenta con un sistema de monitorización para el estudio de la deformación de la roca bajo tierra. En Febrero 2016 se organizó un sondeo de las medidas de monitorización. En particular, el LAB240 está equipado con un sistema de fibras ópticas que monitorizan la deformación de la bóveda, que podría ocurrir en una instalación bajo tierra. Dichas fibras ópticas se encuentran ubicadas en 10 localizaciones: 4 en el Hall A, 2 en el pasillo, 1 en el Hall B y 3 en la zona exterior de la entrada principal. Además, se está realizando una monitorización mensual de las convergencias (distancia entre puntos concretos) por medio de un aparato de cuerdas calibradas en ciertos puntos específicos.

A continuación se detallan las nuevas infraestructuras instaladas y las mejoras llevadas a cabo en el LSC durante el 2016.

La infraestructura del LSC ha sido mejorada con un detector de radón con una sensibilidad del orden de ImBq/m<sup>3</sup>. Dicho detector está instalado en el Hall A en una nueva plataforma construida cercana a la entrada del mismo (ver Fig. 2.6). El detector se encuentra en proceso de instalación. Éste será utilizado para monitorizar el aire libre de radón producido por el sistema de detección de radón y para monitorizar la contaminación de radón en piezas sensibles para NEXT, ArDM, BiPo y TREX-DM.



Fig. 2.6: Nueva plataforma para el detector de radón

Se ha realizado la instalación de un sistema de detección y extinción de fuego "Firetrace" en el panel HV para el experimento NEXT. Un equipamiento similar ha sido instalado también para el sistema de reducción de radón. Tal y cómo se comenta anteriormente, se ha construido una

plataforma en el Hall A para el detector de radón. Se ha completado la instalación del sistema de extintores de fuego portátiles en el laboratorio LAB2400 y LAB780 y también se ha mejorado la señalización de seguridad en los 3 laboratorios. Se ha duplicado la bomba de pozo, instalando una nueva complementaria y el correspondiente sistema de control de ambas bombas. Se han realizado diversos trabajos de mantenimiento y mejora de las instalaciones, eléctricas y climatización del laboratorio por el personal propio del laboratorio (instalación de nuevos circuitos, optimización de protecciones, etc.).

Se ha realizado la implementación de una nueva conexión a Internet de 20Mbps. Esta conexión es una fibra dedicada que se conecta directamente desde el LSC hasta el ISP lo que provee una conexión más estable y segura. Dicha conexión además permite el incremento de la velocidad para asegurar el buen servicio desde el LSC a internet en caso de ser necesaria en un futuro próximo.

Un edificio conocido como "La Casa de los Abetos'' (Fig. 2.7) fue cedido al LSC en el 2015. La reforma de dicho edificio ha sido completada. Este edificio se encuentra ubicado justo al lado del edificio sede del LSC en Canfranc Estación. Durante el 2017 será equipado con una nueva sala de exposición para la divulgación de las actividades que se llevan a cabo en el LSC.

El número total de usuarios en el 2016 ha sido de 279, de 20 países distintos.



Fig. 2.8: Usuarios del LSC por país en el 2016

El LSC también tiene un programa de visitas. Durante el 2016 se han registrado casi 2000 visitantes. En la Fig. 2.9 se muestra la gráfica del número de visitantes desde que comenzaron las visitas en el 2010.



Fig. 2.9: Datos del número de visitantes al LSC en los últimos 7 años



Fig. 2.7: La renovada "Casa de los Abetos"

# 3 RECOPILACIÓN DE EVENTOS 2016



Colaboración de NEXT en la Plataforma



Sistema de gas de NEXT



Nuclear Astrophysics at the Canfranc Underground Laboratory, 2nd CUNA Workshop

Participante alla la Participante

#### Reunión de la Colaboración NEXT (12-13 Enero 2016)

Los días 12 y 13 de Enero, unos 20 investigadores pertenecientes a la Colaboración del experimento NEXT se reunieron en las instalaciones de Laboratorio Subterráneo de Canfranc para lleva a cabo una de las reuniones anuales de dicha colaboración en las que se evalúa la progresión y el estado del experimento y se definen los nuevos pasos a seguir.

#### Reunión del panel para la revisión del sistema de gas del experimento NEXT-NEW (08-10 Febrero 2016)

Por la trascendencia que tiene tanto el sistema de gases como la seguridad en este sistema para el Laboratorio, es necesaria la revisión y supervisión de este por parte del LSC. Un panel de expertos de diversas instituciones se reunió para la revisión del sistema de gas del experimento NEXT-NEW de los días 8 al 10 de Febrero en instalaciones del Laboratorio. En dicha reunión la colaboración NEXT realizó una presentación ante el Comité, que después de ver in situ el sistema instalado, elaborara un informe sobre el mismo.

#### 2° Taller en Astrofísica Nuclear en el LSC – CUNA (29 Febrero – 1 Marzo 2016)

El 2° Taller Internacional de Astrofísica Nuclear en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc se celebró en las instalaciones del mismo ubicados en Canfranc Estación, del 29 de febrero al 1 de marzo 2016. El taller es el segundo tras el primer encuentro llevado a cabo en el 2012 en la misma localización y una reunión de exploración previa que tuvo lugar en Barcelona en el 2009. El objetivo de este taller fue el de debatir sobre la viabilidad, el programa de Física y la implantación de un proyecto de Astrofísica en el LSC, dentro de las instalaciones planificadas a día de hoy a nivel mundial.

#### 18° Reunión del Comité Científico del LSC (16-17 de Mayo 2016)

El Comité Científico Asesor del LSC está formado por científicos de reputación internacional. Su propósito es asesorar las propuestas de experimentos así como realizar el seguimiento del progreso de aquellos experimentos ya aprobados. Esta última reunión para dos de sus miembros: Ariella Cattai y Concha Gonzalez García.

#### Reencuentro del GTFE 2016 Tunnel du Somport (9-10 Junio 2016)

Los días 9 y 10 de Junio se celebró en nuestras instalaciones el Reencuentro del GTFE (Groupe de travail francophone des exploitants de tunnels routiers) dónde se reúnen directores explotación de diferentes túneles internacionales. Dentro del programa del encuentro se incluyó una vista a las instalaciones subterráneas del laboratorio.

# Taller sobre las medidas subterráneas de muones (9-11 Agosto 2016)

Estudiantes e investigadores pertenecientes al MIPT (Moscow Institute for Physics and Technology) viajaron hasta el LSC para unirse a este taller y participar en debates sobre la toma de datos y tácticas de simulación de la monitorización del flujo de muones. También participaron en este taller estudiantes de otras instituciones nacionales.

# Y

Detector de Muones en el LSC

# Charlas sobre Seguridad, GLIMOS (1 de Septiembre 2016)

Aprovechando la reunión anual de los GLIMOS (Group Leader in Matter of Safety) de los experimentos aprobados del LSC, el Director invitó a dos expertos en seguridad del LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso) a dar unas charlas en esta materia y visitar nuestras instalaciones.















#### CEFCA y CSIC, Astrología y Cosmología con LSS (3-4 Octubre 2016)

Las instituciones CEFCA (Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón) de Teruel y CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) de Valencia, organizaron un meeting en las instalaciones del LSC durante los días 3 y 4 de Octubre para establecer una sinergia entre estos dos centros de investigación. Existen conexiones entre la investigación que se lleva a cabo en el LSC y el CEFCA en lo que concierne al entendimiento de la materia oscura utilizando métodos complementarios.

#### Jornada de Medidas de bajo fondo y análisis en el LSC y el LNGS (26-27 Octubre 2016)

El Director del LSC, Aldo Ianni, convocó una jornada de Medidas de bajo fondo y análisis en el LSC y el LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso). En la primera convocatoria pública el día 26, se impartieron charlas tanto por parte de tres expertos en los servicios de radiopureza, fuentes radioactivas y medidas de bajo fondo del LNGS como por parte del grupo del LABAC de la Universidad de Zaragoza asociado al laboratorio. El jueves 27, los tres expertos del LNGS participaron en una reunión, con nuestro personal especializado del LSC, para asesorar sobre el manejo de fuentes radioactivas y debatir sobre una posible colaboración para el desarrollo un detector radioactivo de germanio de muy bajo fondo.

# Reunión de la Colaboración NEXT (30 de Noviembre-1 de Diciembre 2016)

Unos 35 investigadores pertenecientes a la Colaboración del experimento NEXT se reunieron en las instalaciones de LSC para lleva a cabo una de las reuniones anuales de dicha colaboración. En dicha reunión se presentaron los primeros resultados obtenidos con el detector NEXT-NEW.

#### 19° Reunión del Comité Científico del LSC (2-3 de Diciembre 2016)

El Comité Científico Asesor del LSC está formado por científicos de reputación internacional. Su propósito es asesorar las propuestas de experimentos así como realizar el seguimiento del progreso de aquellos experimentos ya aprobados. En esta última reunión se presentaron a sus tres nuevos miembros que sustituyen a los que terminaron su participación en Mayo. Los nuevos miembros son: Mark Chen - Queen's University, Ontario (Canadá), Eligio Lisi -INFN, Bari (Italia) y Paola Tropea - CERN, Ginebra (Suiza).





#### GRABACIÓN DEL PROGRAMA ÓRBITA LAIKA DE RTVE (MAYO 2016)







VISITA PRESIDENTE DIPUTACIÓN GENERAL DE ARAGÓN (FEBRERO 2016)



VISITA DEL PRESIDENTE DE APPEC, FRANK LINDE (NOVIEMBRE 2016)



VISITA ALCALDE DE ZARAGOZA (DICIEMBRE 2016)

16



#### EL VIAJE DE LA TIERRA Y LA MATERIA OSCURA

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 Laboratorio Subterráneo del Gran Sasso (LNGS) y estudia dicha modulación anual. Esta evidencia nunca ha sido confirmada por otros experimentos que han alcanzado una mayor sensibilidad, pero 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 Nal, en condiciones de extremadamente bajo fondo radiactivo y bajo umbral. Sólo un par de experimentos en el contexto internacional persiguen el mismo objetivo.

Para poder garantizar la estabilidad experimental que requiere el análisis de la modulación anual es preciso desacoplar la temperatura de la electrónica de las fluctuaciones de temperatura que se observan en el Hall B del LSC. Con este fin, en febrero de 2016 la electrónica de ANAIS se instaló en un espacio especialmente acondicionado, con temperatura controlada, detrás de la cabina de ANAIS, en el Hall B del Laboratorio Subterráneo de Canfranc, LSC (Fig. 5.1).

#### http://gifna.unizar.es/anais



Fig. 5.1: Espacio de temperatura controlada en el Hall B del LSC que aloja la electrónica del experimento ANAIS

En marzo de 2016 se recibió en el LSC un nuevo cristal de 12.5 kg de Nal(TI) fabricado en la empresa Alpha Spectra Inc., (Colorado, Estados Unidos), que fue instalado inmediatamente en el blindaje de ANAIS-37 para iniciar la evaluación de su radiopureza. Este cristal fue crecido partiendo de un polvo de yoduro de sodio más purificado, de calidad WIMPScint-III, por lo que debería tener menor contaminación en potasio que los cristales previos proporcionados por el mismo fabricante. Este detector fue denominado D3. La toma de datos comenzó dos días después de la llegada del detector, tras acoplarle dos fotomultiplicadores en la sala blanca del LSC (Fig. 5.2), aprovechando la disponibilidad del montaje ANAIS-37. El nuevo detector, D3, fue colocado entre D0 y D2 para aprovechar al máximo la eficiencia de la coincidencia para la determinación de su contenido en potasio.

D3 mostró un contenido en potasio claramente inferior a los de previos detectores,  $19 \pm 2$ ppb, siendo el valor medio de los anteriores de aproximadamente 40 ppb. Sin embargo, la actividad alfa específica de D3 resultó ser de 1.16 mBq/kg, un factor dos por encima de la observada en D2 (0.7 mBq/kg), aunque un



Fig. 5.2: Módulo D3 en la sala blanca del LSC y acoplamiento de un fotomultiplicador a dicho módulo.

factor dos mejor que la correspondiente a D0 y D1 (3.15 mBq/kg). La actividad alfa está todavía aumentando, ya que el <sup>210</sup>Po está produciéndose en la desintegración de su progenitor, el å<sup>210</sup>Pb, hasta que se alcance el equilibrio; el valor de saturación de la actividad debería ser 1.8 mBq/ kg, compatible con el fondo observado a baja energía que resulta de la desintegración del <sup>210</sup>Pb. Es preciso resaltar, que pese al inesperadamente alto nivel valor de la actividad de <sup>210</sup>Pb observado en D3, el fondo en la región de 2 a 6 keV es comparable al de D2 gracias al menor contenido en potasio (Fig. 5.3). Esta alta actividad alfa específica en D3 fue discutida con la compañía AS, y como resultado de estas discusiones varias piezas de 1 kg de Nal(TI) fueron enviadas de Colorado a Zaragoza para la medida de su actividad alfa. Se recibieron entre abril y agosto de 2016 y fueron encapsuladas en la caja de guantes de la Universidad de Zaragoza (Fig. 5.4) nada más ser recibidas y medidas en una instalación específicamente acondicionada para ello en el LSC. Una de las muestras incluso fue pulida para intentar obtener más información sobre el origen de la contaminación. Como resultado de estas medidas se pudo concluir que todas las piezas extraídas del mismo lingote del que se fabricó D3 mostraron la misma alta actividad alfa específica, apuntando a que la contaminación estuviera en el volumen y no en la superficie. Lo mismo indicó la medida especial con la muestra pulida, que dio niveles similares para su actividad alfa. Las muestras extraídas de un lingote fabricado con posterioridad, sin embargo, mostraron actividad alfa específica claramente inferior. Para confirmar estos resultados dos módulos adicionales, D4 y D5, uno extraído de cada uno de los dos lingotes





Fig. 5.3: Comparación del fondo a baja energía para los módulos D0, D2 y D3.

Fig. 5.4: Montaje y encapsulamiento de una pieza de 1 kg de Nal (TI) en la caja de guantes de la Universidad de Zaragoza.

mencionados anteriormente fueron comprados a AS, financiados por el LSC. Todo el trabajo de I+D asociado a este proceso implicó un retraso en los plazos de la propuesta del experimento.

Los módulos D4 y D5 llegaron a Canfranc el 14 de noviembre de 2016 y su caracterización comenzó inmediatamente tras el acoplo de los dos fotomultiplicadores en la sala blanca del LSC (Fig. 5.5). La actividad alfa específica de D5 resultó inferior a 0.7 mBq/kg, mientras que la de D4 mostró el mismo nivel que en D3, como se esperaba al provenir del mismo lingote. Con esta información se procedió al encargo a AS, en diciembre de 2016, de la fabricación de los módulos D6, D7 y D8, que deberían proceder del mismo lingote que D5 y por lo tanto mostrar similar contaminación en <sup>210</sup>Pb. Estos tres módulos han sido financiados por el proyecto MultiDark, y completan la configuración elegida para ANAISTI2.





Fig. 5.5: Acoplamiento de los fotomultiplicadores a los módulos D4 and D5 en la sala blanca del LSC, Nov16

ANAISI 12 consistirá en una matriz de 3x3 módulos de 12.5 kg cada uno, siendo por lo tanto la masa total de detección de 112.5 En la figura 5.6 se puede visualizar el kg. montaje experimental, que se espera instalar en el LSC en los primeros meses de 2017. El fondo esperado para ANAISII2 ha sido ya evaluado, considerando los modelos de fondo desarrollados para los módulos ya estudiados y basado en las medidas de las diferentes contaminaciones que contribuyen al fondo radiactivo y la simulación por MonteCarlo. La sensibilidad experimental correspondiente ha sido también evaluada: 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-lce (entre los tres suman 220 kg de Nal(TI)) podría permitir en solo 2 años mejorar sensiblemente la sensibilidad a la modulación anual.

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 IDM (que se celebró en Sheffield, UK, en julio de 2016).



Fig. 5.6: Visión artística de ANAIS112.



#### ARGÓN LÍQUIDO Y MATERIA OSCURA

ArDM (Argon Dark Matter), es el primer experimento a gran escala sobre Materia Oscura en funcionamiento en una ubicación subterránea. El detector está diseñado como una cámara de proyección temporal (TPC) de LAr (líquido-argón) en doble fase optimizada para la detección del retroceso nuclear inducido por WIMPs (partículas masivas de interacción débil), partículas hipotéticas que se piensa constituyen la materia oscura. El equipamiento de ArDM se encuentra instalado en el Hall A del LSC, tal y como se muestra en la figura 6. l. La ilustración en el recuadro muestra el esquema de la detección de una WIMP en la LAr-TPC de ArDM. Las WIMPs, dispersadas elásticamente del núcleo de argón son detectadas por la luz centelleadora y la carga ionizante por la interacción del núcleo en retroceso en el argón líquido.



Fig. 6.1: Dibujo del equipamiento ArDM instalado en el Hall A del LSC. La ilustración en el recuadro muestra el esquema de la detección de una WIMP en la LAr-TPC de ArDM. Las WIMPs, dispersadas elásticamente del núcleo de argón son detectadas por la luz centelleadora y la carga ionizante por la interacción del núcleo en retroceso en el argón líquido.

En el 2015 se llevó a cabo con éxito la puesta en marcha del detector en su módulo monofásico (ArDM Run I). Inicialmente se puso

http://darkmatter.ethz.ch/

en funcionamiento a una cálida temperatura ambiente, seguida de un objetivo en frio de argón gaseoso (87 K) y finalmente al objetivo final en LAr de ~850 kg en condiciones estables durante seis meses. Se recogieron más de tres billones de triggers, con la medida de las primeras señales centelleadoras (SI). Los análisis continuaron a lo largo del 2016 para explorar los altos datos estadísticos. Todos los ficheros con los datos originales en bruto (~200 TB) se enviaron al CERN (Ginebra), para ser analizados aprovechando la infraestructura informática local. De este trabajo resultó un entendimiento pleno de los datos obtenidos, en particular la respuesta del detector y los fondos observados. Los resultados se reflejaron en dos publicaciones [1,2] además de en una tesis postdoctoral [3] publicada en el 2016 y se volverán a presentar en una nueva publicación [4] que se encuentra en preparación en este momento.

El equipamiento inicial para el Run I se detalla en [1] incluyendo el sistema criogénico, la lectura de la luz, el aislamiento de neutrones, la toma de datos y sistema de desencadenado además de la reconstrucción de los datos. Los datos confirmaron el buen desempeño estable del detector. El ligero rendimiento mostró una buena linealidad en un amplio rango de energía, desde varias décimas de keV a varios MeV. Se encontró que su valor absoluto estaba alrededor de 0.8 y 1 pe/keV, para argón líquido y gaseoso respectivamente. La figura 6.2 muestra la distribución de los sucesos de electrón 41.5 keV que surgen de átomos <sup>83m</sup>Kr en estado inestable inyectados en la fase de vapor sobre el objetivo LAr. El parámetro TTR (Top to total light radio), calculado desde un ratio basado en las señales

detectadas en los PMTs superior e inferior, es el relacionado a la posición de sucesos vertical, aquí mostrada como función de la luz total detectada (número de fotoelectrones, pe). El panel principal muestra una distribución uniforme espaciosa obtenida unas cuatro horas tras la inyección, mientras que el recuadro muestra la distribución 30-60 minutos tras la inyección, indicando la acumulación de los decaimientos <sup>83m</sup>Kr cerca de la superficie líquida.



Fig.6.2: Distribución de sucesos <sup>83m</sup>Kr (41.5 keV electrones) obtenida cuatro horas después de la inyección en el detector ArDM. El eje vertical (TTR) representa la posición vertical del suceso. El recuadro muestra su distribución inicial, 30-60 minutos después de la inyección, indicando la acumulación de sucesos cerca de la superficie liquida.

La habilidad para detectar, desencadenar y reconstruir señales a un rango de ~10 keV demuestra la capacidad de ArDM para realizar búsquedas de la Materia Oscura. Estos logros también representan un hito importante hacia la búsqueda sensible de WIMPs con argón líquido y abre el camino para la nueva generación de detectores de 10 o más toneladas con sensibilidad de núcleos en retroceso.

Se llevaron a cabo grandes esfuerzos para desarrollar un modelo completo Monte Carlo (MC) del detector, basándose en el marco de la simulación Geant4, describiendo las propiedades del detector desde sus principios. Esto incluye un rayo óptico completo, basado en el modelaje de procesos ópticos tal y como el centelleo LAr de 127nm de fotones vacío ultravioleta (VUV), dispersión Rayleigh, absorción VUV, conversión a luz visible azul con longitud de onda de desplazamiento TPB (Tetraphenyl Butadyene), reflejos y refracciones. Los procesos ópticos incluyen algunos parámetros que no se conocen de manera muy precisa y por lo tanto necesitan ser determinados de forma experimental. En este contexto, el coeficiente de reflexión y la atenuación de la longitud VUV fueron escaneadas sobre amplios rangos en la simulación y los resultados fueron comparados con los datos. Se obtuvieron una serie de parámetros pulidos en un espacio global, utilizando una técnica bayesiana de variación. Se consiguió un entendimiento satisfactorio de los datos observados como por ejemplo los que se muestran en la muestra de espectro de la figura 6.3.



Fig.6.3: Datos (puntos negros) superpuestos a un espectro Geant4 de sucesos <sup>83m</sup>Kr (izquierda) y <sup>39</sup>Ar (derecha) utilizando una serie de parámetros pulidos. Las zonas grises muestran los fondos para las dos series de datos.

Este estudio MC resultó en un valor de 0.5 m por la longitud atenuante de la mayor parte del LAr a su propia luz de centelleo, la cual es menor que el valor esperado. Interpretamos esto con la

presencia de trazas de impurezas ópticamente activas en el LAr, que no han sido filtradas por los sistemas de purificación instalados diseñados originalmente para las moléculas de O<sub>2</sub>. Para la investigación de las posibles impurezas se llevó a cabo un análisis con respecto a las secciones cruzadas de foto-absorción involucradas.la medida de la duración del componente centellador lento además de los espectros de masa tomados en las muestras de gas argón. Los detalles al completo de los resultados y los análisis se recogen en [2]. Una variedad de candidatos a estas impurezas podrían ser excluidos por este análisis, como por ej. O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, además de elementos más consistentes como el Xe y el Kr. Se cree que elementos como los hidrocarburos, que no pudieron ser excluidos, pueden ser eliminados con una mejora del sistema de purificación. Una trampa fría de carbón, que reduzca los niveles de impureza de los elementos con puntos de condensación sobre la temperatura del filtro en varios ordenes de magnitud, está siendo añadida al circuito de purificación de ArDM para la inminente Run II. Con esta mejora del sistema se puede esperar un incremento de la atenuación de la longitud VUV y, en consecuencia, de la luz de rendimiento.

Además, se están finalizando análisis sobre los fondos observados con retroceso electrónico a través los parámetros pulidos del MC y los altos datos estadísticos. Se ha obtenido un entendimiento detallado del fondo medido, confirmando las condiciones esperadas de bajo fondo del Experimento. El análisis de la calibración de los datos tomados con una fuente de fisión de neutrones <sup>252</sup>Cf permitió unas primeras estimaciones del poder de rechazo estadístico para los fondos de retroceso electrónico por el método PSD (pulse-shape discrimination) en detector LAr a gran escala. Estos resultados son alentadores para proyectos LAr y serán publicados en breve [4].

Paralelamente al trabajo de análisis descrito anteriormente, trabajos en el hardware resultaron en la mejora del detector ArDM en el 2016 con

la nueva cámara TPC para la operación en doble fase. La TPC es básicamente de forma cilíndrica y consiste en 27 anillos fabricados en cobre, ventanas de cátodo y ánodo transparentes cerrando las partes superior e inferior respectivamente. La estructura está construida dentro de una carcasa de Borotron (alta densidad polietileno borada) de 10 cm de grosor que sirve como aislante interno de neutrones. Las ventanas de cátodo y ánodo están fabricadas en un plato de PMMA (metacrilato polietileno) recubiertas en ambas caras con una capa de ITO (indium tin oxide) transparente y conductivo. Una instalación de alto voltaje (HV) de 100-kV hecha a medida está instalada para suministrar el voltaje de cátodo y los voltajes lineales decrecientes a los moldeadores de campo interconectados por cadenas de resistencia. De esta manera se crea un campo de deriva eléctrico uniforme vertical. Electrones de ionización se derivan hacia arriba y son extraídos a la fase de vapor por un fuerte campo eléctrico (~3 kV/cm) entre la ventana ánodo y la rejilla de extracción inmersa 5mm bajo la superficie liquida, produciendo la segunda señal de centelleo (S2). Se muestra el montaje de la ventana ánodo y la rejilla de extracción en la figura 6.4.



Fig.6.4: Montaje de la rejilla de extracción y la ventana ánodo ITO-TPB-cubierta de PMMA en la tienda limpia construida en el Hall A del LSC (Julio 2016)

El raudo centelleo (SI) en LAr y la retrasada S2 luz en la fase de vapor son emitidos en una estrecha banda de unos 127nm de longitud de onda. Estos fotones VUV son convertidos a luz

azul visible por la onda de desplazamiento TPB, que es depositada en las superficies internas de la TPC, que contiene reflectores de múltiples capas de plástico en los lados, además de las ventanas ánodo y cátodo. Las señales S1 y S2 son recogidas por los PMTs criogénicos de 24 8" colocados en despliegues superiores e inferiores. El montaje del despliegue superior de los PMT se muestra en la imagen izquierda de la figura 6.5. La TPC montada bajo el despliegue superior de PMT se puede ver a la derecha con el cableado de 100-kV HV. Gracias a las ventanas ITO-TPB ánodo y cátodo, se pudo sacar el revestimiento de TPB para las ventanas PMT, que fue utilizado para el Run I. Este nuevo diseño mejorará ampliamente la capacidad de "fiducialisation" (volumen fiducial) de ArDM; únicamente sucesos dentro del volumen activo pueden producir centelleo y señales.



Fig.6.5: Mejora experimental para el detector ArDM en 2016. Izquierda: Montaje del despliegue supero de los PMT. Derecha: La TPC montada bajo los PMT. Se aprecia el cableado de 100kV HV fabricado a medida.

La puesta en marcha del detector mejorado se ha llevado a cabo recientemente con argón gas gaseoso en caliente. En este momento, la colaboración se está preparando para el Run II en doble fase. El nuevo sistema de purificación incluye la trampa de carbón frio tal y como se ha descrito anteriormente y que se encuentra en construcción. Junto con el sistema mejorado de recogida de luz se espera que mejore el rendimiento luminoso. Se espera comenzar con la doble fase Run II a mediados del 2017.

Con un mejorado rendimiento luminoso en el orden de 2 pe/keV<sub>ee</sub> se espera que ArDM alcance una sensibilidad significativa para la búsqueda de WIMPs con LAr. Dado el objetivo del volumen, se estima un periodo relativamente corto para alcanzar las sensibilidades presentadas en la figura 6.6, calculada para un nivel de confianza del 90%, 50% de aceptación de retroceso nuclear (NR) y un rango de energía de 60–160 keV<sub>nr</sub>. Asumiendo 500 kg de volumen fiducial las exposiciones de 4000, 8000 y 12000 kg-día, corresponden a 8, 16 y 24 días de vida de ArDM respectivamente. Se estima que el

fondo de neutrones de dispersión única emitido desde los componentes internos del detector alcance un suceso cada 20 días. La línea azul de la figura 6.6 muestra la sensibilidad de ArDM para un rendimiento luminoso de I pe/keV y un rango de energía de 120–160 keV<sub>nr</sub> a modo de comparativa. La línea roja corresponde al último límite marcado por el experimento DarkSide-50 (1422 ± 67 kg-día). Los espacios reservados para un cálculo teórico popular de los parámetros WIMP (CMSSM) de predicciones Bayesianas I $\sigma$ y 2 $\sigma$  se muestran en gris claro y oscuro.



Fig. 6.6: Sensibilidad proyectada para exposiciones de 4000, 8000 y 12000 kg-día (líneas verdes), asumiendo aceptación 50% NR y un rango de energía de 60–160 keV<sub>nr.</sub> Se asume un rendimiento luminoso de 2 pe/keV. La línea azul muestra la sensibilidad de un rendimiento luminoso de 1 pe/keV y un rango de energía de 120–160 keV<sub>nr</sub>. La línea roja corresponde al último límite marcado por DarkSide -50 (1422  $\pm$  67 kgdía). Las regiones preferidas para los parámetros de CMSSM de las predicciones Bayesianas están marcadas en gris.

Los objetivos para el Run II del proyecto ArDM incluyen el estudio de sucesos de dispersión de neutrones, el mejorado poder de rechazo de retroceso electrónico (basado en PSD y el ratio S1/S2), además del estudio de la largura atenuante VUV a efecto del mejorado sistema de purificación. Se considera que todos estos puntos representan hitos fundamentales hacia los detectores de LAr Materia Oscura a gran escala de próxima generación.

#### **REFERENCIAS:**

- [1] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Commissioning of the ArDM experiment at the Canfranc underground laboratory: first steps towards a tonne-scale liquid argon time projection chamber for Dark Matter searches," Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2017 (2017) 003, arXiv:1612.06375 [physics.ins-det].
- [2] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Measurement of the attenuation length of argon scintillation light in the ArDM LArTPC," arXiv:1611.02481 [astro-ph.IM].
- [3] Bárbara-Rosario Montes Núñez, "Analysis of the first underground run and background studies of the Argon Dark Matter experiment," PhD thesis, Complutense University of Madrid / CIEMAT, 2016.
- [4] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Low energy backgrounds and pulse shape discrimination in the ArDM liquid argon TPC," en preparación.

7



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

El experimento NEXT tiene el objetivo de detectar la desintegración doble beta sin neutrinos ( $0\nu\beta\beta$ ) en gas xenón, enriquecido en el isótopo <sup>136</sup>Xe. La señal de dicha desintegración es un pico en la distribución de la energía depositada por los dos electrones de la desintegración, que tiene que ser constante, ya que no hay neutrinos que se lleven parte de la energía. Por lo tanto, un buen experimento de  $0\nu\beta\beta$  tiene que medir la energía con una excelente resolución y tener la capacidad de rechazar aquellos eventos de fondo cuya energía caiga dentro de la resolución alcanzada.

La desintegración doble beta sin neutrinos, si existe, es un evento extremadamente raro, con una vida media mayor que 10<sup>25</sup> años. Para poder medirla, además de acumular una gran cantidad del isótopo que se desintegra, un experimento necesita proteger el detector de toda la radiación que pueda producir una señal similar a la de los dos electrones. Por esta razón, experimentos de este tipo se ponen bajo tierra, donde la misma tierra bloquea la mayor parte de la radiación que viene del exterior. Además, los materiales utilizados para construir el detector tienen que ser extremadamente radiopuros, con el fin de no introducir una ulterior radiación que pueda confundirse con una desintegración doble beta.

NEXT está formado por una cámara de proyección temporal a alta presión, esto es, un cilindro de acero lleno de 100 kg de xenón

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

a 15 bares de presión en el que se aplica un campo eléctrico, y dos distintos planos de sensores que se utilizan uno para medir la energía y el otro para sacar una "foto" del evento. El principio de detección de NEXT se muestra en la figura 7.1. Cuando una partícula cargada entra en el gas, deposita su energía interactuando de dos formas con las moléculas del gas. Por un lado, las moléculas pasan a un estado excitado, volviendo acto seguido a su estado normal emitiendo luz en el rango del ultravioleta. Los sensores detrás del cátodo del detector registran esta luz (llamada centelleo) y proporcionan el tiempo en el que empieza el evento. Estos sensores son fotomultiplicadores (PMTs), aparatos que convierten la luz en corriente eléctrica. Por otro lado, la energía que la partícula deposita puede también extraer electrones de los átomos de xenón a través del fenómeno de la ionización.



Fig. 7.1: El principio de detección de NEXT.

#### 7 www.lsc-canfranc.es

Estos electrones se mueven por efecto del campo eléctrico hacia una región con mayor intensidad de campo donde son acelerados y producen más centelleo (pero no ionización). Este proceso produce una amplificación de la señal, que crece linealmente con el campo eléctrico. Los fotomultiplicadores detectan esta luz secundaria y proporcionan una medida precisa de la energía del evento. En el extremo opuesto, la distribución de luz en otro plano más denso de fotomultiplicadores de silicio (SiPMs) da, en cada momento, una imagen 2D del evento en una posición determinada en la dirección del campo eléctrico. Sabiendo el momento en que ha empezado el evento, se puede reconstruir la posición absoluta.

Este novedoso concepto de detección cumple con los requisitos indispensables de un experimento  $0\nu\beta\beta$  que hemos mencionado antes. Por lo que se refiere a la resolución en energía, las fluctuaciones en la cantidad de electrones de ionización producidos y de luz de centelleo secundario son muy bajas. Por otro lado, en xenón a 15 bar es posible explotar la señal topológica del evento: los dos electrones del  $0\nu\beta\beta$  dejan una traza con deposición de energía casi constante y dos grandes "blob" de energía en los dos cabos, debido a que los electrones siguen un recorrido más tortuoso cuando se quedan con poca energía. Esta señal es una herramienta muy potente para rechazar el fondo.

#### DETECTOR NEW

El detector NEXT-White (NEW) es una Cámara de Proyección Temporal (TPC, por sus siglas en inglés) asimétrica de gas de xenón de alta presión construida con materiales radiopuros. Este detector opera en modo electroluminescente (EL) a presiones entre 10 y 15 bar en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC).

El detector está equipado con 12 PMT Hamamatsu R11410 (figura 7.2) 10 cm



Fig. 7.2: El plano de PMTs del detector NEW.

detrás del cátodo que permiten la detección de la señal de centelleo primario (S1) que se utiliza como tiempo de inicio del evento y da su coordenada z. Los PMT también son responsables de la medición de energía leyendo la señal de centelleo secundaria (S2) con alta precisión. Dado que los PMT no pueden operar a alta presión, se separan del volumen activo por una placa de cobre de 12 cm y funcionan en vacío. Los PMTs visualizan el volumen activo a través de ventanas de zafiro recubiertas con Tetraphenyl Butadyene (TPB), un material orgánico que desplaza la longitud de onda de los fotones de ultravioleta a azul.



Fig. 7.3: Jaula eléctrica de NEW.

En el extremo opuesto del detector, justo detrás de la región de amplificación, un plano con 1792 SiPMs SensL serie-C se distribuye en una matriz de I cm de lado. El espacio entre SiPMs está cubierto por una delgada capa de teflón (2 mm) que aumenta la reflectividad total y permite una mejor colección de luz por los PMTs. Los SiPMs se encargan de recoger la señal que permitirá una reconstrucción topológica de los eventos.

La jaula eléctrica de NEW (Fig. 7.3) crea un campo homogéneo de 300V/cm en el volumen activo y un campo en la región EL de 2-3 kV/ cm/bar. Se ha fabricado utilizando polietileno de alta densidad (HDPE) como material de soporte para los anillos de cobre que crean el campo de deriva en el volumen activo. El soporte de la jaula se produjo mecanizando las ranuras para los anillos a partir de una sola pieza compacta de HDPE. Los anillos de cobre están conectados con resistencias de 10 G $\Omega$ . La zona de amortiguamiento (espacio entre el cátodo y las ventanas de los PMTs) utilizada para degradar la tensión del cátodo consiste en una serie de ranuras que evitan el movimiento de carga a través de la superficie. La región de EL consiste en una malla para la parte a mayor voltage construida con acero inoxidable casi 100% transparente a los electrones y  $\sim$  95% transparente a los fotones. El ánodo es una placa de cristal de silicio recubierta con Indio Tin Oxyde (ITO) en un lado que nos permite tener una buena definición de condiciones contorno y con TPB en el otro lado usado para cambiar la luz VUV emitida por el xenón a luz azul donde nuestros sensores son mucho más eficientes. Las conexiones de alta tensión hacía el interior del detector necesitan soportar hasta 20 kV en la zona de EL y 50 kV en el cátodo. El diseño de ambos se basa en el diseño ideado H. Wang que evita líneas de campo perpendiculares a cualquier superficie dieléctrica. Finalmente un tubo de luz se instala dentro de la field cage. El tubo de luz es un tubo de teflón de 10 mm de espesor cubierto con TPB diseñado para cambiar la luz VUV a azul y para aumentar la reflectividad del teflón.

#### OPERACIÓN Y TOMA DE DATOS CON NEW

El sistema de gas y los sistemas de fotodetección de NEW se han puesto en marcha formalmente a lo largo de 2016. Las tomas de datos se han agrupado en dos etapas: tomas de prueba con argón y los primeros datos con xenón.

La primera tapa duró desde mayo al hasta finales de septiembre resultando en la aprobación el sistema de gas así como la definición y prueba de los métodos de calibración de los sensores y mejoras en el aislamiento de la electrónica de posibles chispas procedentes de la jaula eléctrica de la TPC.

#### CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

NEW utiliza información de dos tipos de fotosensores para reconstruir sucesos. Los doce PMTs del plano de energía tienen una alta sensibilidad a los fotones emitidos por el TPB y un ruido electrónico muy bajo. Para su calibración se necesita cuantificar ese ruido, el número de cuentas digitales producido por la absorción de un fotón en su fotocátodo en promedio (la ganancia de conversión) y también cuanto varía ese valor (la resolución de carga). Los SiPMs del plano de reconstrucción geométrica tienen perfil de ruido más complejo que los PMTs porque tienen una corriente oscura (la frecuencia de producción térmica de carga) más grande. En el caso de los SiPM además de la ganancia queremos cuantificar el ruido y corriente oscura. Hay varias maneras posibles para la determinación de esos parámetros pero en NEXT elegimos determinar la ganancia de forma parecida a lo que usamos para los PMTs, o sea, la posición del primer pico de respuesta a la absorción de fotones azules. En lugar de extraer parámetros para cuantificar el ruido y la corriente oscura para NEW construimos espectros de la carga observada sin luz externa de los cuales podemos extraer mucha información pertinente.

En la figura 7.4 se puede ver un espectro de carga a baja luz de un PMT con los picos que corresponden a la absorción de uno o varios fotones. En la figura 7.4 se enseñan los espectros con y sin luz externa para un SiPM.

#### PRIMEROS DATOS CON XENÓN

Los primeros datos de NEW han sido tomados con fuentes radioactivas con el objetivo de calibrar el detector. La calibración con fuente radioactivas es un procedimiento que se va a llevar a cabo regularmente a lo largo de las tomas de datos de física de NEXT, como método para monitorizar las variaciones de la respuesta de los sensores a lo largo del tiempo y reconstruir correctamente los eventos. Como primera fuente se ha utilizado kriptón, un gas noble que se desintegra emitiendo electrones de una energía total de 41 keV, que depositan su energía en el gas en un área muy limitada, de pocos milímetros. El kriptón se produce por la desintegración del isótopo 83 del rubidio, que está insertado en sistema de gas y se difunde rápidamente llenando uniformemente la cámara. El kriptón es muy útil para caracterizar el detector, en particular para medir la velocidad de deriva y la vida media de los electrones en el gas, que se ve afectada por las impurezas. Además, produciendo una deposición de energía en una zona muy pequeña, nos permite medir con precisión la dependencia geométrica de la detección de luz en los fotomultiplicadores, y alcanzar de tal manera una excelente resolución en energía.

Hemos analizado diferentes tomas de datos, encontrando un comportamiento estable del detector, con una velocidad de deriva de 0.9 milímetros por microsegundo y una vida media de los electrones de 4 milisegundos, en aumento con el tiempo, gracias a la recirculación continua del gas. En la figura 7.6 se enseña cómo, debido a la captura de los electrones por las impurezas del gas, la carga detectada en el plano de PMTs disminuye cuanto más alejado está el evento del ánodo. El ajuste de una función exponencial da la medida de la vida media de los electrones, la cual nos permite corregir por este efecto la carga detectada.



Fig. 7.4: Espectro de calibración de un PMT.



Fig. 7.5: Espectro de calibración de un SiPM.



Fig. 7.6: Ejemplo de carga detectada en función del tiempo de deriva. La carga disminuye debido a la captura de los electrones por las impurezas del gas.

En la figura 7.7 se enseña la distribución de energía del kriptón después de todas las correcciones (geométricas y por captura de los electrones): en la parte central de la gausiana se alcanza una resolución de 8% FWHM, que extrapola a 1% a la energía de  $0v\beta\beta$ .



Fig. 7.7: Distribución de energía en eventos de kriptón, después de todas las correcciones.

Después del kriptón, hemos utilizado una fuente del isótopo 22 del sodio, que se desintegra emitiendo un positrón que se aniquila con un electrón de su entorno produciendo dos fotones de 511 keV emitidos en direcciones opuestas. A la vez, la relajación del núcleo hijo de neón produce un fotón de energía más alta (1275 keV). La medida de las interacciones fotoeléctricas de fotones de diferentes energías nos permite calibrar la respuesta del detector. En la figura 7.8 se puede ver la traza de un electrón de 511 keV en la cámara, donde el color indica la energía depositada. Se ve claramente la zona del "blob" al final de la trayectoria.



Fig. 7.8: Traza de un electrón de 511 keV producido en un evento de calibración con una fuente de sodio. http:/next.ific.uv.es/next/



#### DECAIMIENTO DOBLE BETA SIN NEUTRINOS: CANFANC CON MODANE

El detector BiPo-3 está dedicado a medir la radioactividad natural a niveles extremadamente bajos de los radioelementos <sup>208</sup>Tl (producido en la cadena de desintegración del <sup>232</sup>Th) y <sup>214</sup>Bi (producido en la cadena de desintegración del <sup>238</sup>U).

BiPo-3 ha sido construido para medir la radioactividad residual en las fuentes de desintegración doble beta, bb0n, del experimento SuperNEMO. Estas fuentes son láminas muy delgadas y por ello, BiPo-3 ha sido diseñado para medir muestras muy finas. SuperNEMO ambiciona obtener una sensibilidad de  $T_{1/2} > 10^{26}$  años en la vida media de la desintegración bb0n. Una de las principales fuentes de ruido de fondo para SuperNEMO es una posible contaminación en 208TI y 214Bi en las láminas usadas como fuente de la desintegración doble beta. Los niveles de pureza requeridos en términos de radioactividad son <sup>208</sup>TI < 2 mBq/kg y <sup>214</sup>Bi< 10 mBg/kg para lograr la sensibilidad deseada.

Los resultados más importantes durante el año 2016 con el detector BiPo-3 son: la medida final de las primeras ocho láminas de <sup>82</sup>Se enriquecido de SuperNEMO, la medida de nuevas láminas producidas con una nueva técnica y la medida de micromegas de la Universidad de Zaragoza.

El primer módulo de SuperNEMO contendrá 7 kg de <sup>82</sup>Se en forma de láminas de 270 cm de largo, 13.5 cm de ancho y aproximadamente http://nemo.in2p3.fr/nemow3/

200 mm de espesor. En total, 36 láminas serán necesarias. Las primeras 11 láminas han sido producidas en el laboratorio ITEP en Rusia siguiendo el mismo método que el usado para NEMO-3. Sin embargo, las primeras medidas con BiPo-3 de estas láminas resultaron en niveles cercanos a 20 mBq/kg para el <sup>208</sup>Tl, demasiado altos para lo requerido para SuperNEMO. Una nueva técnica de producción de láminas ha sido entonces desarrollada en el laboratorio LAPP de Francia y además un nuevo método de purificación del Se ha sido puesto a punto en el laboratorio JINR en Rusia. Láminas de prueba han sido medidas durante 2016 con el detector BiPo-3.

Este informe presenta: 1) los resultados finales de las primeras ocho laminas producidas por el ITEP, 2) los resultados de las láminas producidas por el LAPP y 3) los resultados de la medida de micromegas de la Universidad de Zaragoza.

#### RESULTADOS FINALES DE LA MEDIDA DE LAS PRIMERAS LÁMINAS DE <sup>82</sup>SE ENRIQUECIDO

Las láminas de Se son fabricadas a partir de una mezcla de <sup>82</sup>Se en polvo con la goma alcohol Polyvinyl (PVA). Dicha mezcla es extendida entre dos láminas de Mylar. El Mylar, de 12 mm de espesor ha sido previamente irradiado con un haz de iones para producir un gran número de orificios microscópicos, los cuales aseguraran una buena adherencia y permitirán la evaporación de los solventes y el agua de la goma.

Recordamos que los niveles de radioactividad del Mylar y del PVA han sido medidos previamente de manera independiente con el detector BiPo-3. El Mylar antes de ser irradiado y el PVA son muy puros en termino de radioactividad. Sin embargo, una contaminación de  $A(^{208}TI) = [47 - 171] mBq/kg$  ha sido observada en el Mylar tras ser irradiado.

Las cuatro primeras láminas de <sup>82</sup>Se enriquecido de SuperNEMO, con una densidad de 40 mg/ cm<sup>2</sup>. han sido medidas entre Agosto 2014 y Junio 2015. El tiempo útil de esta medida es de 262 días para el análisis de BiPo<sup>212</sup> y de 241 días para el análisis de BiPo<sup>214</sup>. Un segundo grupo de cuatro laminas, con una densidad de 55 mg/ cm<sup>2</sup> ha sido medida entre Noviembre 2015 y Julio 2016. El tiempo útil de esta medida es de 161 días para el análisis de BiPo<sup>212</sup> y de 109 días para el análisis de BiPo<sup>214</sup>. Los datos de las dos mediciones han sido añadidos para obtener el resultado final de la contaminación de las primeras ocho láminas de <sup>82</sup>Se enriquecido.

La figura 8.1 muestra las distribuciones en energía de las partículas alfa, para los datos y para las diferentes contribuciones al ruido de fondo: I - ruido de fondo intrínseco al detector dado por la contaminación superficial de los centelladores, 2- la contaminación del Mylar y 3- coincidencias fortuitas. Resulta un exceso de eventos BiPo<sup>212</sup> con respecto al ruido de fondo esperado. Este exceso se explica como una contaminación de la mezcla de <sup>82</sup>Se+PVA y corresponde a una actividad de  $A(^{208}TI) =$  $(21 \pm 11)$  mBq/kg a 90 % de nivel de confianza. Los datos del BiPo<sup>214</sup> no muestran un exceso de eventos con respecto al ruido de fondo esperado por lo cual podemos dar un límite máximo para la contaminación de la mezcla de <sup>82</sup>Se+PVA en <sup>214</sup>Bi,  $A(^{214}Bi) < 290 \text{ mBq/kg}.$ 





Fig. 8.1: Distribución en energía de los datos correspondientes a las desintegraciones BiPo<sup>212</sup> (izquierda) y BiPo<sup>214</sup> (derecha) de las ocho primeras láminas de Se enriquecido producidas para SuperNEMO. El tiempo útil de la medida es de 423.3 días y 350.8 respectivamente. Los datos son comparados con las diferentes contribuciones al ruido de fondo esperado: contaminación en la superficie de los centelladores (histograma celeste), contaminación en el Mylar irradiado (histograma verde) y coincidencias fortuitas (histograma azul-gris). El exceso de eventos con respecto al ruido de fondo esperado, histograma rojo, corresponde a la contaminación en la mezcla de <sup>82</sup>Se+PVA.

Dos nuevas láminas producidas por el ITEP están siendo medidas desde Agosto 2016. Los datos obtenidos hasta ahora muestran contaminaciones en el mismo rango que las obtenidas para las primeras ocho laminas.

#### RESULTADOS DE LA MEDIDA DE LAS LÁMINAS DE NATSE

Como ha sido mencionado en la introducción, el laboratorio LAPP en Francia desarrollo una nueva técnica para la fabricación de las láminas fuente de la desintegración doble beta. Debido a que se ha observado una contaminación en el Mylar luego de ser irradiado, las láminas producidas con la nueva técnica llevan Mylar sin irradiar.

La primera medida de una lámina de prueba, hecha con Se natural, fue realizada entre Marzo 2015 y Marzo 2016. Se encontró una contaminación en la superficie, lo que llevo a revisar el protocolo de producción. La medida de una segunda lamina, que comenzó en Agosto2016, no mostro una contaminación en superficie, resultado logrado gracias a mejoras en el método de producción. En cuanto a la contaminación en volumen de la mezcla de **nat**Se+PVA, el análisis resulta en A(<sup>208</sup>TI) = (114 ± 67) mBq/kg y A(<sup>214</sup>Bi) < 970 mBq/kg a 90 % C.L. Una nueva medida de láminas producidas con el nuevo método con Se enriquecido ha comenzado en Diciembre 2016.



Fig. 8.2: Instalación de las láminas producidas por el LAPP en uno de los módulos de BiPo-3.

#### MEDIDA DE MICROMEGAS

Muestras de micromegas de la Universidad de Zaragoza han sido medidas con el detector BiPo-3 entre Marzo 2016 y Diciembre 2016. Las actividades de superficie que resultan de un análisis usando una parte de los datos son  $A(^{208}TI) < 50 \text{ mBq/m}^2 \text{ y } A(^{214\text{Bi}}) < 450 \text{ mBq/m}^2$ . Estos son los límites más bajos jamás obtenidos para la actividad natural en superficie de las micromegas.

Este tipo de micromegas serán utilizadas en los experimentos TREX-DM y PandaX-III.



#### BUSQUEDA DE RADIO PUREZA: CANFRANC CON KAMIOKA

Tanto los trabajos de radio pureza que estamos llevando a cabo en el LSC para la actualización del experimento Super-Kamiokande (SuperK-Gd) consistente en la disolución de una sal de Gadolinio en su agua, como el proyecto SuperK-Gd en sí, han entrado en una nueva fase caracterizada por a) la presencia de varias empresas de primera línea interesadas en nuestro proyecto; a remarcar son las japonesas Nippon Yttrium Co. Ltd., Shinetsu Chemicals y Kanto Chemicals, y la norte americana Molycorp Inc., b) la disponibilidad de las empresas para que accedamos a sus procesos de producción (dentro de unos márgenes razonables) con objeto de optimizar su producto para nuestros objetivos y su interés, desde un punto de vista ya técnico, en nuestro proyecto, y c) su conocimiento real y demostrado sobre la producción de sales de Gd radio-puras. Con objeto de mantener la confidencialidad apropiada al presente estadio del programa, denotaremos las empresas como A, B, C y D dónde el orden es aleatorio.

De forma correspondiente, estamos aumentando la precisión de nuestras medidas tal que podamos cubrir cuantitativamente la superior radio-pureza de las sales actuales. A continuación detallamos todas las medidas hechas durante el año 2016 comentando sus interrelaciones, implicaciones etc.

En la otra parte, en el Observatorio de Kamioka (donde el experimento Super-Kamiokande y SuperK-Gd están localizados), los trabajos de construcción del nuevo sistema de purificación del agua con filtración selectiva y de preparación

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

para el mantenimiento y adecuación del tanque de SK para SuperKGd, están realizándose según los plazos previstos. Aunque todavía no hay una decisión en firme el acceso al tanque, previo vaciado, se prevé para la primavera de 2018, siendo esa, en su caso, la fecha de comienzo de SuperK-Gd en la práctica.

Los resultados de SuperKGd-LSC y su impacto en el proyecto principal Gd de Super-Kamiokande, son presentados con regularidad en las conferencias principales del campo. Entre ellas, las presentadas por miembros de SuperKGd-LSC durante este año son:

- Gd doping and the impact on Super-Kamiokande and T2K; Pablo Fernández, en NNN2016, noviembre 2016, Pequín, China.
- The Super-Kamiokande Gadolinium Project; Luis Labarga, en HQL2016, mayo 2016, Blacksburg,VA, EEUU

#### ACTIVIDADES.

Durante el año 2016 se han medido las siguientes sales de Gd.

1-,2- Dos muestras de sal de Gd, de ~0.6 Kg cada una, de la empresa A. Esta empresa se presentó como productora de compuestos de tierras raras de alta pureza y la muestras enviadas se consideraron como un primer contacto. Una de ellas era  $Gd_2(SO4)_3$  [GSF-1512-A-151202] y fue medida con el detector geOroel, la otra era  $Gd_2O_3$  [GOX-1512-A-130950] y fue medida con geAspe. Aún con la limitada estadística,

pudimos concluir un carácter notablemente limpio en las dos muestras (columnas 5 y 6 en la Tabla 1).

3- Una  $3^{a}$  muestra de la empresa A con 1.44 Kg de Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [GOX-1602-A-1] fue medida con el detector geAspe. La muestra era del mismo lote que la anterior [GOX-1512-A-130950] pero cogida previamente a cualquier procedimiento de limpieza. Se midió una contaminación muy grande, siendo remarcable el enorme desequilibrio secular de la cadena del <sup>238</sup>U y la presencia de una cantidad también muy grande de la parte baja de la cadena del <sup>235</sup>U (columna 3 en Tabla 1).

Chain	Main subchain isotope	GOX- 1602- 8-1	GDX- 1512-#- 130950	GSF- 1512-#- 151202
	238U	1221±112	< 280	< 139
238U	226Ra	29±2	<4	<2.1
232Th	228Ra	274±5	< 10	28±19
	228Th	233±4	< 9	1.8±0.9
235U	235U	50±4	<7	<2.4
	127Ac/12PTh	1813±14	<11	< 10
	40K	219 ± 11	< 11	< 14
	138La	10 ± 1	<1.7	<1.9
	176LU	78±2	<2.6	< 1.6
-	134Cs	<12	< 0.8	<0.9
	137Cs	< 1,4	< 0.8	< 0.9
	184pm*?	2		

Tabla 1: Contaminaciones radioactivas medidas en las muestras obtenidas mediante el procedimiento 1 por la empresa A.

4-, 5-, 6-Tres muestras de Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de la empresa B: [GOX-1603-B-237] medida en el detector geAspe, [GOX-1603-B-239] en geLatuca, y [GOX-1603-B-236] en geOroel. Estaban muy limpias, siendo posiblemente las más limpias medidas por SuperKGd-Isc hasta ese momento. En su contra se encontró dos nuevas líneas de fotones que consideramos son consistentes con provenir de la desintegración del isótopo <sup>148</sup>Pm\* (vida media de 41 días) que habría sido producido cosmogónicamente. Aunque no hemos llegado todavía a una conclusión en firme, creemos que este tipo de contaminación no es relevante para el experimento (columnas 3, 4 y 5 en Tabla 2).

Chain	Main subchain holope	5604- 2602 8-221	10000- 1001- 1001-	000- 2002- 8-316	65F- 1604 8-1	654- 1604- 8-1	605- 1522;
Canal S	2360	- 88	+ 130	-38	4.190	+28-	411
0	2Mga	+13	= 10	+14	+12	+58	.+23
	INRa-	411	128	+14	+25	+17	+11
HTD.	zuth	+25	113	108	+25	*****	+0.4
land 0	un	=16	11488	+18	40.8	+31	+68
mu	PAPTE	- (42	43	12	+18	+6.1	418
	- ex	. +46	+13	.434	433	+21	418
	-10010	+48	+07	+ 6.7	+05	+15	+83
	1 <sup>10</sup> Lu		+07	4.14	12103	24+23	24401
	1HCs	+0.24	- 484	+0,23	+124	4236	+0.09
	HTCs.	- (63	10.34	+0.30	.<03	+834	10.16
	10/Pm*7	03+01	03867	+0.35	114	1.4	UNIT.

Tabla 2: Contaminaciones radioactivas medidas en las muestras obtenidas mediante el procedimiento 1 y 1+ por la empresa B.

7- Una muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  de la empresa A [GSF-1604-A-160311] con el detector Asteria (columna 3 de Tabla 3).

8- Una muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  de la empresa A [GSF-1604-A-160303] con el detector Obelix. La muestra había sido procesada a partir de la misma muestra de  $Gd_2O_3$  de donde se obtuvo [GOX-1604-A-160353] que fue medida más tarde (ver punto 9). Esa muestra se convirtió en la más pura medida hasta ese momento por SuperKGd-Isc (última columna de la Tabla 3).

9- La muestra mencionada de  $Gd_2O_3$  de la empresa A, GOX-1604-A-160353 medida con el detector Asterix (columna 4 en Tabla 3).

10- Otra muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  de la empresa A [GSF-1604-A-160311]. Su origen es el mismo material bruto que el de [GOX-1604-A-160353] y [GSF-1604-A-160303], siendo sometida a un proceso de producción diferente a la última.

11-, 12- Una muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  de la empresa B [GSF-1604-B-001] fue medida en una primera iteración con el detector geLatuca.

Esta muestra fue producida a partir de un  $Gd_2O_3$  del mismo lote que la muestra [GOX-1603-B-236] medida previamente. El lote de [GSF-1604-B-001] era el producto final de un proceso del que se esperaba alta pureza. Como la precisión obtenida resulto insuficiente, repetimos la medida con el detector Obelix. Los resultados de ambas medidas, y los de su sal madre de  $Gd_2O_3$  están mostrados en las columnas 6,7 y 5, respectivamente, de la Tabla 2.

13- Una muestra de  $Gd_2(SO_4)_3$  de un nuevo lote de producción de la empresa B. Para él, se usó un  $H_2SO_4$  de mayor radio-pureza en el último paso de la producción en un nuevo intento de reducir incluso más las ya mínimas impurezas previamente obtenidas (última columna en Tabla 2). Esta muestra es la más radio pura dentro de todo el proyecto SuperkGd-lsc medida hasta la fecha.

Chain	Main subchain isotope	GSF- 1604-4- 160311	00X- 1604-8- 160353	GSF- 1804-8- 160303
238U	238U	< 50	<21	< 20
	226Ra	<0.7	× 1.0	*0.64
232Th	228Ra	3.2 ± 1.0	8217	+0.67
	228Th	<1A	15±.5	512
235U	235U	<12	< 0.9	<0.7
	=Acienta	.441	<3.0	<23
	40K	<27	<47	<1.6
	130La	<0.2	0.4±0.1	<0.3
	176LU	< 0.7	8.1 ± 0.5	<6.4
	134Cs	<0.2	<02	1.0>
	137Cs	<02	< 0.3	<0.1
	and the second se		the second se	

Tabla 3: Contaminaciones radioactivas medidas en las muestras obtenidas mediante los procedimientos 2.1 y 2.2 por la empresa A.

En lo que respecta al impacto esperado de contaminaciones como las medidas en el programa de física de SuperK-Gd, nuestra estimación es que, básicamente, no afectará a medidas clave tales como Neutrinos Reliquia de Supernova y Aviso Temprano de Supernova de candidatos pre-Supernova. Por el contrario, sí que pondrían en peligro la fantástica sensibilidad actual de Super-Kamiokande a neutrinos solares de baja energía (energía cinética de 3.5 MeV del electrón de retroceso), debido a los electrones y fotones producidos en las desintegraciones  $\beta$  de los isótopos hijos del Ra, principalmente <sup>208</sup>Th y, en menor medida, <sup>214</sup>Bi. Necesitaríamos todavía una disminución de la contaminación de Ra en un factor entre 5 y 10 para mantener la capacidad actual de SK al respecto. Es importante resaltar, en cualquier caso, que durante el presente año las radio purezas han sido mejoradas por más de un orden de magnitud.

Desde un punto de vista más comercial y con vistas a la producción en masa, se están iniciando discusiones y negociaciones con las empresas mencionadas para determinar el conjunto de requerimientos de baja radioactividad, reproducibilidad, logística de entrega, precio etc. a ser incluidas en el obligatorio proceso de concurso público para el contrato principal.

El plan actual de preparación de SuperK-Gd se encuentra todavía en negociación con la Colaboración T2K. El escenario más probable implica que la actividad mayor ocurra en el periodo 2018 - 2019. Al menos una muestra de cada uno de los lotes de producción (típicamente 500 Kg) de la producción total de  $Gd_2(SO_4)_3$  (100 ton) ha de analizarse con detalle. SuperK-Gd-lsc medirá una parte importante de ellas (o incluso todas en caso de no obtener ayuda de otros laboratorios). Dentro de la todavía gran incertidumbre en los tiempos del proyecto, lo más probable es un aumento continuo de actividad durante 2017 que dure otros dos años. Las peticiones concretas al LSC de soporte a SuperK-Gdlsc dependerán mucho en la materialización de los detalles de producción y entrega de la producción en masa.



#### **GEOFISICA BAJO TIERRA**

#### **COMPONENTE SÍSMICA**

Durante los primeros meses de 2016 se detectaron anomalías intermitentes en la señal sísmica del sensor de banda ancha. Después de consultar con el fabricante del instrumento, los problemas se relacionaron con el cable que conecta el sismómetro con el equipo de registro. Se adquirió un nuevo cable que fue instalado el 4 de Abril. Lamentablemente, el nuevo cable no permitió resolver el problema, por lo que decidimos desinstalar el instrumento y enviarlo al fabricante (Nanometrics Inc.) para su revisión. Para asegurar la continuidad del registro de datos durante la reparación., el ICT|A-CSIC ha cedido temporalmente el uso de uno de sus sismómetros Trillium I 20, que se puso en marcha el 7 de Septiembre.



Fig. 10.1: Registro en los seis canales sísmicos de Geodyn del seísmo del 25/42016 con epicentro cerca de Lacq (ML 4.0), seguido de una de sus réplicas (ML 1.5),. Las líneas superiores corresponden a las tres componentes del acelerómetro y las inferiores a los del equipo de banda ancha.

El seísmo local más destacado durante el año 2016 ha sido un terremoto de magnitud 4.0 (catálogo Renass) con epicentro en la zona de Lacq el 25 de Abril. Este evento sísmico está probablemente relacionado con la extracción de gas en la cuenca de Aquitania.

A escala regional, cabe destacar dos episodios sísmicos. Por un lado, la serie sísmica en la zona meridional del Mar de Alborán desencadenada por un terremoto de magnitud 6.3 Mw ocurrido el 25 de Enero. Por otro lado, la crisis de la zona central de Italia, que incluyó un terremoto de 6.2 Mw el 24 de agosto, otro evento de 6.1 Mw el 26 de Octubre y un terremoto de 6.6 Mw cuatro días después. Los principales seísmos de ambas crisis y muchas de sus réplicas han sido registrados en Geodyn.



Fig. 10.2: Registro continuo (helicorder) de los eventos en la zona central de Italia. Cada línea corresponde a 30 minutos de datos. La figura comprende 5 días de registro.

Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) 10

Respecto a la actividad telesísmica, el USGS ha catalogado durante este año unos 20 eventos con magnitud superior a 6.5, tres de ellos por encima de 7, todos registrados en los equipos Geodyn. Cabe destacar el terremoto de Nueva Zelanda (13/11/2016), de magnitud 7.8 Mw, que generó importantes modificaciones en el paisaje y tuvo una amplia difusión en los medios de comunicación.

Un hito relevante durante este periodo ha sido la publicación de un artículo científico que ilustra los diferentes procesos que se pueden observar en los registros sísmicos Geodyn, desde las mareas terrestres hasta los terremotos lejanos y locales, las señales microsísmicas, el ruido antropogénico o las señales de origen hidrológico. Este artículo ha sido publicado en la revista Earth-Science Reviews, que goza de un factor de impacto de 6.991 y se sitúa en el puesto número 5 de 184 en la categoría "Geosciences, Multidisciplinary" del JCR-2015. [Díaz, J. On the origin of the signals observed across the seismic spectrum. Earth-Science Reviews, 161, 224-232, doi: 10.1016/j.earscirev.2016.07.006 (2016)]

#### COMPONENTE DE DEFORMACIÓN

Los dos interferómetros láser que fueron enviados a la empresa fabricante (MicroGLacoste) en julio de 2015 para tareas de mantenimiento regresaron al Geodyn durante el mes de Marzo de 2016. Siguiendo el plan previsto, los interferómetros se reinstalaron y realinearon durante el mes de Junio. Adicionalmente, el ajuste mecánico de los "remote cat's eyes" se modificó para mejorar su estabilidad.

Lamentablemente. han surgido nuevos problemas con uno de los dos láseres y con ambos sistemas de adquisición de datos. Por lo que respecta al láser, retornó del fabricante (MicroGLacoste, USA) con un circuito de termostato defectuoso. Este termostato es imprescindible para la correcta estabilización



Figura 10.3: Modificación mecánica del ajuste de los "remote cat's eyes"

de la frecuencia del láser. Con el fin de ahorrar tiempo y dinero, el equipo responsable de los interferómetros sustituyó por sí mismo el chip defectuoso. Sin embargo, el chip se averió de nuevo poco después de la partida del equipo de trabajo y no fue posible su reparación hasta el mes de Noviembre. En cuanto a la adquisición de datos, uno de los dos PCs fue sustituido antes de la visita de mantenimiento del mes de Junio, pero ha sido imposible conseguir que la tarjeta de adquisición de National Instruments funcione con el nuevo PC. Hemos tratado de resolver el problema por nosotros mismos contactando con el fabricante de dicha tarjeta, el cual, después de mucho tiempo y varias pruebas, llegó a la conclusión de que

nuestras tarjetas no son compatibles con las nuevos ordenadores. Por último, el sistema de adquisición del segundo interferómetro dejó de funcionar a finales de Agosto. A la vista de esta problemática, y teniendo en cuenta que un PC standard no es la mejor elección para un entorno polvoriento, se decidió reemplazar los dos sistemas de adquisición utilizando PC de tipo industrial (sin ventiladores) y nuevas tarjetas de adquisición de datos.

Desde un punto de vista científico, durante este período hemos completado el análisis de los datos de deformaciones registradas en las bandas de marea. Gracias a la excelente relación señal / ruido, se han podido estudiar las mareas oceánicas no lineales y las mareas menores en el Golfo de Vizcaya mediante el análisis de las mareas de deformación por carga (load strain tides). Esto ha dado lugar a la publicación de un nuevo artículo en una revista geofísica de primer nivel (A. Amoruso and L. Crescentini, Nonlinear and minor ocean tides in the Bay of Biscay from the strain tides observed by two geodetic laser strainmeters at Canfranc (Spain), J. Geophys. Res.: Oceans).

#### **GNSS COMPONENT**

Giorgi Khazaradze, profesor de la Universitat de Barcelona (UB) ha venido ocupándose de la descarga de las dos estaciones CGPS instaladas en Fuerte de Rapitán (Jaca) y Candanchú. Esta descarga se efectúa con periodicidad semanal y los datos diarios, adquiridos con un muestreo de 2 muestras por minuto, se procesan para obtener la posición diaria de cada estación.

Las dos estaciones presentan un nivel satisfactorio de dispersión día a día, dentro de

los valores admitidos por el WRMS. Se estima que con 1.5 años de observación se podrán resolver deformaciones por debajo de 1 mm/ año. Debido a un problema en el modem, la estación CAND dejó de estar accesible, con lo que se perdieron 4 meses de datos. Esta falta de datos no se estima crucial para el análisis de la deformación a largo plazo de los Pirineos. Afortunadamente, durante este periodo no se produjo ningún terremoto importante en la vecindad de CAND, con lo que se minimizó la pérdida de datos de interés científico. Por lo que respecta a la estación RAPI, los datos se han ido recuperando sin ninguna interrupción.

Durante la segunda mitad de 2016 se han equipado los dos receptores con memorias USB suplementarias de 8 Gb, lo que ha hecho posible la adquisición de datos a 1 Hz. Esto permitirá comparar de manera directa los registros de GPS con los datos registrados por la componente sísmica de GEODYN.



Fig. 10.4: Serie temporal de los residuos de posición en la estación CAND para las componentes N-S, E-W y vertical, junto con sus incertidumbres 1<sup>°</sup> en el marco de referencia ITRF2008. Las figures incluyen el periodo 1/22015 to 1/32016.



#### ASTROFÍSICA NUCLEAR BAJO TIERRA

El experimento CUNA está orientado a la medida experimental de secciones eficaces de reacción con un impacto significativo en astrofísica nuclear. Las reacciones de captura de neutrones son responsables de la producción de la mayoría de los elementos en el Universo, a partir de los elementos fundamentales formados en el Big Bang y en otros procesos nucleares más complejos que ocurren en las estrellas. Se cree que el proceso lento de captura de neutrones (el proceso s) produce aproximadamente la mitad de los isótopos más pesados que el hierro y que tiene lugar en estrellas gigantes rojas en la rama asintótica de las gigantes (la componente principal) y en las estrellas masivas (la componente débil). Para que el proceso pueda desarrollarse se requiere una fuente estelar de neutrones y el escenario más probable es la producción mediante las reacciones  ${}^{22}Ne(\alpha,n){}^{25}Mg$  y  ${}^{13}C(\alpha,n){}^{16}O$ , dependiendo de las particularidades del proceso s específico.

Por eso estas tasas de reacción deben conocerse con precisión a las temperaturas a las que tienen lugar las reacciones, que vienen dadas por las energías cinéticas de los núcleos atómicos en las estrellas (el pico de Gamow) y resultan ser demasiado pequeñas para poderlas medir en los laboratorios en superficie, debido al fondo debido a la interacción de los rayos cósmicos. Por tanto medidas experimentales en un laboratorio subterráneo con un fondo muy reducido son absolutamente necesarias. El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) proporciona el entorno de bajo fondo necesario y permite realizar mediciones a energías muy bajas, donde las tasas de reacción serían del orden de I evento por hora o incluso menores. La carta de intenciones "A Nuclear Astrophysics facility for LSC: The sources of neutrons in the stars and other reactions of astrophysical interest" propone la instalación de un laboratorio subterráneo de astrofísica nuclear en el LSC siendo el elemento fundamental un acelerador de última generación de baja energía y alta corriente.

En los últimos años, la colaboración de la CUNA ha abordado diversas tareas necesarias para la implementación de la instalación. Entre otras cabe enumerar la simulación de los requisitos de blindaje, la caracterización del fondo de neutrones y del espectro de neutrones en el LSC y en otros laboratorios, estudios de sensibilidad del sistema experimental para las reacciones propuestas, la comparación del fondo gamma entre varios laboratorios subterráneos y la caracterización de sistemas de detección realistas (con especial énfasis en la detección de neutrones).

En 2016 tuvo lugar del 29 de febrero al 1 de marzo en la sede de LSC en Canfranc Estación un congreso internacional sobre astrofísica nuclear en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc. El congreso es la secuela del primer congreso organizado en 2012 en el mismo lugar, y de la reunión exploratoria que tuvo lugar en Barcelona en 2009. El objetivo fue discutir la viabilidad de la instalación, la física y la implementación del proyecto CUNA en el LSC en el contexto de instalaciones existentes y planificadas a escala internacional. La idea era preparar una eventual propuesta al Comité Científico del LSC, incluyendo la propuesta y sus objetivos científicos, las infraestructuras necesarias, el acelerador con sus líneas de haz y la instrumentación necesaria.

La conclusión principal de la reunión fue que existen motivos muy convincentes para la investigación en una instalación subterránea, como ilustraron varios oradores, y con un muy alto impacto como refleja el éxito del acelerador LUNA 400 kV existente en Gran Sasso. La comunidad europea de astrofísica nuclear apoya la instalación en Europa de al menos un nuevo acelerador subterráneo con energías de MV. Dado el tiempo necesario para la medida de una sola reacción, así como el número de reacciones para las que todavía no hay datos a las energías relevantes, la construcción de otra instalación sería altamente beneficiosa. En la actualidad el proyecto LUNA-MV en Gran Sasso ha sido financiado y se completará en pocos años.

40

Durante el congreso se puso de manifiesto que un acelerador de alta corriente y totalmente equipado instalado en el LSC es el elemento fundamental para poder medir las reacciones propuestas y asegurar el éxito del proyecto. Durante los últimos años, y en particular en 2016, se ha dedicado un gran esfuerzo a explorar posibles opciones para la dotación de un acelerador adecuado, incluyendo también máquinas usadas, sin éxito hasta la fecha. Además, la continuación del proyecto requiere una colaboración comprometida y una estructura organizativa que pueda hacer frente a las necesidades científicas y prácticas de la propuesta CUNA. Hay que mencionar que una red europea fortalecería la comunidad de investigadores interesados en la astrofísica nuclear subterránea. En definitiva, existe una excelente oportunidad para instalar un laboratorio subterráneo de astrofísica nuclear en el LSC, complementario a otros proyectos y muy competitivo, que está todavía por explotar.



#### **VIDA EN AMBIENTES EXTREMOS**

El tunel de Somport atraviesa diferentes tipos de roca sedimentarias formadas por acumulación de sedimentos durante el Mesozoico y Cenozoico (ver Fig. 12.1). 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.



Fig. 12.1: Morfología de las rocas alrededor del túnel ferroviario de Canfranc

GOLLUM propone realizar la caracterización detallada de las comunidades bacterianas residentes en varios tipos de roca a diferentes profundidades gracias a la secuenciación másiva de los genomas de las poblaciocens presentes en las rocas (secuenciación metagenómica). Se han tomado muestras en diferentes profundidades y tipos de roca a lo largo del tunel con perforaciones de más un metro de profundidad, en la pared lateral a un metro de altura, para minimizar la contaminación externa. Se han desarrollando métodos de extracción de acido desoxirribonucleico (ADN) adaptados al escaso material genético presente en la muestra, con severos controles de contaminación. Las recientes avances tecnológicos en secuenciación masiva de nueva generación nos están permitiendo identificar multitud de géneros de los dominios bacteria y archaea en las muestras de roca analizadas, géneros que no son cultivables con las técnicas actuales. El éxito del desarrollo tecnológico en metagenómica se debe a que viene acompañado de 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.

La colaboración GOLLUM ha realizado perforaciones en 14 posiciones distribuidas a lo largo del túnel en Mayo de 2016, en las condiciones de esterilidad necesarias para la extracción de ADN (ver Fig. 12.2) y la caracterización genómica de muestras con bajos niveles de ADN. Hemos desarrollado técnicas de preparación de polvo de roca para obtener muestras con tamaños de grano entre 10 y 100 micras y protocolos de extracción de pequeñas cantidades de ADN en muestras carbonatadas (con sensibilidad a una parte en diez mil millones en gramos de ADN por gramo de muestra). La secuenciación genómica del ADN extraído se realiza en los laboratorios de Sistemas Genómicos. La visualización del contenido en argueas de una de las muestras analizadas en nuestro laboratorio se presenta en la figura adjunta. La versión interactiva de la clasificación taxonómica se puede encontrar en http://som1.ific.uv.es/krona/gollum.2B2.V4\_coff5. mothur\_summary.html En la figura 12.3 se muestra que el 6% del DNA observado corresponde a géneros de arqueas no identificados en la base de datos, cuyos taxones más próximos se han identificado en fondos marinos.



Fig. 12.3: Contenido de ADN.

Los estudios de la química de las rocas analizadas utilizando, entre otras técnicas, fluorescencia de rayos X, indican una correlación entre el contenido biológico en arqueas y la presencia de Molibdeno(Mo), metal identificado en proteínas asociadas a la producción de metano. La figura 12.4 indica la variabilidad de metales entre muestras con identificación positiva (espectro verde) y negativa de ADN (espectro rojo), en particular se identifica la presencia/ ausencia de Mo.



Fig. 12.2: Testigo fraccionado para la preparación de muestras

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. La presencia de ADN nativo es un éxito del experimento y abre la posibilidad de múltiples cuestiones, comenzando por cuestionar si corresponde a ADN reliquia o por el contrario hay arqueas vivas en la roca. El proyecto está analizando una compleja matriz de datos con consecuencias importantes en cuestiones fundamentales (origen de la vida, astrobiología) y aplicadas (bio-prospección, descubrimiento de nuevas especies con propiedades útiles).



Fig. 12.4: Variabilidad de metales entre muestras con identificación positiva y negativa de ADN

## PUBLICACIONES

#### Canfranc Underground Laboratory

A. lanni, J.Phys.Conf.Ser. 718 (2016) no.4, 042030

The Canfranc Underground Laboratory: a multidisciplinary underground facility,

A. lanni, J.Phys.Conf.Ser. 675 (2016) no. 1, 012002

# Assessment of backgrounds of the ANAIS experiment for dark matter direct detection,

J. Amaré et al. Eur. Phys. Journal C 76 (2016) 1-15

## The ANAIS Dark Matter Project: Status and Prospects

J. Amaré et al. Proceedings of the 14th Marcel Grossmann Meeting, July 2015, Rome, Italy to be published by World Scientific.

#### ANAIS: Status and Prospects

J. Amaré et al. EPJ Web of Conferences 121 (2016) 06008 Contributed to the 5th Roma International Conference on Astroparticle Physics, RICAP 2014; Oct 2014; Noto; Italy

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

J. Amaré et al. Journal of Physics: Conference Series 718 (2016) 4 – 042052 Contributed to the TAUP2015 Conference, Torino, Italy, September 2015.

#### ANAIS: Status and Prospects

J. Amaré et al.Nuclear and Particle Physics Proceedings 273-275 (2016) 2366-2368.

## Sensitivity of NEXT-100 to neutrinoless double beta decay

The NEXT Collaboration (J. Martín-Albo et al.), , JHEP 1605 (2016) 159.

#### First proof of topological signature in the high pressure xenon gas TPC with electroluminescence amplification for the NEXT experiment

The NEXT Collaboration (P. Ferrario et al.), JHEP 1601 (2016) 104.

#### A programmable, multichannel power supply for SIPMS with temperature compensation loop and Ethernet interface

M. Querol et al., iWoRID 2016, July 3rd to 7th, 2016, Barcelona (Spain), 2016 JINST 11 C12035.

## The origin of the signals observed across the seismic spectru

J. Díaz, Earth-Science Reviews, 161, 224-232, doi: 10.1016/j.earscirev.2016.07.006 (2016)

Nonlinear and minor ocean tides in the Bay of Biscay from the strain tides observed by two geodetic laser strainmeters at Canfranc (Spain),

A. Amoruso and L. Crescentini. J. Geophys. Res. Oceans, 121, 7, 4873–4887.

# Measurement of the attenuation length of argon scintillation light in the ArDM LArTPC,

ArDM Collaboration, J. Calvo et al., arXiv:1611.02481 [astro-ph.IM].

#### TESIS

#### Background evaluation of the ANAIS dark matter experiment in different configurations: towards a final design

Patricia Villar Gómez, Universidad de Zaragoza, 2016.

#### Design, scale-up and characterization of the data acquisition system for the ANAIS dark matter experiment

Miguel Ángel Oliván Monge, Universidad de Zaragoza, 2016.

A lo largo del 2016 los usuarios del LSC han realizado 15 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

Maite Gálvez Jaqués, Directora General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad

Fernando Beltrán Blázquez, Secretaría General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad

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

Maite Gálvez Jaqués, Directora General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad

Fernando Beltrán Blázquez, Secretaría General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad Luis Miguel García Vinuesa, Vicerrector de Política Científica

Eduardo García Abancéns, Investigador Universidad de Zaragoza (GIFNA)

#### **Comités Asesores**

#### **Comité Científico Asesor**

David Sinclair (Presidente) - Carleton University (Canada)

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

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)

Hasta Julio 2016:

Concha González-García – Univ. de Barcelona (Spain); State University of Stonybrook (New York)

Ariella Cattai - CERN, Geneva (Switzerland)

<u>A partir de Noviembre 2016:</u>

Mark Chen - Queen's University, Ontario (Canada)

Eligio Lisi - INFN, Bari (Italy)

Paola Tropea - CERN, Geneva (Switzerland)





El LSC agradece al Ministerio de Economía, Industria 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.









MINISTERIO DE ECONOMIA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD



