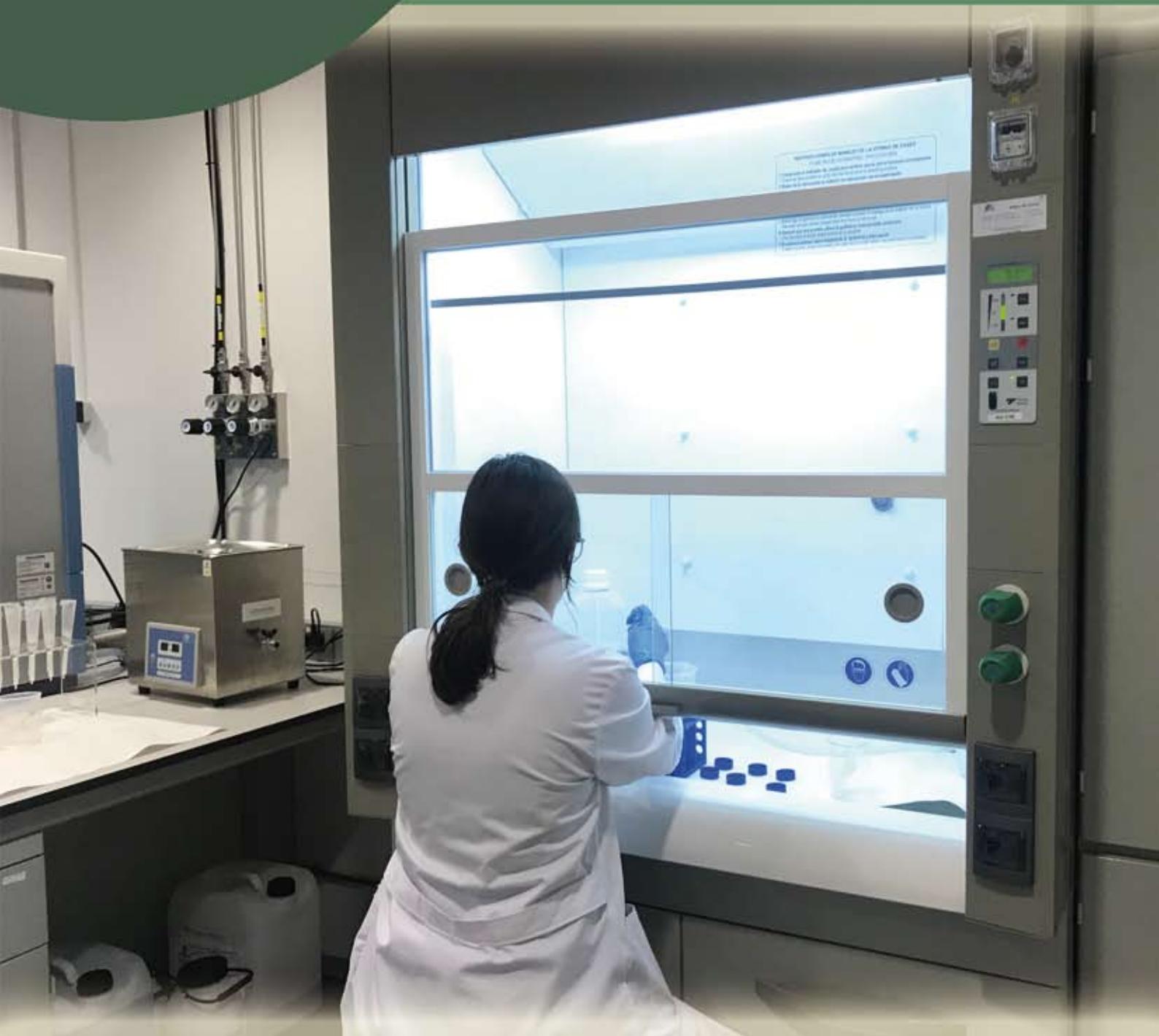


2021 annual report

Blossoming



LSC

Laboratorio Subterráneo de Canfranc

BLOSSOMING

promising or healthy development / coming into one's own
desarrollo prometedor o saludable / convirtiéndose en lo que se es

After several years of intense works and actions taken by the LSC staff, LSC holders and the collaborators with experiments placed underground, we are proud to surpass our record on hosted experiments and EoI, personnel on site, institutions with hosted experiments and budget.

Tras varios años de intensos trabajos y medidas tomadas por el personal y gestores del LSC y por los colaboradores de los experimentos, nos enorgullecemos de superar este año nuestra marca en experimentos y EoI aprobados, personal residente, instituciones y presupuesto.

CONTENTS

Director's Statement.....	5	Presentación del Director.....	5
Introduction	7	Introducción	7
Report on LSC Activities 2021	14	Actividad del LSC 2021	14
Newsletters 2021	16	Newsletters 2021	16
Events 2021	17	Eventos 2021	27
LSC in numbers.....	20	Estadísticas del LSC	20
ANALIS	23	ANALIS	23
BabyIAXO-DI	27	BabyIAXO-DI	27
CROSS	29	CROSS	29
DArT in ArDM.....	30	DArT en ArDM	30
GEODYN.....	32	GEODYN.....	32
JASC	33	JASC	33
NEXT	34	NEXT	34
SUPERKGd.....	38	SUPERKGd.....	38
TREX-DM	39	TREX-DM	39
EoI-21-2018.....	41	EoI-21-2018.....	41
EoI-24-2020.....	42	EoI-24-2020.....	42
EoI-26-2020.....	43	EoI-26-2020.....	43
EoI-27-2020.....	44	EoI-27-2020.....	44
2021 PROPOSALS.....	45	PROPUESTAS 2021	45
Publications.....	48	Publicaciones	48
Governing Bodies.....	50	Órganos de Gobierno	50
Advisory Committees.....	50	Comités Asesores	50
Acknowledgements	51	Agradecimientos	51

EDITING

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

COVER PHOTO:

Pablo Gómez Burgio

ÍNDICE

Presentación del Director.....	5
Introducción	7
Actividad del LSC 2021	14
Newsletters 2021	16
Eventos 2021	27
Estadísticas del LSC	20
ANALIS	23
BabyIAXO-DI	27
CROSS	29
DArT en ArDM	30
GEODYN.....	32
JASC	33
NEXT	34
SUPERKGd.....	38
TREX-DM	39
EoI-21-2018.....	41
EoI-24-2020.....	42
EoI-26-2020.....	43
EoI-27-2020.....	44
PROPUESTAS 2021	45
Publicaciones	48
Órganos de Gobierno	50
Comités Asesores	50
Agradecimientos	51

EDICIÓN

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

FOTO DE PORTADA

Pablo Gómez Burgio



Director's Statement

The LSC (Laboratorio Subterráneo de Canfranc), second largest deep underground scientific laboratory in Europe, is run by a Consortium between the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragon and the University of Zaragoza. The LSC is part of the Spanish network of ICTS (Unique Scientific and Technological Facilities). The LSC offers to researchers from all over the world the opportunity to carry out cutting-edge science on fundamental physics, astrophysics as well as geophysics, biology and, environmental science in its facilities of unique characteristics. In fact, at the LSC the underground facilities, shielded from the natural cosmic rays' radiation, open the possibility to discover phenomena happening very rarely.

2021 has turned out to be very successful year in terms of the LSC plans. The Consortium has approved a 10-year budget agreement, which provides long-term stability to the LSC program. The dark matter experiment ANAIS has presented world-renowned scientific results: it does not observe annual modulation signal in sodium iodide crystals, disproving (at more than 99.73% CL) the results of the dark matter experiment DAMA/LIBRA. On the other hand, NEXT-collaboration has measured the double beta decay of Xenon-136, showing very good energy resolution and track reconstruction, the components of the 100 kg detector are on schedule to build NEXT-100 in 2022 and the ton-scale detector was proposed.

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 Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza. El LSC pertenece a la red nacional de las Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares (ICTS). El LSC ofrece a investigadores de todo el mundo la oportunidad de desarrollar ciencia de frontera en materia de física fundamental y astrofísica, además de geología, biología y ciencias medioambientales, en su ubicación de características únicas. Las instalaciones subterráneas del LSC, aisladas de la radiación cósmica natural, abren la posibilidad de descubrir sucesos que ocurren en una probabilidad muy baja.

Los planes de futuro del LSC han ido por muy buen camino en el 2021. El Consorcio ha aprobado el acuerdo de financiación para los próximos diez años, lo que proporciona una gran estabilidad para desarrollar el programa científico y técnico del LSC. El experimento de materia oscura ANAIS ha presentado sus resultados, mundialmente reconocidos: no observa modulación anual en cristales de yoduro de sodio, refutando DAMA/LIBRA (al 99.73% CL). Por otra parte, la colaboración NEXT ha medido la desintegración doble beta del Xenón-136, con muy buena resolución energética y reconstrucción de trazas, la construcción de las componentes del detector

This success comes together with progress on other experiments and EoI. There was an increase of activities at the underground lab, doubling the number of experiments and EoIs, personnel on-site and budget. LSC is actively working on improving the low radioactivity techniques, required to match the more demanding sensitivities to radioactivity of the future larger detectors to be built in this decade.

Eight new EoI were presented to the Scientific Committee in 2021, showing a continuous growth of activities in the lab, and work on LSC facilities is progressing: radon emanation detector, RITA project, co-financed with ERDF funds - Ref EQC2019-006613-P, EFCu underground and a new ultra-low background detector based on single molecule fluorescence imaging.

All the work and experience gathered, has helped to shape the LSC future strategy. The commitment of the lab to host a world leading double beta decay experiment, NEXT-HD; the role, as a hub of the Spanish community, to support and coordinate the contributions to build Hyper-Kamiokande in Japan and the creation of new research areas in cell biology and cryogenics underground show that we are ready for the next decade.

The aim of the LSC is to contribute to cutting edge scientific and technological knowledge by providing international access to a unique research infrastructure. We are eager to welcome both new scientific proposals, which could be hosted in the underground space and new requests for the LSC services. The LSC International Scientific Advisory Committee will study the scientific proposals received, giving its advice to the director based only on scientific and technological excellence.

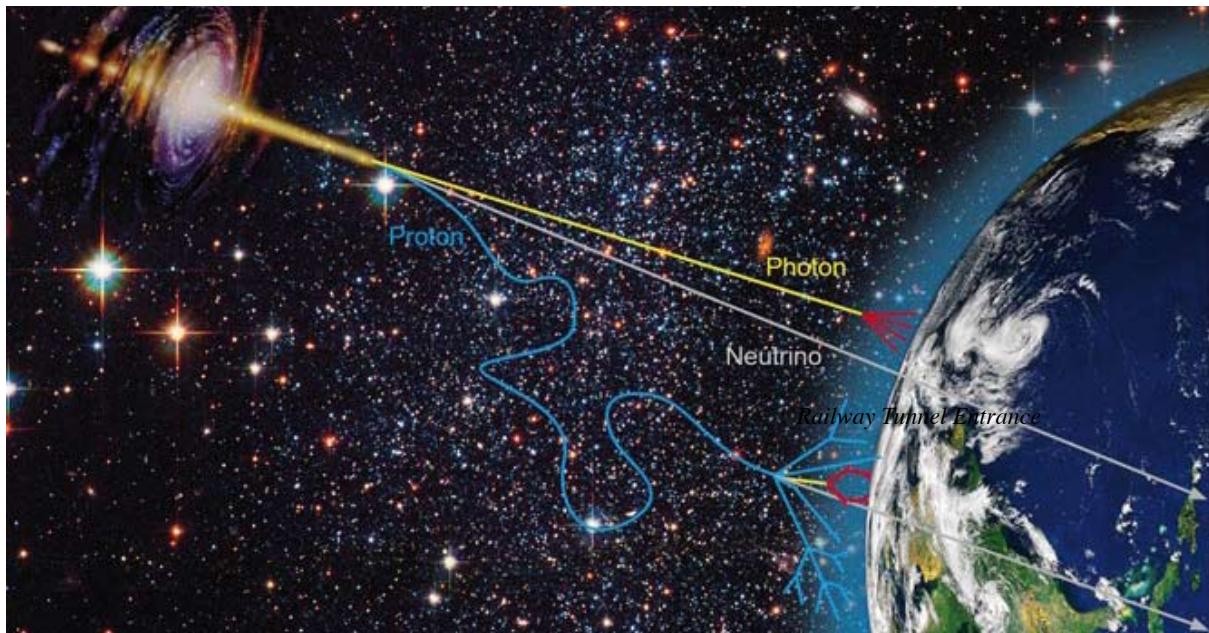
de 100 kg sigue el plan y se ha propuesto el detector en la escala de la tonelada. Este éxito se une a los avances de otros experimentos y EoIs. Ha habido un gran aumento de la actividad, residentes y presupuesto. El LSC está trabajando muy activamente para mejorar las técnicas de baja radioactividad, necesarias para acomodar los niveles de sensibilidad necesarios para los grandes detectores a construir en esta década.

En 2021 se presentaron ocho nuevas EoI al Comité Científico, lo que demuestra un crecimiento continuo del laboratorio, y se continuaron mejorando las instalaciones: detector de emanación de radón, proyecto RITA, cofinanciado con fondos FEDER - Ref EQC2019-006613-P, EFCu en el subterráneo, detector de ultra-bajo fondo basado en imagen por fluorescencia de molécula única.

Todo el trabajo y la experiencia acumulada contribuyen a configurar la estrategia. El compromiso de alojar un experimento de desintegración beta doble de vanguardia, NEXT-HD; el papel, de coordinar las contribuciones para construir Hyper- Kamiokande en Japón y la creación de nuevas áreas de investigación en biología celular y criogenia subterránea muestran que estamos preparados para la próxima década.

El objetivo es aportar conocimiento en ciencia y tecnología de vanguardia y proporcionar acceso a una infraestructura única en investigación e innovación. Acogemos nuevas propuestas científicas, que pueden ser ubicadas en el espacio subterráneo, y solicitudes para el uso de los servicios disponibles. El Comité Científico Internacional Asesor del LSC estudiará las propuestas científicas, aconsejando sobre ellas al director y basándose únicamente en la excelencia científica y técnica.





Astroparticle Physics

Introduction

The Canfranc Underground Laboratory (LSC) is a first class deep underground laboratory designed for research in neutrino physics, dark matter and other unusual phenomena in nature that require very low environmental radioactivity to be observed. The location of the LSC at 800 meters below ground is excavated between the Somport road tunnel and the old railway tunnel, about 8 km on the Spain-France border. Today, LSC is the second largest deep-sea laboratory in Europe, in close collaboration with the most important underground laboratories in the international context: LNGS (Italy), SNOLab (Canada) and Kamioka (Japan). The history of the laboratory begins in 1986, with the pioneering work in Spain of the team from the University of Zaragoza, led by Angel Morales. Today, the LSC is a unique multidisciplinary scientific and technical facility (ICTS), regulated as a consortium formed by the Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragon and the University of Zaragoza, with a surface area of 1600 m² and a volume of 10,000 m³ in the underground laboratory equipped with an outstanding number of facilities. The main underground infrastructure, called LAB2400, is divided into Hall A, the largest experimental area with 600 m², Hall B and C and service area. The rest of the annexed underground infrastructure is called LAB2500 and LAB780 respectively, according to their distance from the Spanish entrance to the railway tunnel. In

Introducción

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es un laboratorio subterráneo a gran profundidad de primer nivel diseñado para la investigación en física de neutrinos, materia oscura y otros fenómenos inusuales en la naturaleza que requieren muy baja radioactividad ambiental para ser observados. La ubicación del LSC, a 800 metros bajo tierra, está excavada entre el túnel carretero de Somport y el antiguo túnel ferroviario, de unos 8 km, en la frontera España-Francia. Actualmente, el LSC es el segundo laboratorio a gran profundidad más grande en Europa, en estrecha colaboración con los laboratorios subterráneos más importantes en el contexto internacional: LNGS (Italia), SNOLab (Canadá) y Kamioka (Japón). La historia del laboratorio comienza en 1986, con el trabajo pionero en España del equipo de la Universidad de Zaragoza, liderado por Angel Morales. Hoy, el LSC es una instalación científica y técnica singular (ICTS) multidisciplinar, regulada como consorcio formado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, con 1600 m² de superficie y un volumen de 10000 m³ en el laboratorio subterráneo equipado con un número destacado de instalaciones. La infraestructura principal subterránea, denominada LAB2400, se divide en Hall A, el área experimental de mayor superficie con 600 m², Hall B y C y área de servicios. El resto de las infraestructuras

the LSC, 22 international collaborations, with more than 260 scientists and engineers, carry out their research on the frontier between particle physics and astroparticle physics, geodynamics or biology.

Underground laboratories are dedicated to the search for extremely unusual nuclear and sub-nuclear phenomena. Such a search requires a very low radioactive background environment. The irreducible background noise is due to cosmic rays, originated by protons, and other nuclei, cosmic by hitting the nitrogen or oxygen nuclei in the upper layer of the atmosphere. The interaction of protons causes a cascade of particles, muons and neutrinos being the most penetrating of such secondary particles. The muons reach the surface of the Earth with a flow of about 2 muons/cm²/second. At a depth of 800 meters, under Mount Tobazo, the cosmic ray flux is reduced by a factor of sixty thousand, which allows the search for very unlikely processes.

Within the framework of sub-atomic physics, we have a theoretical description of the elementary particles of matter and the basic forces of Nature, called the Standard Model (SM). All its predictions have been tested with increasing accuracy on the energies that are achievable with accelerators. Underground laboratories, such as the LSC, host experiments that provide scientific information that is complementary to that obtained by accelerator

subterraneas anexas se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente, según su distancia a la boca española del túnel ferroviario. En el LSC, 22 colaboraciones nacionales e internacionales, con más de 260 científicos e ingenieros, llevan a cabo sus investigaciones en la frontera entre la física de astropartículas, la geodinámica o la biología.

Los laboratorios subterráneos se dedican a la búsqueda de fenómenos, nucleares y sub-nucleares extremadamente inusuales. Dicha búsqueda necesita un ambiente de muy bajo fondo radioactivo. El ruido de fondo irreducible es debido a los rayos cósmicos, originado por los protones, y otros núcleos, cósmicos al golpear los núcleos de nitrógeno u oxígeno en la capa alta de la atmósfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas, siendo muones y neutrinos las más penetrantes de tales partículas secundarias. Los muones alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo de unos 2 muones/cm²/segundo. A 800 metros de profundidad, bajo el Monte Tobazo, el flujo de rayos cósmicos se reduce en un factor de sesenta mil, lo que permite la búsqueda de procesos muy poco probables.

En el marco de la física subatómica, disponemos de una descripción teórica de 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



Old Railway Tunnel

Foto: ©J.larrea.com



laboratories. In fact, the first elements of physics beyond the standard model were obtained through underground experiments, such as the discovery of neutrino oscillations due to the change in taste (family) of neutrinos between production and detection due to their different masses. The science being carried out in underground laboratories is growing in interest worldwide. There is strong competition internationally with new proposals for underground infrastructure. Among them, the most relevant in the context of ultra-low radioactivity are the search for dark material, the search for double-beta disintegration and the exploration of living conditions in low radioactive background.

Only 16% of all matter in the Universe is visible, consisting of protons, neutrons (quarks up and down) and electrons in their various aggregations. The rest is called dark matter, which is needed to explain the dynamics of visible objects in the gravity fields generated by gravity on a cosmic scale. The nature of dark matter is among the major frontier issues in science today. The LSC

alcanzables con los aceleradores. Laboratorios subterráneos, como el LSC, alojan experimentos que 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 son el descubrimiento de las oscilaciones de neutrinos debidas al cambio de sabor (de familia) de los neutrinos entre producción y detección debido a sus diferentes masas. La ciencia que se está llevando a cabo en laboratorios subterráneos está creciendo en interés en todo el mundo. Existe una gran competencia a nivel internacional con nuevas propuestas de infraestructuras subterráneas. De entre ellas, las más relevantes en el contexto de ultra-baja radioactividad son la búsqueda de material oscura, la búsqueda de la desintegración doble beta y la exploración de las condiciones de vida en bajo fondo radioactivo.

Únicamente el 16% de toda la materia que existe en el Universo es visible, formada por protones, neutrones (quarks arriba y abajo) y electrones en sus variadas agregaciones. El resto se denomina materia oscura, necesaria para explicar la dinámica de los objetos visibles en los campos de gravedad generados por ésta a escala cósmica. La naturaleza de la materia oscura se encuentra entre las principales cuestiones frontera de la ciencia actual. El LSC contribuye a este esfuerzo internacional en la búsqueda directa de la interacción de la materia oscura con detectores ultrapuros. Por otro lado, en el LSC hay dos experimentos en funcionamiento





CROSS & NEXT Detectors

contributes to this international effort in the direct search for the interaction of dark matter with ultra-pure detectors. On the other hand, there are two experiments in operation at the LSC investigating the direct search for dark matter: ANAIS with NaI(Tl) scintillators, the most advanced international effort to verify the result of the Italian DAMA/LIBRA experiment; ArDM with liquid argon, the largest double-phase argon detector in dark matter searches hosting DArT detector to measure Ar-39 contamination, and TREX-DM, with argon and neon in a high pressure chamber. Moreover, DAMIC prototype, to measure the cosmogenic activation of silicon-based CCDs, and babyIAXO-D1 prototype, to measure the X-rays background of materials, are being developed at IFCA and UNIZAR/CEA respectively, to bring them underground to LSC in 2022.

Today we know that neutrinos have very little mass. A natural explanation for the tiny mass of the neutrino requires that the neutrino is a Majorana particle, which has the property of being its own

que investigan la búsqueda directa de materia oscura: ANAIS con centelleadores de NaI(Tl), el esfuerzo internacional más avanzado en verificar el resultado del experimento italiano DAMA/LIBRA; ArDM con argón líquido, el mayor detector de argón de doble fase en búsquedas de materia oscura que aloja el criostato DArT para determinar contaminaciones en Ar-39 y TREX-DM, con argón y neón en una cámara de gas a alta presión. Por otro lado, el prototipo DAMIC, para la caracterización de la activación del silicio en detectores basados en CCDs, y el prototipo babyIAXO-D1, para la caracterización de la contaminación en rayos X, se están preparando en el IFCA y en UNIZAR/CEA respectivamente, para alojarlos en el LSC en 2022.

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 el neutrino sea una partícula de Majorana, que tiene la propiedad de ser su propia antipartícula y de dar lugar a reacciones o desintegraciones que no conservan el número de leptones, con la necesaria

antiparticle and of giving rise to reactions or disintegrations that do not conserve the number of leptons, with the necessary modification of the standard model of particle physics. The observation of double beta disintegration without neutrinos would demonstrate that neutrinos are Majorana particles and that the number of leptons is not conserved, a question related to the necessary matter- antimatter asymmetry observed in the Universe and not explained in the current conceptual framework. At the LSC these research activities are being carried out through various detectors built by international collaborations. On the one hand, the NEXT-White (NEW) double beta disintegration experiment, a high pressure xenon detector based on a temporary electroluminescent projection chamber is taking data from 2018 in Hall A and has measured the double beta spectrum with neutrinos, demonstrating the expected energy resolution and trace reconstruction specifications of the two electrons. In addition, the CROSS project for the search of the double-beta decay without neutrinos with bolometers based on tellurium or molybdenum crystals is taking data in Hall B, with the aim of determining the best conditions to reduce the surface background noise of the crystals with the help of the scintillation signal. Both projects have received European funding with Advanced Grants from the ERC.



modificación del modelo estándar de física de partículas. La observación de la desintegración doble beta sin neutrinos demostraría que los neutrinos son partículas de Majorana y que el número de leptones no se conserva, cuestión relacionada con la necesaria simetría materia-antimateria observada en el Universo y no explicada en el actual marco conceptual. En el LSC estas actividades de investigación se están llevando a cabo a través de diversos detectores construidos por colaboraciones internacionales. Por un lado, el experimento de desintegración doble beta NEXT-White (NEW), un detector con xenón a alta presión basado en una cámara de proyección temporal electroluminiscente está tomando datos desde 2018 en el Hall A y ha medido el espectro doble beta con neutrinos, demostrando las especificaciones esperadas de resolución de la energía y reconstrucción de trazas de los dos electrones. Además, el proyecto CROSS para la búsqueda del decaimiento doble beta sin neutrinos con bolómetros basados en cristales de telurio o molibdeno está tomando datos en el Hall B, con el objetivo de determinar las mejores condiciones que reduzcan el ruido de fondo superficial de los cristales con ayuda de la señal de centelleo. Ambos proyectos han recibido financiación europea con sendas Advanced Grants de la ERC. La desintegración doble beta del xenón-136 en fase gas, permite explorar la posibilidad de detectar el catión de bario producido. Investigadores del DIPC, dentro de la colaboración NEXT, han dado los primeros pasos en esta dirección con el diseño, síntesis y demostración de las propiedades ópticas de una nueva molécula sensible a la captura del catión de bario. La propuesta de convertir estas investigaciones en un detector ha sido premiada con una Synergy Grant de la ERC. El LSC se ha beneficiado directamente de estas investigaciones y está construyendo el dispositivo RITA, cofinanciado con fondos FEDER - Ref EQC2019-006613-P, que pueda separar el catión de radio de muestras para poder caracterizar la muy baja radioactividad de muestras con la misma técnica. Nuevas propuestas del año 2021 son la versión futura de NEXT-100, NEXT-HD, para alojar una tonelada de Xe-136 y LiquidO, un detector de cera centelleadora opaca.

Otras áreas científicas se benefician de la ubicación única de las instalaciones subterráneas del LSC. Se han iniciado en 2020 y 2021 en el LSC. Por una parte, la expresión de interés ARQ, reducción

The LSC has benefited directly from this research and is building the RITA device, co-financed with FEDER funds - Ref EQC2019-006613-P, which can separate the radium cation from samples in order to characterise the very low radioactivity of samples with the same technique. New proposals in 2021 are the future versión of NEXT-100, NEXT-HD, to host one ton of Xe-136, and LiquidO, a detector based on opaque scintillation wax.

Other scientific areas benefit from the unique location of the LSC underground facilities. New experiments were proposed in 2020 and 2021. On one hand, ARQ, Abatement of Radioactivity in Qubits, proposes to install a cryogenic platform to characterize the impact of radiation on entanglement lifetime. Recent results show that, in some qubit designs, radiation may become the limiting factor to build future quantum computers. The cryogenic installation will also host CADEX, the Canfranc Axion Detector Experiment, a pioneering dark matter search proposal to indicate that DNA repair mechanisms are slowed down, even stopped, when we grow replicas of bacteria, human cells or even organisms (fruit flies, ...) compared to their counterparts on the surface. Cells are inefficient in reducing oxidative stress, demonstrated in the laboratory with respect to their surface replicas. The nature of this adaptation to natural radioactivity is still unknown, and the impact of the different components (muons, neutrons, electrons, gamma) remains to be explored. In an analogous way to how our detectors see the cascade of particles and radiation generated by the interaction of an ionizing particle, such energetic cascades have a major impact on the cell. How this cascade degrades the energy in the cell to the energies of chemistry and biology is still an unknown area. Five experiments were proposed in 2021, which will be exploring cellular mechanisms underground in bacteria and eukaria taxa in 2022.

The location of the underground laboratories allows for the housing of other types of detectors that benefit from seismic noise reduction. The LSC is equipped with a geophysical infrastructure, called GEODYN, which covers the entire geodynamic spectrum, from the closest seismicity, induced by the water dynamics of the mountain, to the tectonic deformations through the terrestrial tides or the nutation of the terrestrial core. This facility

de radioactividad en qubits, propone instalar una estación criogénica de medida compatible con alojar qubits para caracterizar la influencia de la radiación en la duración del entrelazamiento. Recientes investigaciones muestran que, en algunos tipos de qubits, la radiación puede convertirse en la mayor limitación que frene el progreso de las unidades fundamentales en la construcción de los ordenadores cuánticos. Esta instalación criogénica permitirá alojar CADEX, el experimento de detección de axiones en Canfranc, una pionera propuesta de búsqueda de materia oscura con masas en la banda W de radiofrecuencia. Por otra parte, en colaboración con LNGS y WIPP, el LSC está iniciando una exploración sistemática de los efectos de la baja radioactividad en la vida. El lector estará familiarizado con los estudios sobre los daños de las radiaciones ionizantes en las células y órganos, en particular en el ADN. La extrapolación hacia el límite de baja radioactividad parecería indicar a primera vista, que beneficia a la vida. Si es así, quizás le sorprenda, que la baja radioactividad no parece beneficiar los procesos vitales, adaptados a otras condiciones por miles de millones de años. Experimentos preliminares indican que los mecanismos de reparación del ADN se ralentizan, incluso se detienen, cuando cultivamos réplicas de bacterias, células humanas o incluso organismos (mosca de la fruta, ...) frente a sus homólogos en superficie. Las células no son capaces de reducir el estrés oxidativo, demostrado en el laboratorio respecto a sus réplicas en superficie. La naturaleza de esta adaptación a la radioactividad natural aún es desconocida, y el impacto de las diferentes componentes (muones, neutrones, electrones, gamma) está por explorar. De una manera análoga a como nuestros detectores ven la cascada de partículas y radiación generada por la interacción de una partícula ionizante, tales cascadas energéticas tienen un impacto importante en la célula. Cómo esta cascada degradada la energía en la célula para llegar a las energías de la química y la biología, es aún un área desconocida. Se han propuesto cinco experimentos en 2021, que explorarán mecanismos celulares en taxones bacterianos y eukariotas en 2022.

La localización de los laboratorios subterráneos permite alojar otro tipo de detectores que se benefician de la reducción del ruido sísmico. El LSC está equipado con una infraestructura geofísica, denominada GEODYN, que cubre el espectro geodinámico en su totalidad, desde la sismicidad

has three components: a seismic station equipped with a Titan accelerometer and a Trillium 240s seismometer, laser interferometers consisting of two 70 m long orthogonally oriented vacuum tubes, both underground, and an external GNSS station. m long orthogonally oriented vacuum tubes, both underground, and an external GNSS station.

The LSC GEODYN observatory has been integrated into the EPOS (European Plate Observing System), which was approved by the ESFRI Roadmap in 2008. The low and stable seismic noise inside the mountain has allowed it to be selected as a candidate to host the future Einstein Telescope gravity wave detector. The ETSEC project has studied Newtonian noise, important in the framework of gravitational wave detection. ETSEC consists of four seismic sensors (accelerometers) placed along the railway tunnel and two others in one of the galleries between the railway tunnel and the road tunnel. The results of this project place the LSC as the best location in continental Europe of all the points studied, only surpassed by the location studied in the island of Sardinia.

These big questions about us and our environment: What is most of the matter in the Universe, how has the Universe generated matter without producing antimatter, why does low radioactivity alter cellular life, require equipment and technological support from laboratories and technology companies. Ultra-low background gamma spectrometers, mass spectrometers with sensitivity in ppq, Radon reduction systems and alpha detectors for very low-level Radon measurements (mBq/m^3), are among the technologies that the LSC develops and establishes collaboration with national and international technological companies. LSC is interested in developments associated with the improvement of the radio-purity of materials (acquisition of copper, lead, high purity polyethylene; production of ultra-pure copper by electroforming for 3D copper printers, ...) and of the techniques necessary for their characterization (ultra-low background Germanium detectors, Radon emanation detectors...). Among the emerging projects which have started in 2021: impact of radioactivity on quantum technologies, detection of radio cations with single-molecule fluorescence imaging.

más cercana, inducidas por la dinámica hídrica de la montaña, a las deformaciones tectónicas pasando por las mareas terrestres o la nutación del núcleo terrestre. Esta instalación tiene tres componentes: una estación sísmica equipada con un acelerómetro Titán y un sismómetro Trillium 240s, interferómetros láser que consisten en dos tubos de 70 m de longitud al vacío orientados ortogonalmente., ambos bajo tierra, y una estación GNSS externa. El observatorio LSC GEODYN ha sido integrado en el EPOS (European Plate Observing System), que fue aprobado por la Hoja de Ruta ESFRI en el 2008. El bajo y estable ruido sísmico dentro de la montaña ha permitido que sea seleccionada como candidata para alojar el futuro detector de ondas gravitacionales Einstein Telescope.

Estas grandes preguntas sobre nosotros y nuestro entorno: ¿Qué es la mayoría de la materia del Universo?, ¿cómo ha generado el Universo la materia sin producir antimateria en la misma cantidad?, ¿Cómo reducir el impacto de la radiación en el tiempo de entrelazamiento de los qubits? ¿por qué altera la vida celular la baja radioactividad?, requieren de equipamiento y soporte tecnológico de laboratorios y empresas tecnológicas. Espectrómetros gamma de ultra-bajo fondo, espectrómetros de masas con sensibilidad en partes por cuatrillón, sistemas de reducción de Radón y detectores alfa para medidas de muy bajo nivel de Radón (mBq/m^3), se encuentran entre las tecnologías que el LSC desarrolla y establece colaboración con las empresas tecnológicas nacionales e internacionales. El LSC está interesado en desarrollos asociados a la mejora de la radio-pureza de los materiales (adquisición de cobre, plomo, polietileno de alta pureza; producción de cobre ultra-puro por electroformación para la producción de piezas en impresoras 3D de cobre...) y de las técnicas necesarias para su caracterización (detectores de Germanio de ultra-bajo fondo, detectores de emanación de radón, ...). Entre los proyectos emergentes que se han comenzado a desarrollar durante 2021: impacto de la radioactividad en las tecnologías cuánticas, reducción de radón en gases nobles, detección de cationes de radio con imagen por fluorescencia de molécula.

Report Activities 2021

The work accumulated in the first decade has led to the production of important scientific results. In the search for dark matter, ANAIS has presented scientific results on the affirmation of the existence of dark matter by the DAMA/LIBRA experiment, placing it as the most advanced experiment in the validation or refutation of this important experimental result with more than four years of accumulated data. ArDM has been adapted to host DArT, an argon-39 trace detector, which is part of the constellation of the Global Argon Dark Matter Collaboration (GADM). Other experiments and EoIs, TREX-DM, DAMIC and CADEX have dedicated their efforts to the preparation of dark matter detection experiments and technologies. In double beta decay, NEXT- White has completed its scientific programme to measure the double beta decay of Xenon 136, demonstrating that the two-electron identification technique at the energies of interest in double beta decay is valid, with an energy resolution of better than 1% at the energy of interest and with a rejection factor between two-electron and one-electron events that allows 90% of the remaining background noise to be removed, with only a 10% drop in signal. It marks the beginning of the preparation of the facilities at the LSC to host and support the construction of a one-tonne Xenon 136- enriched xenon detector based on the NEXT technique.

In addition, the CROSS experiment has completed the first phase of signal characterisation measurements of lithium molybdate and tellurium oxide crystals and the LiquidO expression of interest for building a solid scintillator-based detector has been presented. The laboratory coordinates the Spanish contribution to the construction of the international Hyper- Kamiokande experiment.



Actividad del LSC 2021

El trabajo acumulado en la primera década ha permitido la producción de importantes resultados científicos. En búsqueda de materia oscura, ANAIS ha presentado resultados científicos sobre la afirmación de la existencia de materia oscura por el experimento DAMA/LIBRA y le sitúan como el experimento más avanzado en la validación o refutación de este importante resultado experimental con más de cuatro años de datos acumulados. ArDM se ha adaptado para alojar DArT, un detector de trazas de argón-39, integrante de la constelación de la colaboración global de búsqueda de materia oscura con argón (GADM). Otros experimentos y EoIs, TREX-DM, DAMIC y CADEX han dedicado sus esfuerzos en la preparación de experimentos y tecnologías de detección de materia oscura. En desintegración doble beta, NEXT-White ha completado su programa científico de medida de la desintegración doble beta del Xenon 136, demostrando que la técnica de identificación de dos electrones a las energías de interés en desintegración doble beta es válida, con una energía de resolución mejor al 1% en la energía de interés y con un factor de rechazo entre sucesos de dos electrones y de un electrón que permite eliminar el 90% del ruido de fondo restante, con solo una merma del 10% de la señal. Marca el inicio de la preparación de las instalaciones en el LSC para alojar y apoyar la construcción de un detector de una tonelada de xenón enriquecido en Xenon 136, basado en la técnica de NEXT. Además, el experimento CROSS ha completado la primera fase de medidas de caracterización de



After a decade of efforts, the laboratory is embarking on the path of hosting experiments in new areas of research and technological development. On the one hand, the LSC has started a programme of new cryogenic facilities (around 10 mK) to host experiments to a) understand the impact of cosmic rays and natural radioactivity on superconducting circuits, the basic units of quantum computing (ARQ), which promises important results in the study of the impact of radiation on these basic units, b) the search for dark matter in the form of axions (CADEX). Connected to this problem, a new experiment has been approved that will characterise the X-ray background for materials to be used in the babyIAXO experiment, which searches for axions produced on the Sun. On the other hand, the LSC has initiated a programme of new facilities in biology to host experiments in low cosmic background to unravel the cellular mechanisms that have adapted to cosmic radiation and explain the preliminary results observed, reduced response to oxidative stress and suppression of DNA repair mechanisms, when hosted in low radiation environments. Five expressions of interest have been presented, with several biological models and scientific questions, while the laboratory has prepared the facilities and equipment to host them.

The LSC continues on the path initiated to strengthen the human resources that support the experiments and initiatives at the LSC. Both the programme to attract scientific and technical personnel from other institutions, long-term residents at the LSC, and the competition to attract talent in regional, national and European calls promise to increase the LSC's capacity to tackle large projects, low radioactive background techniques and the new strategic lines of this decade.



New Biology Underground Lab

las señales de cristales de molibdato de litio y de óxido de teluro y se ha presentado la expresión de interés LiquidO para construir un detector basado en centelleador sólido. El laboratorio coordina la contribución española a la construcción del experimento internacional Hyper-Kamiokande.

Tras una década de esfuerzos, el laboratorio inicia el camino de alojar experimentos en nuevas áreas de investigación y desarrollo tecnológico. Por un lado, el LSC ha iniciado un programa de nuevas instalaciones en criogenia (alrededor de 10 mK) para alojar experimentos que permitan a) entender el impacto de los rayos cósmicos y la radioactividad natural en los circuitos superconductores, unidades básicas de la computación cuántica. (ARQ), promete importantes resultados en el estudio del impacto de la radiación sobre estas unidades básicas, b) la búsqueda de materia oscura en forma de axiones (CADEX). Conectado con este problema, se ha aprobado un nuevo experimento que caracterizará el fondo en rayos X para los materiales que se usarán en el experimento babyIAXO, que busca axiones producidos en el Sol. Por otro lado, el LSC ha iniciado un programa de nuevas instalaciones en biología para alojar experimentos en bajo fondo cósmico y desentrañar los mecanismos celulares que se han adaptado a la radiación cósmica y que permiten explicar los resultados preliminares observados, menor respuesta al estrés oxidativo y supresión de mecanismos de reparación del ADN, cuando se aloja en ambientes de baja radiación. Se han presentado cinco expresiones de interés, con varios modelos biológicos y preguntas científicas, mientras el laboratorio ha preparado las instalaciones y el equipamiento para alojarlas.

El LSC sigue el camino iniciado para fortalecer los recursos humanos que dan soporte a los experimentos e iniciativas en el LSC. Tanto el programa de atracción de personal científico y técnico de otras instituciones, residente de larga duración en el LSC, como la competición por atraer talento en convocatorias autonómicas, nacionales y europeas prometen aumentar la capacidad del LSC para afrontar los grandes proyectos, las técnicas de bajo fondo radioactivo y las nuevas líneas estratégicas de esta década.

Newsletters 2021

LSC NEWSLETTER

FIRST TRIMESTER | ISSUE 1 APRIL 2021



New additions to the LSC

Laura Cid Barrio joined the LSC staff as an analysis and mass spectrometry technician and Beatriz Hernández Molinero as a cryogenics and gas system technician.

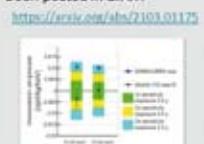
Likewise, the Donostia International Physics Center (DIPC) has seconded Ana Belén Núñez Chico, who has joined the activities to support the engineering tasks for the scaling up of the experiment from NEXT NEW to NEXT 100.



New Equipment for the Copper Electroforming Service (CES)
The LSC CES has been recently completed by the installation of two new equipment: a monitoring and control system and a new power supply.
It has been improved by the process control and monitoring, increase in the dimensions of the electroformed copper piece and the plating rate optimization.

New ANAIS-112 results on annual modulation

ANAIS-112 experiment is taking data at the LSC since August 2017 in order to test DAMA/LIBRA signal. Updated results for three years and 112.5 kg, together with complementary analysis and consistency checks have been posted in arXiv:



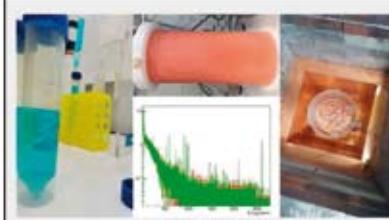
Completed works of the first financial year at Hyper-Kamiokande

Construction of the access roads, geological survey of the Hiper-Kamiokande cavity, and manufacturing of the first 50 cm diameter photomultiplier tubes.



LSC NEWSLETTER

SECOND TRIMESTER | ISSUE 2 - JULY 2021



Copper, copper, copper

The structural component closest to the active detection system in LSC experiments is copper. A large LSC team is completing the procurement of ultra-pure copper, screening by gamma spectrometry (HPGe) and mass spectrometry (ICPMS) and radiopurity improvement by electroforming (EFCu). This service has been improved by the process control and monitoring, increase in the dimensions of the electroformed copper piece and the plating rate optimization.



Quantum computing meets ultralow background underground experiments.

The experimental proposal ArQ (Abatement of Radioactivity for Qubits) and members of the CROSS experiment collaboration met at the LSC in June to discuss the influence of cosmic rays in supercomputing qubits.



New crystals in CROSS
Six new bolometers have been installed in June in the dilution refrigerator. Among them, the new CROSS lithium molybdate crystal contains a superconducting palladium-aluminum grille on five of its faces with a light detector on the sixth, with the technological challenge of separating beta decays on the surface from those happening on the inside.



Other relevant LSC Publications:

Boosting background suppression in the NEXT experiment through Richardson-Lucy deconvolution
NEXT Collaboration; A. Gómez Benítez; U. de Negri et al. (Feb 23, 2021), e-Print: 2102.11801 [physics.ins-det]
Phonon-mediated crystal detectors with rejection capability of surface α -photon and $\beta\beta$ particles assisted by metallic film coating
J.C. Bandalo, S.C. Cortina, et al. (Mar 12, 2021), e-Print: 2103.07181 [physics.ins-det]
Double gamma decay as a probe of neutrinoless double beta decay nuclear matrix elements
S. Hernández, J. Menéndez and Carlos Peña Gascón, e-Print: 2102.11101 [nucl-th]

Publication on CROSS prototypes' results

Results on beta-particle surface sensitivity achieved with the LSC's 'CROSS' experiment prototypes at UCLab have been published by Applied Physics Letters. The article has been chosen as an 'Editor's pick', and advertised by a special communication named 'Schildt'.
<https://arxiv.org/abs/2103.01175> | <https://doi.org/10.1063/50.0005010>

LSC NEWSLETTER

THIRD TRIMESTER | ISSUE 3 OCTOBER 2021



New additions to the LSC

Rebecca Hernández Antolín recently joined the LSC staff as a biochemistry technician for setting up the new biolab underground and to also provide local support to the research groups exploring the impact of low radioactivity in life.

Likewise, the Donostia International Physics Center (DIPC) has seconded Jorge Pelegrín Mosquera, who will join the activities in gas systems and the water tank construction of NEXT-1ton and will lead new cryogenic applications in underground labs.

LSC NEWSLETTER

FOURTH TRIMESTER | ISSUE 4 DECEMBER 2021



Copper

High purity copper is among the most important materials due to its low level of radioactivity. We have purchased, welded, forged and mechanized big pieces of copper to inner shield the NEXT-100 vacuum vessel experiment.



Opening the cryostat of the CROSS experiment

Members of the CROSS experiment's collaboration carried out works aimed at measuring the vibration of the cryostat's holding structure and of the cryostat itself to define a vibration function.



INTERNATIONAL COSMIC DAY 10



The LSC participated one more year in the celebration of the ICD with several activities for students in its premises.



NEXT CASTLE: A new look

NEXT's lead castle was dismantled and the steel structure modified to remove the paint covering. The contribution of the castle to the radioactivity background in NEXT-100 experiment will be reduced by a factor of 2.

RITA Workshop

The Radium Tagging (RITA) Workshop held at the LSC had researchers from the DIPC, UPV/EHU, CFM, LSC & Ikerbasque presenting results on the design of barium and radium chelating molecules, surface binding, ultra-high vacuum measurements of molecular properties, cation separation by ICP-MS techniques and laser-induced molecular fluorescence measurements preparatory to the RITA facility that will be hosted at the LSC in 2022.

LSC patrons will earmark 16 ME for the LSC.

The Council of Ministers has approved the extension of the agreement that finances the LSC (with 11ME support for the coming decade). Aragon Government will contribute with over 5ME.

Considered the second most important underground facility in Europe, the Canfranc Underground Laboratory is built 800 meters underground.

Two decadal projects and new strategic lines in cryogenics and biology and low background will set the future progress of the lab.

Biology brings more life to the LSC

New laboratory installations underground, a lead castle to host experiments in a reduced gamma background and the microbiology laboratory to prepare and manipulate samples, will be ready to host experiments that explore the striking impact of life in absence of cosmic rays since 2022.



LSC Publications:

The Dynamics of Ions on Phased Radio-frequency Carpets in High Pressure Gases and Application for Barium Tagging in Xenon Gas Time Projection Chambers
NEXT Collaboration; E.J.P. Jones et al. (Sep 21, 2021) e-Print: 2109.05902 [physics.ins-det]
Phonon-mediated crystal detectors with metallic film coating capable of rejecting α and $\beta\beta$ events induced by surface radioactivity
J.C. Bandalo (LSC, Canfranc) et al. (Mar 12, 2021) Published in: Appl. Phys. Lett. 118 (2021) 18, 184105 + e-Print: 2103.07181

LSC Publications:

Machine-learning techniques applied to three-year exposure of ANAIS-112
Contributors to TAIFC021 + e-Print: 2110.10649 [astro-ph.IM]
First results from the HENSA/ANAIS collaboration at the Canfranc Underground Laboratory
e-Print: 2111.12010 [nucl-ex]
Measurement of the ^{136}Xe two-neutrino double beta decay half-life via direct background subtraction in NEXT
NEXT Collaboration; P. Novella et al. (Nov 22, 2021) e-Print: 2111.11091 [nucl-ex]

Events/Eventos 2021

Reunión Fundación Transpirenaica

23 Septiembre 2021 / September 23 2021



El Comité de Seguimiento de los proyectos financiados por los fondos europeos del Mecanismo Conectar Europa (MCE) para la reapertura de la línea internacional de Canfranc ha mantenido una reunión técnica en las instalaciones del LSC para evaluar el estado de las actividades contempladas.

The Monitoring Committee of the projects financed by the European funds of the Connecting Europe Facility (CEF) for the reopening of the International Rail line of Canfranc has held a technical meeting at the LSC facilities to assess the status of the activities envisaged.

X International Cosmic Day

10 noviembre 2021 / November 10 2021



Un año más el LSC contribuyó a la celebración del “ X International Cosmic Day” junto con los institutos de Jaca I.E.S. Domingo Miral e I.E.S. Pirineos. Estudiantes de ambos institutos llevaron a cabo varias actividades con nuestros telescopios de muones. Se finalizó con una videoconferencia con otros estudiantes de China, Alemania e Italia.

One more year the LSC contributed to the celebration of the “X International Cosmic Day” together with the high schools of Jaca I.E.S. Domingo Miral and I.E.S. Pirineos. Students from both schools carried out several activities with our muon telescopes. It ended with a videoconference with other students from China, Germany and Italy.

BIO Retreat

26 a 29 octubre
October 26-29 2021



El LSC celebró en sus instalaciones un “BIO-Retreat” dado que, dentro de su plan estratégico, ha iniciado el área de investigación de biología en el laboratorio subterráneo donde se va a explorar las implicaciones de la baja radiación en los procesos biológicos. Expertos en Virología, Bioquímica, Matemáticas y Física de centros de Valencia, Madrid y Barcelona, presentaron los resultados científicos de sus investigaciones en diseño experimental y modelización matemática de procesos de reparación de ADN, redes metabólicas, mecanismos de infección y la posible influencia.

The LSC held a “BIO-Retreat” given that, as part of its strategic plan, it has initiated the biology research area in the underground laboratory where the implications of low radiation on biological processes will be explored. Experts in Virology, Biochemistry, Mathematics and Physics from centres in Valencia, Madrid and Barcelona presented the scientific results of their research into experimental design and mathematical modelling of DNA repair processes, metabolic networks, infection mechanisms and possible influence.

Máster Física del Universo

12 y 13 noviembre / November 12 & 13 2021

Los días 11 y 12 de noviembre de 2021, personal del LSC impartió dos prácticas de laboratorio para el Master in Physics of the Universe de la Universidad de Zaragoza. El primer día se realizó una práctica con el telescopio de muones y el segundo día se dedicó a espectrometría gamma con detectores de germanio y de yoduro de sodio. Era el primer año de implantación de este master y podemos afirmar que las jornadas fueron un éxito tanto para los alumnos como para el laboratorio.



On 11 and 12 November 2021, LSC staff gave two laboratory practices for the Master in Physics of the Universe of the University of Zaragoza. The first day was a practice with the muon telescope and the second day was devoted to gamma spectrometry with germanium and sodium iodide detectors. It was the first year of implementation of this master's degree and we can affirm that the sessions were a success both for the students and for the laboratory.

29^a Reunión del Comité Científico del LSC

30 de Noviembre y 1 Diciembre 2021

29th LSC Scientific Committee Meeting

19-20 Noviembre 2021 / November 30 & December 1 2021

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 reunión los experimentos, BabyIAXO y JASC presentaron sus avances durante el último año. Además, se escucharon avances en las propuestas DAMIC y ARQ así como las nuevas Microbial-mediated Low energy nuclear reactions en biología y CADEx e física. También se recibieron informes de otras.

The Scientific Advisory Committee is composed of scientist of international reputation. It gives advice on experimental proposals and monitors the progress of the approved experiments. On this meeting, the experiments BabyIAXO y JASC presented their activities during the last year. DAMIC and ARQ proposals also presented a report and new proposals such as Microbial-mediated Low energy nuclear reactions en biología and CADEx were presented. As well as this.

El evento Ciencia Jot Down se celebró en San Sebastián de la mano de la conocida revista Jot Down y el centro de investigación DIPC. Esta octava edición del concurso ha contado con tres categorías de participación dotados de 1000 € cada una y patrocinados por el DIPC, el LSC y el Museo Laboratorium de Bergara. Puede leer el artículo ganador en la siguiente página.

The Jot Down Science event was held in San Sebastian, organised by the well-known magazine Jot Down and the DIPC research centre. This eighth edition had three categories of participation, each worth €1000 and sponsored by the DIPC, the LSC and the Laboratorium Museum in Bergara. You can read the winning text in the following page.

Ciencia Jot Down 2021 Jot Down Science

03 diciembre 2021 / December 3 2021



Cefeidas en mi bemol mayor

Texto ganador del concurso DIPC-LSC en la modalidad de divulgación científica de Ciencia Jot Down 2020.

Escrito por José Antonio Bustelo

<https://www.jotdown.es/2020/12/cefeidas-en-mi-bemol-mayor/>

12 de marzo de 1912. Henrietta llevaba semanas esperando este día. Había convencido a su amiga y colega Annie para que la acompañase a esta velada tan especial. Recuerda que desde que averiguó que la Sinfónica de Boston daría un concierto en el New Bedford Theatre, se puso a ahorrar para las entradas.

Ambas acordaron mantener en secreto que asistirían al evento, pues se prestaría a la broma fácil: dos mujeres sordas acudiendo al concierto de un compositor sordo. Sin embargo, esto no supondría ningún problema. Aunque la escarlatina que sufrieron en su niñez había mermado la capacidad auditiva de las dos astrónomas, desde la segunda fila del patio de butacas no se perderían ni una sola nota del Concierto para piano nº 5 «Emperador» de Beethoven.

Incluso el transporte lo tenía arreglado. El señor Murdock, periodista del Cambridge Chronicle, se había prestado amablemente a llevarlas al concierto con la condición de que Henrietta accediera a concederle una entrevista. El artículo sobre estrellas variables que había publicado apenas nueve días antes estaba dando que hablar.

Henrietta sentía una profunda conexión con la música del genio alemán. Se identificaba con él cuando supo que su padre le imponía rígidos ejercicios al piano de los que intentaba escabullirse intercalando pasajes improvisados. El señor Pickering, el jefe de Henrietta, también le ordenaba tediosas observaciones sobre fotografías de estrellas, una labor pesada y meramente clasificatoria de la que Henrietta, igualmente, intentaba escaparse buscando nuevos patrones en aquellas manchas estelares.

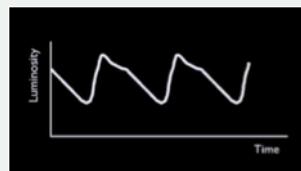
Quién diría que la trayectoria de ambos estuvo marcada por imágenes en negativo. Mientras Beethoven componía sus piezas de juventud en esos pianos vieneses de la época, con los colores del teclado invertidos (teclas naturales en negro, sostenidos y bemoles en blanco), Henrietta ingresó en el observatorio de Harvard para ver desfilar las innumerables manchas oscuras que las estrellas dejaban en la emulsión fotográfica que bañaba aquellas placas de cristal.

Entre aquellas nubes de puntos difusos, observó la huella de un tipo de estrella variable denominada cefeida que cambia su brillo a intervalos regulares, y dio con un ingenioso método para discriminar con facilidad estrellas variables de las que no lo eran. Tras obtener una copia en positivo de una placa fotográfica, superponía este positivo con el negativo de otra placa obtenida en un momento distinto. De esta manera las estrellas que no cambiaban su luminosidad se mostraban de color gris homogéneo, mientras que las estrellas variables lucían un anillo más brillante o más oscuro según hubiesen aumentado o disminuido su luminosidad en ese intervalo.



En las dos fotografías en negativo de la izquierda se observa el cambio de luminosidad de una cefeida. A la derecha, copia en positivo que superponía a un negativo tomado en otro instante para distinguir las estrellas variables.

También se dio cuenta de otro detalle. Cuando las cefeidas incrementaban su brillo lo hacían más rápidamente que cuando su luminosidad decrecía, cosa que hacían de modo más gradual.

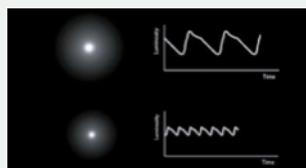


En esta gráfica se observa que los aumentos de luminosidad (tramos ascendentes) suceden en menos tiempo que las disminuciones (tramos descendentes).

Esto le recordó de nuevo a su compositor favorito. En la Cantata por la muerte de José II hay un tema musical recurrente que aparece en otras obras de Beethoven y que sigue este mismo patrón: una acusada parte ascendente seguida de una parte descendente más paulatina. Era, virtualmente, la radiografía sonora de una cefeida. Por si fuera poco, este movimiento de la cantata no podía tener un título más adecuado: «La humanidad se eleva hacia la luz».

Pero, ¿qué tenían de especial estos objetos astronómicos más allá de la peculiaridad de mostrar luminosidad pulsante? Henrietta descubrió que las cefeidas con mayor luminosidad presentan los períodos más largos. Es decir, que las estrellas que emiten más cantidad de luz tienen un ciclo de pulsación de mayor duración.

Hasta este momento, observar una estrella de brillo tenue nos enfrentaba a un dilema, pues podría tratarse de una estrella poco brillante cercana a nosotros o de una estrella muy brillante que se encontrase muy lejos. Con el descubrimiento de Henrietta se podía asegurar que una estrella tenue que pulse lentamente es una estrella muy lejana, y serviría de patrón de medida para estimar la distancia a la que está la galaxia en la que se halla. Con esta relación período-luminosidad, Henrietta dotó al firmamento de profundidad por primera vez. Los astrónomos habían permanecido sordos a esta riqueza cromática del universo que puso fin a una visión plana y monocorde.



Un ciclo de pulsación (la distancia entre dos crestas) tiene una duración mayor en las estrellas más brillantes.

El patrón descubierto por Henrietta tuvo su equivalente en Beethoven años después. Si el compositor nos legó en vida nuevos y sorprendentes lenguajes musicales, también influyó en un soporte de la música incluso después de su muerte. Norio Ohga, a la sazón presidente de la firma Sony, se dio cuenta de que un disco compacto de sesenta minutos, aún en proyecto, presentaba un problema: no sería suficiente para grabar la Novena Sinfonía. La duración de la obra entre un director de orquesta y otro era variable (como las cefeidas), y había que encontrar la de mayor duración. Resultó ser la dirigida por Wilhelm Furtwängler en el Festival de Bayreuth de 1951 con un total de setenta y cuatro minutos, la duración estándar de audio que se fijó para un CD.

Henrietta Swan Leavitt y Annie Jump Cannon ocupan ya sus localidades en el teatro y el concierto está a punto de empezar. El primer movimiento, el Allegro, es el favorito de Henrietta. En las notas ascendentes y descendentes del piano reconoce a sus cefeidas, pulsando rítmicamente en medio del trémulo central del resto de estrellas.

LSC in numbers

PEOPLE ON SITE (2021)

ADMINISTRATION & MANAGEMENT



Alejandro Calvo



Susana Gutiérrez



Yolanda Labarta



LSC
Laboratorio Subterráneo de Canfranc



José María Calvo

SAFETY & MAINTENANCE



Víctor Giménez



Fredi Gimeno

SCIENCE & TECHNOLOGY



Silvia Borjabad



Iulian Bandac



Sergio Fernández



Pipo Bayo



Laura Cid



Beatriz Hernández



Rebeca Hernández

SCHOLARS ON-SITE



DIPC, NEXT
Beatriz Romeo



CIEMAT, DarT
Vicente Pesudo



JU, JASP
Javie Pérez



DIPC, NEXT
Ana Núñez



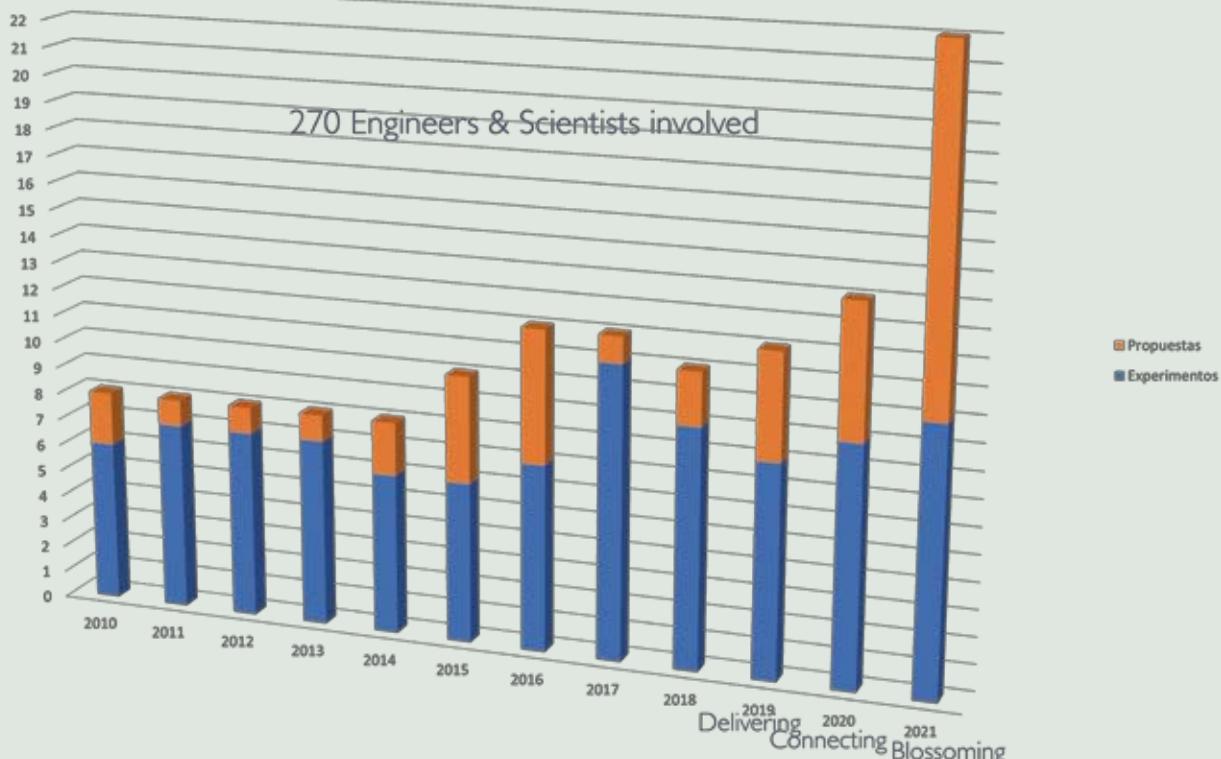
DIPC, NEXT
Jorge Pelegrín



ICREA, CRM
Tomás Alarcón



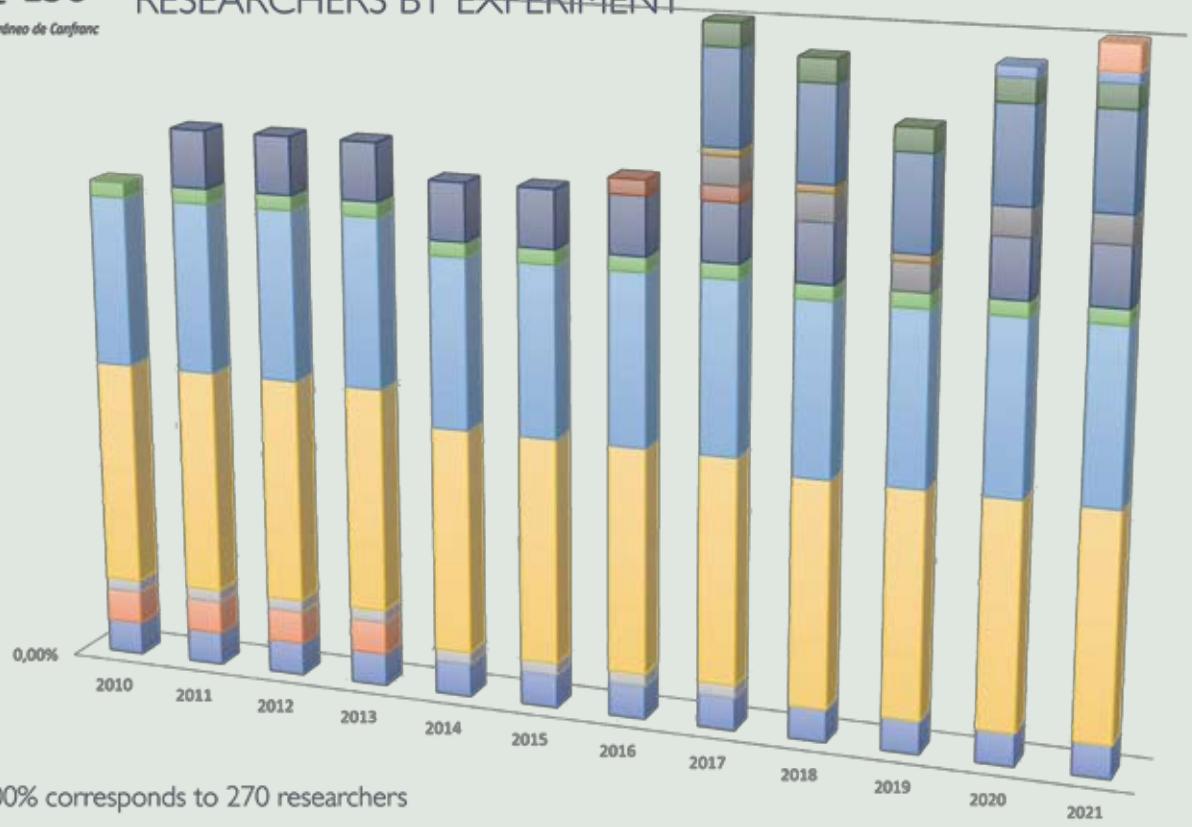
23 Experiments & Expressions of Interest (2021)



23 EXPERIMENTS & EoI (2021)

Name	Spokesperson	EoI/LoI	EXP	Name	Spokesperson	EoI/LoI
ANAIS	M.L. Sarsa	LoI-01-2009	EXP-01-2008	DAMIC	R. Vilar	EoI-21-2018
BabyIAXO	E. Ferrer	LoI-25-2020	EXP-16-2021	ARQ	P. Forn	EoI-24-2020
CLYC-N	D. Cano	EoI-19-2017	EXP-13-2017	HENSA	A. Tarifeno	EoI-26-2020
CROSS	A. Giuliani	EoI-18-2017	EXP-12-2017	NaI CGF	A. Ianni	EoI-27-2020
DArT	W. Bonivento	EoI-22-2018	EXP-14-2019	NEXT-HD	J.J. Gómez	EoI-28-2021
GEODYN	J. Diaz	EoI-10-2009	EXP-07-2009	Microbial	F. Sobrino	EoI-29-2021
JASC	G. Zuzel	EoI-20-2018	EXP-15-2020	Darwin	J. Buceta	EoI-30-2021
NEXT	J.J. Gómez	LoI-05-2009	EXP-05-2008	CADEX	J. Martín-Pintado	EoI-31-2021
SK-Gd	L. Labarga	LoI-11-2009	EXP-06-2009	Modern	J.C. Mayor	EoI-32-2021
TREX-DM	I. Irastorza	LoI-14-2016	EXP-10-2017	OrV	S. Elena	EoI-33-2021
				Coli	M. Guell	EoI-34-2021
				MultiCell	I. Ruiz-Trillo	EoI-35-2021
				LiquidO	A. Cabrera	EoI-36-2021

RESEARCHERS BY EXPERIMENT





30+ Spanish Institutes/Universities
50+ Institutes/Universities from 11 countries



STRATEGIC PLAN: EXPERIMENTS, FACILITIES AND EQUIPMENT

	2021	2022	2023	2024
Delivery science				
NEXT-100		construction, commissioning, data taking		
CROSS		data taking and results		
ANANIS		data taking and results	...	
TREX		commissioning	data taking	and results
DART		installation	data taking	data taking
GEODYN			data taking and results	
Biology	installation	data taking	data taking	data taking
Facilities				
Copper e-forming	on surface	on surface	underground	underground
Neutron spectrometer		Installation	data taking	data taking
New clean tent	installation			
Dilution refrigerator		installation	running	running
New liquid nitrogen plant			Installation	
New R&D for DAMIC		installation	data taking	data taking
Equipment				
Lead shielding	procurement			
XIA alpha counter		Installation		

There is overwhelming evidence from cosmological and astrophysical observations supporting the existence of dark matter (DM). Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) are among the better motivated candidates to explain DM, which could be detected in direct, indirect or accelerator searches, complementary to each other. Only one experiment, DAMA/LIBRA, has provided a long-standing positive result: the observation of a highly statistically significant annual modulation in the detection rate, compatible with that expected for galactic halo dark matter particles. This result has neither been reproduced by any other experiment, nor ruled out in a model independent way. Compatibility among the different experimental results in most conventional WIMP-DM scenarios is actually disfavoured. Then, a similar annual modulation search using the same target is mandatory to shed light on the DAMA/LIBRA conundrum, which is the goal of the ANAIS (Annual modulation with NaI Scintillators) experiment.



An annual modulation in the dark matter interaction rate is expected by the revolution of the Earth around the Sun, which distorts the DM particle velocity distribution function as seen by the detector, typically assumed Maxwellian boosted by the Sun velocity. The effect is present unless the DM halo is co-rotating with the Solar System. However, it is strongly dependent on the specific halo model, both in amplitude and in phase. It is natural to assume that the Sun is moving through a locally isotropic DM halo, with the Earth orbiting aside. Consequently, searches are performed for a modulation of DM-like events with a period of one year and a well-defined phase.

Una evidencia abrumadora de observaciones cosmológicas y astrofísicas respaldan la existencia de materia oscura (DM). Las partículas masivas con interacción débil (WIMP) son uno de los candidatos mejor motivados para explicar la DM, y podrían detectarse en búsquedas directas, indirectas o en aceleradores, técnicas de detección complementarias entre sí. Únicamente el detector DAMA/LIBRA, ha proporcionado un resultado positivo: la observación de una modulación anual significativa en la tasa de detección, compatible con la señal esperada para las partículas de materia oscura en el halo galáctico. Este resultado no ha sido reproducido por ningún otro experimento, ni descartado con un análisis independiente de modelo. La compatibilidad entre los diferentes resultados experimentales en la mayoría de los escenarios WIMP-DM convencionales está desfavorecido. Así, una búsqueda de modulación anual similar usando el mismo objetivo es necesaria para resolver el enigma DAMA / LIBRA, que es el objetivo del experimento de Modulación Anual con Centelleadores de NaI (ANAIS).

Se espera una modulación anual en la tasa de interacción de la materia oscura por la traslación de la Tierra alrededor del Sol, que distorsiona la función de distribución de velocidad de partículas de DM tal como la ve el detector, una distribución Maxwelliana de velocidades incrementada por la velocidad del Sol. El efecto está presente a menos que el halo DM rote solidariamente con el Sistema Solar. Sin embargo, depende en gran medida del modelo de halo específico, tanto en amplitud como en fase. La hipótesis más simple es suponer que el Sol se mueve a través de un halo de DM localmente isotrópico, con la Tierra en órbita y se realizan búsquedas para una modulación de la señal debida a DM con un período de un año y una fase bien definida.

Un análisis completo y consistente requiere varios años de medidas en condiciones muy estables. Este es el objetivo a largo plazo de nuestro experimento. ANAIS-112, que consta de 112,5 kg de detectores de NaI (Tl), se instaló en 2017 en el Laboratorio Subterráneo Canfranc (LSC). ANAIS-112 recibe un flujo de rayos cósmicos residuales y condiciones ambientales diferentes a las de DAMA / LIBRA (800 m frente a una sobrecarga de roca de 1400 m, por ejemplo). En consecuencia, la confirmación potencial de una

A full and consistent analysis requires then several years of measurement in very stable conditions. This is the long-term goal of our experiment. ANAIS-112, consisting of 112.5 kg of NaI(Tl) detectors, was installed in 2017 at the Canfranc Underground Laboratory (LSC) in Spain. The ANAIS-112 set-up undergoes a different residual cosmic ray flux and environmental conditions than DAMA/LIBRA (800 m versus 1400 m rock overburden, for instance). Consequently, the potential confirmation of a modulation with same phase and amplitude would be very difficultly explained as an effect of backgrounds or systematics.

We briefly summarize here the most relevant features of the experimental apparatus. ANAIS-112 uses nine NaI(Tl) modules produced by Alpha Spectra Inc. in Colorado. These modules have been manufactured from 2012 to 2017, and shipped to Spain avoiding air travel in order to prevent cosmogenic activation of the module materials. Each crystal is cylindrical (4.75" diameter and 11.75" length), with a mass of

12.5 kg, and it is housed in OFE (Oxygen Free Electronic) copper. This encapsulation has a Mylar window allowing low energy calibration using external gamma sources. It incorporates two quartz optical windows to couple the photomultiplier tubes (PMTs). All PMT units and all relevant materials used in the building of the detectors, have been screened for radiopurity using HPGe detectors in the low background facilities at LSC. Their contribution to the experiment background has been estimated and included in our background model. Our modules show an outstanding light collection, at the level of 15 photoelectrons (phe) per keV.

ANAIS-112 is calibrated every two weeks using external ^{109}Cd sources: all the nine modules are simultaneously calibrated using a multi-source system which minimizes down time periods. Background events from the decay of ^{40}K and ^{22}Na in the crystal bulk, associated to 3.2 and 0.9 keV energy depositions, and selected by coincidence with an energy deposition in a second module of 1461 and 1275 keV, respectively, are also used to improve the accuracy of the calibration down to the energy threshold.

The ANAIS-112 shielding consists of 10 cm of archaeological lead, 20 cm of low activity lead,



modulación con la misma fase y amplitud se explicaría muy difícilmente por el fondo o errores sistemáticos.

Resumimos aquí las características más relevantes del experimento. ANAIS-112 utiliza nueve módulos NaI (Tl) producidos por Alpha Spectra Inc. en Colorado. Estos módulos se fabricaron entre 2012 y 2017 y se trajeron a España evitando los viajes aéreos con el objetivo de reducir la activación cosmogénica de los materiales del módulo. Cada cristal es cilíndrico (4.75" de diámetro y 11.75" de largo), con una masa de 12.5 kg, y está alojado en una cápsula de cobre libre de oxígeno (OFE). Esta encapsulación tiene una ventana tipo Mylar para calibración de baja energía con fuentes gamma externas. Incorpora dos ventanas ópticas de cuarzo para acoplar los tubos fotomultiplicadores (PMT). Todos los PMT y materiales relevantes utilizados en la construcción de los detectores han sido caracterizados radioactivamente en las instalaciones de bajo fondo en LSC. Su contribución al fondo del experimento se ha incluido en nuestro modelo de fondo. Nuestros módulos muestran un excelente nivel de 15 fotoelectrones (phe) por keV.

ANAIS-112 se calibra cada dos semanas. usando fuentes externas de ^{109}Cd : los nueve módulos se



anti-radon box(continuously flushed with radon-free nitrogen gas), active muon veto system made up of 16 plastic scintillators designed to cover top and sides of the whole ANAIS set-up and 40 cm of neutron moderator (a combination of water tanks and polyethylene blocks). In the design of the muon veto system we followed a tagging strategy instead of a hardware vetoing.

The goal was twofold: on the one hand, to discard events in the NaI(Tl) crystals coincident with muon veto triggers. On the other hand, to analyse eventual correlations between muon hits in the plastic scintillators and events in the NaI(Tl) crystals, especially in the region of interest (ROI), of 1-6 keV.

The ANAIS-112 electronic chain and data acquisition system (DAQ) is shortly described here. Each PMT charge signal is independently processed and divided into: (1) a trigger signal; (2) a low energy (LE) signal that goes to the digitizers which sample the waveforms at 2 Gs/s with high resolution (14 bits); and (3) a high energy (HE) signal, conveniently attenuated. The trigger of each PMT signal is done at phe level, while the single module trigger is done by the coincidence (logical AND) of the two PMT triggers in a 200 ns window. The global trigger is the logical OR of the nine modules trigger signals. Trigger efficiency is close to 100% down to the analysis threshold established at 1 keV.

ANAIS-112 started taking data in the DM mode

calibran simultáneamente usando un sistema de múltiples fuentes. Los eventos de fondo de la desintegración de ^{40}K y ^{22}Na en la masa de cristal, asociados a depósitos de energía de 3.2 y 0.9 keV, y seleccionados por coincidencia con un depósito de energía en un segundo módulo de 1461 y 1275 keV, respectivamente, también se utilizan para mejorar la precisión de la calibración hasta el umbral de energía.

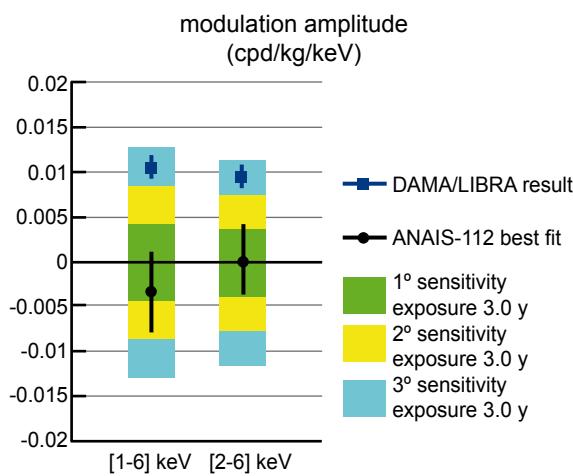
El blindaje ANAIS-112 consta de 10 cm de plomo arqueológico, 20 cm de plomo de baja actividad, caja anti-radón (continuo flujo de gas nitrógeno sin radón), sistema de veto de muones compuesto por 16 centelleadores de plástico que cubren la parte superior y los lados de toda la configuración de ANAIS y 40 cm de moderador de neutrones (una combinación de tanques de agua y bloques de polietileno). En el diseño del sistema de veto de muones, seguimos una estrategia de identificación en lugar de un veto por hardware.

El objetivo es doble: descartar eventos en los cristales de NaI (Tl) que coinciden con los debidos a los muones vetados y analizar correlaciones eventuales entre los muones y los eventos en los cristales de NaI (Tl), especialmente en la región de interés (ROI), de 1-6 keV.

La electrónica y el sistema de adquisición de datos (DAQ) se describen brevemente aquí. Cada señal de carga del PMT se procesa independientemente y se divide en: (1) señal de activación; (2) señal de baja energía (LE) que va a los digitalizadores

on August 3rd, 2017. It has accumulated more than three years of data-taking time in quite stable conditions: 1050 days live time raw which, after the muon cut, correspond to an effective live time of 1018.6 days or 313.95 kg.day. The data analysis was extended by fitting simultaneously the 9 detectors with free background parameters for every module and the same modulation amplitude. It was also improved the background description, by fitting the measured rates to a probability density function (PDF) sampled from our background model, instead of just assuming an exponential decrease.

The ANAIS results are compatible with no annual modulation, with a statistical analysis refuting the DAMA/LIBRA positive results at more than 99% confidence level. The best fit to the ANAIS data in the [1-6] keV ([2-6] keV) energy region is a modulation amplitude of -0.0034 ± 0.0042 cpd/kg/keV (0.0003 ± 0.0037 cpd/kg/keV), supporting the absence of modulation, and refuting the DAMA/LIBRA result at 3.3 (2.6) σ , for a sensitivity of 2.5 (2.7) σ . Other complementary analyses confirm the absence of modulation in the ANAIS data: a phase-free annual modulation search and the exploration of the possible presence of a periodic signal at other frequencies. In conclusion, data confirm the ANAIS-112 projected sensitivity to the DAMA/LIBRA result. A 3σ sensitivity should be in reach before completing the scheduled 5 years of data taking. Further ANAIS tests to narrow down the causes of the DAMA/LIBRA modulation are ongoing, including the measurement of modulated signals as the neutron background and the time dependence of the background-subtraction methods.



ANAIS-112 results on annual modulation for 3-year exposure

que muestran las formas de onda con alta resolución a 2 Gs/s (14 bits); y (3) una señal de alta energía (HE) atenuada. El disparador de cada señal del PMT se realiza a nivel de phe, mientras que el disparador de módulo único se realiza por coincidencia (AND lógico) de los dos disparadores PMT en una ventana de 200 ns. El activador global es el OR lógico de las señales de activación de los nueve módulos. La eficiencia de activación es cercana al 100% hasta el umbral de análisis a 1 keV.

ANAIS-112 comenzó a tomar datos en el modo DM el 3 de agosto de 2017. Ha acumulado más de tres años de toma de datos en condiciones bastante estables: 1050 días de tiempo vivo en bruto que, tras el corte de muones, corresponden a un tiempo vivo efectivo de 1018,6 días o 313,95 kg.día. El análisis de los datos se amplió ajustando simultáneamente los 9 detectores con parámetros de fondo libres para cada módulo y la misma amplitud de modulación. También se mejoró la descripción del fondo, ajustando las tasas medidas a una función de densidad de probabilidad (PDF) muestreada a partir de nuestro modelo de fondo, en lugar de suponer simplemente una disminución exponencial.

Los resultados de ANAIS son compatibles con la ausencia de modulación anual, con un análisis estadístico que refuta los resultados positivos de DAMA/LIBRA con un nivel de confianza superior al 99%. El mejor ajuste a los datos de ANAIS en la región de energía de [1-6] keV ([2-6] keV) es una amplitud de modulación de -0.0034 ± 0.0042 cpd/kg/keV (0.0003 ± 0.0037 cpd/kg/keV), lo que apoya la ausencia de modulación y refuta el resultado de DAMA/LIBRA en 3.3 (2.6) σ , para una sensibilidad de 2.5 (2.7) σ . Otros análisis complementarios confirman la ausencia de modulación en los datos de ANAIS: una búsqueda de modulación anual sin fase y la exploración de la posible presencia de una señal periódica en otras frecuencias. En conclusión, los datos confirman la sensibilidad proyectada de ANAIS-112 respecto al resultado de DAMA/LIBRA. Se debería alcanzar una sensibilidad de 3σ antes de completar los 5 años previstos de toma de datos. Están en curso otras pruebas de ANAIS para acotar las causas de la modulación DAMA/LIBRA, incluyendo la medición de las señales moduladas como fondo de neutrones y la dependencia temporal de los métodos de sustracción del fondo.

BabyIAXO-D1

The International Axion Observatory (IAXO) project is a large-scale axion helioscope that will look for axions and axion-like particles (ALPs) produced in the Sun with unprecedented sensitivity. The near-term goal of the collaboration is the construction and operation of BabyIAXO, an intermediate experimental stage that will be hosted at DESY. BabyIAXO is conceived to test all subsystems (magnet, optics and detectors) at a relevant scale for the final system and thus serve as a prototype, but at the same time as a fully-fledged helioscope with relevant physics reach in itself, and with potential for discovery. It is now under construction and is expected to start its commissioning in 2023.

One of the crucial components of the project is the ultra-low background X-ray detectors that will image the photons produced by axion conversion in the experiment. The baseline detection technology is based on small Time Projection Chambers (TPC) with pixelated Micromegas readouts built with the microbulk technology. The proposal consists on the realization and operation of a low-background X-ray detector platform at the LSC, as a key component of the detector efforts of the collaboration. In particular, the platform will assist in the preparation of the detectors for BabyIAXO, as well as to assess and improve the detector background for the final IAXO.

El proyecto del Observatorio Internacional de Axiones (IAXO) es un helioscopio de axiones a gran escala que buscará axiones y partículas similares a los axiones (ALP) producidas en el Sol con una sensibilidad sin precedentes. El objetivo a corto plazo de la colaboración es la construcción y operación de BabyIAXO, una etapa experimental intermedia que se alojará en DESY. BabyIAXO está concebido para probar todos los subsistemas (imán, óptica y detectores) a una escala relevante para el sistema final y servir así de prototipo, pero al mismo tiempo como un helioscopio de pleno derecho con un alcance físico relevante en sí mismo, y con potencial para el descubrimiento. Actualmente está en construcción y se espera que comience su puesta en marcha en 2023.

Uno de los componentes cruciales del proyecto son los detectores de rayos X de fondo ultrabajo que tomarán imágenes de los fotones producidos por la conversión del axión en el experimento. La tecnología de detección de fondo se basa en pequeñas Cámaras de Proyección de Tiempo (TPC) con lecturas Micromegas pixeladas construidas con la tecnología de microbulbos. La propuesta consiste en la realización y operación de una plataforma de detección de rayos X de bajo fondo en el LSC, como componente clave de los esfuerzos de detección de la colaboración. En particular, la plataforma ayudará a preparar los detectores para BabyIAXO, así como a



Chemical cleaning performed at Unizar (left) and cleaned copper pieces preserved (right).

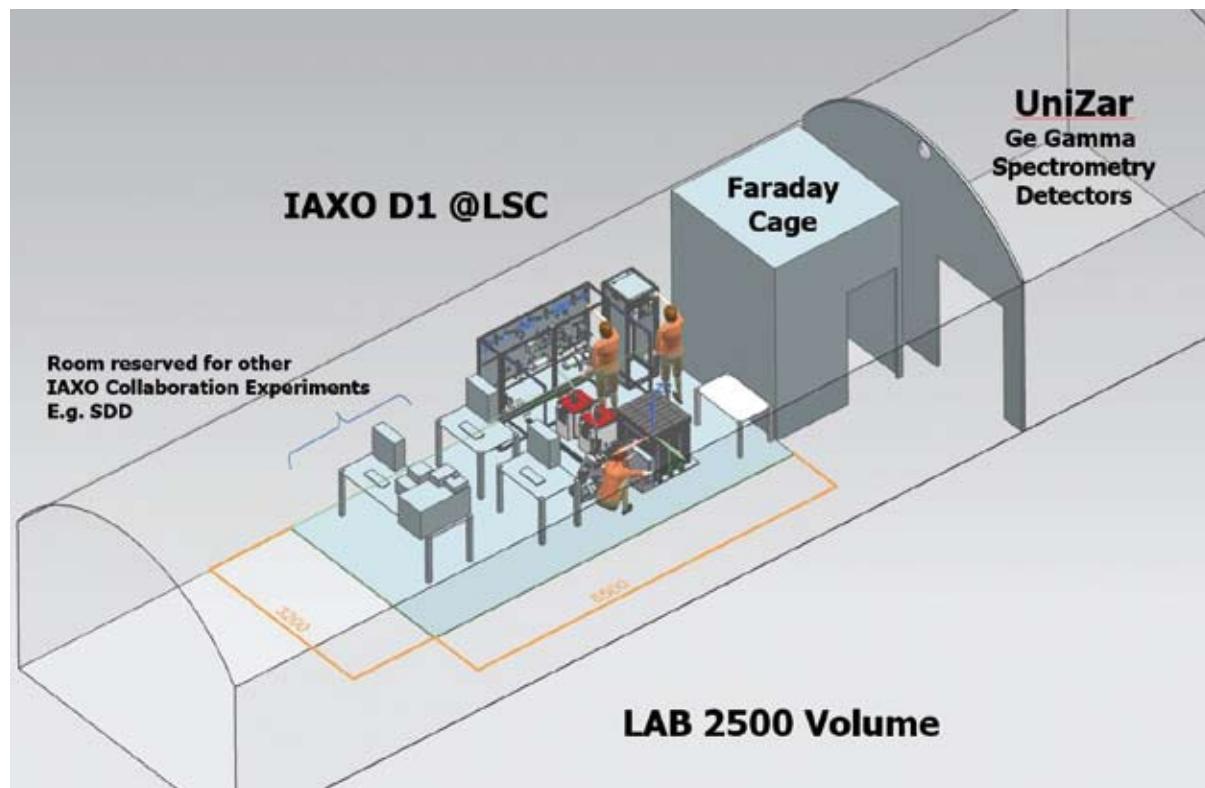
The near-term goal of the platform is to operate the BabyIAXO-D1 Micromegas detector, which is a close-to-final replica of the detector to be installed at BabyIAXO. Data obtained with BabyIAXO-D1 will determine the intrinsic component of the background and, combined with data from simulations and measurements with prototypes on surface, will support the roadmap defined to demonstrate the BabyIAXO target background level.

In the longer term, the proposed platform may accommodate other detection technologies also under consideration, Metallic Magnetic Calorimeters, Neutron Transmutation Doped sensors, Transition Edge Sensors and Silicon Drift Detectors.

evaluar y mejorar el fondo del detector para el IAXO final.

El objetivo a corto plazo de la plataforma es operar el detector BabyIAXO-D1 Micromegas, que es una réplica casi final del detector que se instalará en BabyIAXO. Los datos obtenidos con BabyIAXO-D1 determinarán el componente intrínseco del fondo y, combinados con los datos de las simulaciones y mediciones con prototipos en superficie, apoyarán la hoja de ruta definida para demostrar el nivel de fondo objetivo de BabyIAXO.

A más largo plazo, la plataforma propuesta puede dar cabida a otras tecnologías de detección que también se están estudiando, Calorímetros Magnéticos Metálicos, Sensores de Transmutación de Neutrones Dopados, Sensores de Borde de Transición y Detectores de Deriva de Silicio.



IAXO D1 room requirements at the LSC.

CROSS

The goal of the Cryogenic Rare-event Observatory with Surface Sensitivity (CROSS) is the development of a technology capable of investigating lepton number violation and the nature of neutrino with unprecedented sensitivity, by searching for neutrinoless double beta decay ($0\nu2\beta$) of two promising isotopes (^{100}Mo and ^{130}Te) with the bolometric approach. The CROSS key idea is to provide the bolometric detection technique – ideally tailored to the study of this rare nuclear transition as it features high energy resolution, large efficiency and wide flexibility in the detector material choice – with an additional decisive characteristic: an effective pulse-shape- discrimination (PSD) capability, enabling the rejection of events from surface radioactive impurities and other background-inducing phenomena. This new detector property will pave the way to bolometric experiments with background levels so low – less than 0.5 counts/y in one tonne of isotope in the region of interest (ROI) – to make possible future large searches penetrating in prospects the direct- ordering region of the neutrino masses.

The CROSS ERC Advanced Grant project started officially on January 1st, 2018. In the first eleven months, the collaboration made important progresses concerning most of the activity branches, closely following the CROSS program. However, two major events occurred outside CROSS, though strictly related to it, which will influence strongly future developments: a) detection of a residual contamination of ^{232}Th in the CUORE cryostat, whose location is still under investigation, which contributes to the background almost only for ^{130}Te , due to the lower Q-value of this isotope. b) the CUPID collaboration decided to fix the baseline for CUPID, the proposed follow-up of CUORE exploiting the same cryogenic infrastructure. This baseline foresees the study of the nuclide ^{100}Mo embedded in Li_2MoO_4 enriched crystals, one of the two isotopes studied in CROSS. During 2021, CROSS facility was upgraded in terms of lead shield and radon free air box, which allowed to characterize a tower of TeO_2 and Li_2MoO_4 enriched crystals.

El objetivo del Observatorio criogénico de eventos raros con detección superficial (CROSS) es el desarrollo de una tecnología capaz de investigar la violación del número leptónico y la naturaleza del neutrino con una sensibilidad sin precedentes, mediante la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos ($0\nu2\beta$) de dos isótopos prometedores (^{100}Mo y ^{130}Te) con la técnica bolométrica. La idea clave de CROSS es proporcionar a la técnica de detección, idealmente diseñada para el estudio de esta rara transición nuclear, ya que presenta alta resolución energética, gran eficiencia y amplia flexibilidad en la elección del material del detector, con una característica decisiva adicional: la capacidad de discriminación de la forma del pulso (PSD), que permite el rechazo de eventos de impurezas radiactivas de superficie y otros fenómenos generadores de fondo. Esta nueva propiedad podrá permitir el desarrollo de experimentos bolométricos con niveles de fondo tan bajos -menos de 0.5 eventos/año en 1 tonelada de isótopo en la región de interés (ROI)- para hacer posibles las futuras búsquedas de la señal producida en la región de las masas de neutrinos con ordenación normal.

El proyecto CROSS financiado con una ERC Advanced Grant comenzó oficialmente el 1 de enero de 2018. En el primer año, se han hecho progresos importantes en la mayoría de áreas del programa CROSS. Sin embargo, dos importantes sucesos externos a CROSS, estrictamente relacionados con él, han influido en los desarrollos futuros de CROSS: a) detección de una contaminación residual de ^{232}Th en el criostato CUORE, cuya ubicación aún está bajo investigación, lo que contribuye al fondo casi solo para ^{130}Te , debido al menor valor Q de este isótopo. b) la colaboración CUPID decidió fijar la línea de base para CUPID, el seguimiento propuesto de CUORE que explota la misma infraestructura criogénica. Esta línea de base prevé el estudio del núcleo ^{100}Mo incrustado en cristales enriquecidos con Li_2MoO_4 , uno de los dos isótopos estudiados en CROSS. Durante 2021, se instaló el castillo de plomo y caja de aire libre de radón, que permitió caracterizar la primera torre de cristales.

DArT in ArDM

Argon Dark Matter (ArDM) was a direct dark matter experiment for Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) searches. The ArDM detector was designed as a tonne-scale dual-phase liquid-argon time projection chamber (LAr TPC) to detect elastic scattering of WIMPs on argon nuclei, by observing ionisation and scintillation events, which are produced by the recoiling nucleus in the argon medium. The ArDM experiment consisted of a cylindrical TPC installed in a LAr dewar of 1 m diameter. The detector active volume was confined by an optical surface made of high-reflectivity Polytetrafluoroethylene (PTFE) foils to collect as many photons as possible. The PTFE reflectors were coated with a thin layer of a wavelength shifter (WLS), to convert the argon scintillation VUV light to a range of maximal sensitivity of the photomultiplier tubes (PMTs). The physics results of ArDM have been discussed in previous years and are also presented in the decadal summaries in this number.

DArT at ArDM is a proof-of-concept for a facility to determine the radio-purity of argon with high precision. The goal is to measure the intrinsic contamination by ^{39}Ar and ^{85}Kr , of argon samples purified at the distillation column (Aria), and/or recuperated from the CO₂ gas well (Urania) of the Kinder-Morgan plant, Colorado (USA). In a first phase, DArT plans to operate a small single-phase LAr chamber of about 1 liter volume inside ArDM at LSC. For this purpose, the ArDM detector will run in the single-phase operational mode as an active veto for internal and external backgrounds. The collaboration decided to build a new single-phase setup with two sets of each 6 low background PMTs in the top and in the bottom, of the same type as presently used in ArDM. This allows for a dedicated and optimised setup for DArT, which can be easily swapped with the installed dual phase setup. The dual phase setup can be re-used later for measurements with highest sensitivities where a large detector volume is needed, once depleted argon is available in large quantities.

In 2020 and 2021, the activity of the collaboration was strongly influenced by the COVID-19 pandemic. Therefore, the schedule of the experiment has undergone significant delays compared to the original plan and had to be adapted to the new conditions. Despite these problems,

ArDM (Materia Oscura con Argón) es un experimento de búsqueda de partículas masivas con interacción débil (WIMP). El detector ArDM consiste en una cámara de proyección temporal de argón líquido de doble fase de una tonelada (LAr TPC) para detectar la dispersión elástica de WIMP en los núcleos de argón, al observar los eventos de ionización y centelleo, que se producen por el retroceso del núcleo en el medio de argón. ArDM consiste en una TPC cilíndrica instalada en un recipiente de LAr de 1 m de diámetro. El volumen activo del detector está recubierto por una superficie construida con láminas de politetrafluoroetileno (PTFE) de alta reflectividad para recoger la mayor cantidad de luz. Los reflectores están recubiertos con una capa delgada de un cambiador de longitud de onda (WLS), para convertir la luz VUV de centelleo del argón en luz en el rango de sensibilidad máxima de los tubos fotomultiplicadores (PMT). Los resultados obtenidos por ArDM se han presentado en anteriores memorias y también aparecen en los resúmenes de la década en este número.

DArT en ArDM es una prueba de concepto para una instalación que determina la pureza radioeléctrica del argón con alta precisión. El objetivo es medir la contaminación de ^{39}Ar y ^{85}Kr , de muestras de argón purificadas en la columna de destilación (Aria), recuperadas del pozo de gas CO₂ (Urania) de la planta de Kinder-Morgan, Colorado. En una primera fase, DArT planea operar una pequeña cámara LAr de 1 litro dentro de ArDM en LSC. Para este propósito, el detector ArDM se usará en el modo de una fase como veta activa para fondos internos y externos. La colaboración ha decidido construir la configuración de fase única con dos conjuntos de 6 PMT de bajo fondo en la parte superior y en la inferior, del mismo tipo que los utilizados actualmente en ArDM. Esto permite una configuración dedicada y optimizada para DArT, que puede intercambiarse con la configuración de fase dual. La configuración de fase dual se puede reutilizar para medidas con sensibilidad mayor donde se necesita un gran volumen de detector, una vez que el argón puro esté disponible en grandes cantidades.

En 2020 y 2021, la actividad se ha visto afectada por la pandemia COVID-19. El calendario del experimento ha sufrido importantes retrasos en

the collaboration has nevertheless managed to achieve significant progress in the construction, assembly, and testing of the DArT chamber. The ten DArT eyes SIPM electronics boards received from LNGS are fully characterized and two of them used in DArT work flawlessly so far. They are placed in the acrylic structure manufactured at Carleton University, along with temperature sensors, and optical fibers for calibration. All the cables are connected through dedicated feedthroughs received from Cagliari, together with the power supplies and, the copper vessel.

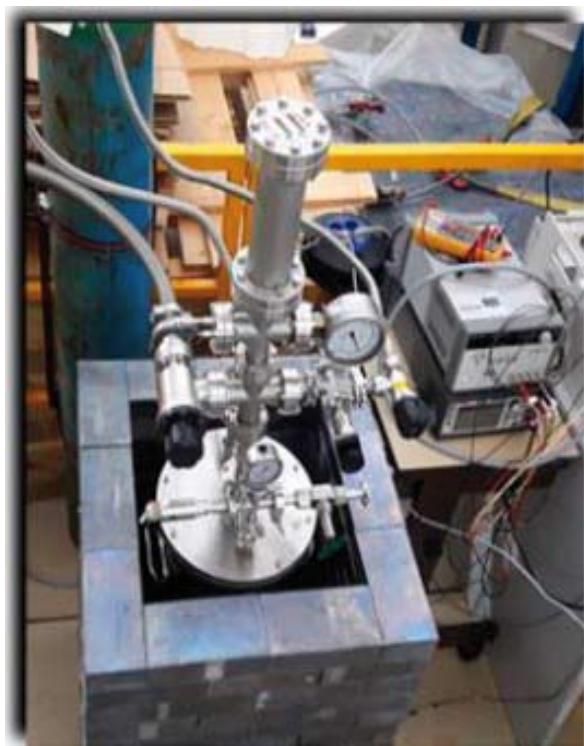
In 2021, the collaboration installed DArT in the underground lab. LN is kept under controlled over-pressure to avoid freezing the argon. A high-quality vacuum was obtained before filling the chamber with Ar, at the level of 10^{-5} mbar. The system was installed and characterized underground at LSC, with stability runs, a determination of the light yield with radioactive sources, and measurement of the ^{39}Ar spectrum. Other works completed in 2021 were the final design of the lead castle, the DArT VME-based data acquisition system, works on the ArDM infrastructure maintenance and procurement of new ArDM components as the 13 new PMTs with their bases, the mechanical support, the PMT top and bottom caps, and the side reflector.



ArDM PMT's

comparación con el plan original y se ha adaptado a las nuevas condiciones. A pesar de estos problemas, la colaboración ha logrado un progreso significativo en la construcción, el montaje y las pruebas de la cámara DArT. Las diez placas electrónicas de SIPM con ojos de DArT recibidas de LNGS están totalmente caracterizadas y dos de ellas utilizadas en DArT funcionan sin problemas hasta ahora. Están colocadas en la estructura acrílica fabricada en la Universidad de Carleton, junto con los sensores de temperatura y las fibras ópticas para su calibración. Todos los cables se conectan a través de pasamuros específicos recibidos de Cagliari, junto con las fuentes de alimentación y, por último, el recipiente de cobre.

En 2021, la colaboración instaló DArT en el laboratorio subterráneo. El LN se mantiene bajo una sobrepresión controlada para evitar la congelación del argón. Se obtuvo un vacío de alta calidad antes de llenar la cámara con Ar, al nivel de 10^{-5} mbar. El sistema se instaló y caracterizó en el LSC, validando estabilidad, midiendo el rendimiento con fuentes radiactivas y el espectro de ^{39}Ar . Otros trabajos completados en 2021 han sido el diseño final del castillo de plomo, el sistema de adquisición de datos basado en DArT VME, el mantenimiento de la infraestructura de ArDM y la adquisición de nuevos componentes como los 13 nuevos PMT con sus bases, el soporte mecánico, las tapas superior e inferior de los PMT y el reflector lateral.

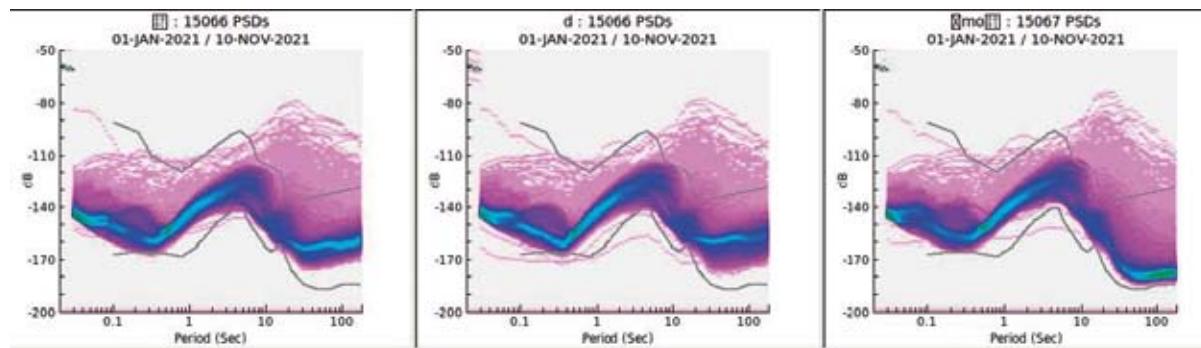


GEODYN is a geophysics observatory that covers the whole geodynamic spectrum, from near-field seismicity to tectonic deformations, Earth tides or Earth-core nutation. The facility has three components: two continuous GPS stations at the surface, and a broad-band seismometer, an accelerometer and two high-resolution laser strainmeters installed inside the tunnel. Three different teams: Seismic (CSIC, Barcelona), GPS (University of Barcelona) and Laser Interferometer (University of Salerno) are involved in the Geodyn Structure. The seismic sensors (broad-band seismometer and accelerometer) and the two CGPS antennas and recorders have been working correctly during 2018. Both interferometers have no recorded data during 2021 and the study on the future plans for this installation was initiated in 2019.

One very interesting result was published in 2019, based on data accumulated in previous years. The soundscape of rivers can reveal changes in the overall flow triggered by natural or anthropogenic agents. In 2014, using the seismic station at the LSC, Geodyn first identified the seismic waves associated with the Aragón River's discharge, isolating the snowmelt signal as the seismic source. Using algorithms to pick through Aragón's albums from 2011 to 2016, Geodyn team have now managed to hear tunes specifically linked to the thaw of the Pyrenees snowpack. Instruments tend to hear large discharge increases during the central hours of the day, a little while after the snow has had a chance to melt and percolate down to the river. On average, each year has 35 days of snowmelt, usually unleashed in two or three major melting outbursts between March and June.

GEODYN es un observatorio de geofísica que cubre todo el espectro geodinámico, desde sismicidad de campo cercano hasta deformaciones tectónicas, mareas terrestres o nutación del núcleo terrestre. La instalación tiene tres componentes: dos estaciones GPS continuas en la superficie, un sismómetro de banda ancha, un acelerómetro y dos interferómetros láser de alta resolución instalados dentro del túnel. Tres equipos diferentes: Sísmico (CSIC, Barcelona), GPS (Universidad, Barcelona) e interferómetro láser (Universidad, Salerno) están involucrados en Geodyn. Los sensores sísmicos (sismómetro de banda ancha y acelerómetro) y las dos antenas y grabadoras CGPS han funcionado continuamente durante 2019. Ambos interferómetros no han registrado datos durante 2021 y se ha iniciado un estudio sobre el futuro de la instalación.

En 2019 se publicó un resultado muy interesante, basado en los datos acumulados en años anteriores. El paisaje sonoro de los ríos puede revelar cambios en el flujo general causados por agentes naturales o antropogénicos. En 2014, utilizando la estación sísmica del LSC, Geodyn identificó por primera vez las ondas sísmicas asociadas a la descarga del río Aragón, aislando la señal de deshielo como la fuente sísmica. Usando algoritmos para revisar los álbumes de Aragón de 2011 a 2016, Geodyn ha logrado escuchar señales específicamente relacionadas con el deshielo de la nieve de los Pirineos. Los instrumentos tienden a escuchar grandes incrementos de descarga durante las horas centrales del día, un poco después de que la nieve se derrita y filtre al río. En promedio, cada año hay 35 días de deshielo de nieve, liberados en dos o tres grandes deshielos entre marzo y junio.



Quality check analysis for year 2021. PDF of the power spectra density for the horizontal (HHE, HHN) and vertical broad-band horizontal seismometers, showing the seismic background noise at Geodyn

Low-level γ spectroscopy with High Purity Germanium (HPGe) detectors has become an essential tool for material screening in rare event physics experiments, which demand the lowest radioactivity levels. Typical examples are searches for solar neutrinos, neutrinoless double beta decay and dark matter. Compared to other methods, such as mass spectrometry or neutron activation, spectroscopy provides a comprehensive method in a non destructive way without complex sample treatment. The primordial radioisotopes ^{232}Th , ^{238}U and ^{40}K represent the main sources of contamination in common materials. Concerning the two former isotopes, only HPGe spectroscopy can verify secular equilibrium as it is capable of measuring the concentration of their progenies near the end of their respective decay chains – in particular ^{208}Tl and ^{214}Bi .

The best HPGe spectrometers operate deep underground and reach specific count rate sensitivity of 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$. This requires long counting periods (100 days). Consequently, several spectrometers must run in order to serve the needs of various experiments. The group led by M. Wojcik and G. Zuzel is very experienced in low background counting techniques with participation in experiments like Gallex/GNO, Borexino, GERDA and DarkSide. During 2020, a new ultra-low background 2.5 kg inverted coaxial geometry Germanium crystal with well was installed, with very effective pulse shape discrimination for further software background reduction and to screen large samples (up to 60 kg in case of copper) and very small components (electronic parts) placed in the well (high detection efficiency). Calibration and first samples analysed show that the sensitivity is better than 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$ (better than 1 ppt U equivalent). Temporarily, we are using the circular lead shield of 20 cm with 5cm of OFCu inside and an acrylic housing flushed continuously with Radon-free air. This shield will be improved with several layers: Ultra-High Purity (UHP) copper (5 cm), UHP lead ($^{210}\text{Pb} \sim 2 \text{ Bq/kg}$, 5 cm), HP lead ($^{210}\text{Pb} \sim 5 \text{ Bq/kg}$, 10 cm), normal lead (5 cm), PE with 5% Boron (15 cm).

La espectroscopía γ de bajo fondo con detectores de germanio (HPGe) se ha convertido en una herramienta esencial para la detección de materiales en experimentos de física de eventos raros, que exigen los niveles más bajos de radiactividad, como neutrinos solares, desintegración beta doble sin neutrinos y materia oscura. Respecto a otros métodos, espectrometría de masas o activación de neutrones, proporciona un método integral no destructivo sin un tratamiento complejo de la muestra. Los radioisótopos primordiales ^{232}Th , ^{238}U y ^{40}K son las principales fuentes de contaminación en materiales comunes. Con respecto a los dos primeros isótopos, la espectroscopía con HPGe puede verificar el equilibrio secular, ya que es capaz de medir la concentración de sus progenies cerca del final de sus respectivas cadenas de descomposición, en particular ^{208}Tl y ^{214}Bi .

El mejor espectrómetro HPGe opera bajo tierra y tiene una sensibilidad de 10 $\mu\text{Bq} / \text{kg}$. Esto requiere largos períodos de conteo (100 días). En consecuencia, deben utilizarse varios espectrómetros para satisfacer las necesidades de los múltiples experimentos. El grupo dirigido por M. Wojcik y G. Zuzel tiene mucha experiencia en técnicas de conteo de bajo nivel de fondo y participan en los experimentos Gallex/GNO, Borexino, GERDA y DarkSide. Durante 2020, un nuevo Germanio de 2.5 kg con pozo y geometría coaxial invertida, permite la discriminación efectiva con la forma del pulso para una mayor reducción del fondo por software y para medir grandes muestras (hasta 60 kg de cobre) y muy pequeñas (componentes electrónicas) situadas en el pozo (con alta eficiencia de detección). La calibración y primeras muestras analizadas muestran que la sensibilidad es inferior a 10 $\mu\text{Bq}/\text{kg}$ (inferior a 1 ppt U equivalente). Temporalmente, se está utilizando un escudo de 20 cm de plomo con 5 cm de OFCu en el interior, dentro de una caja de acrílico con sobrepresión de aire libre de radón. Este escudo se va a mejorar con varias capas: cobre de ultra alta pureza (UHP) (5 cm), plomo UHP ($^{210}\text{Pb} \sim 2 \text{ Bq/kg}$, 5 cm), plomo HP ($^{210}\text{Pb} \sim 5 \text{ Bq/kg}$, 10 cm), plomo normal (5 cm), polietileno con 5% de boro (15 cm).

Searches for neutrinoless double beta decay, the observation of which would imply total lepton number violation and would show that neutrinos are Majorana particles require excellent energy resolution to eliminate background events that occur at energies similar to the Q-value of the decay ($Q_{\beta\beta}$). The Neutrino Experiment with a Xenon Time projection chamber (TPC), in short NEXT, collaboration intends to search for this decay by using 100 kg of xenon enriched to 90% in the candidate isotope ^{136}Xe ($Q_{\beta\beta} = 2457.8$ keV). In recent years, NEXT collaboration has developed and operated several gaseous xenon TPCs, including kg- scale detectors at Lawrence Berkeley National Lab (LBNL) and at Instituto de Fisica Corpuscular (IFIC) and more recently the 5 kg-scale NEXT-White at the Laboratorio Subterraneo de Canfranc (LSC) in the Pyrenees.

The detector NEXT-White (named after our late mentor and friend Prof. James White) is an electroluminescent (EL) TPC filled with xenon gas and equipped with photosensors to detect the UV light emitted in interactions occurring within the active volume. Charged particles deposit energy within the drift region, producing a track of ionized and excited xenon atoms. The UV light emitted in the relaxation of the excited xenon atoms, called primary scintillation or S1, is detected immediately and the ionized electrons are drifted toward a readout plane consisting of a narrow region of high electric field, the EL gap. In passing through the EL gap, the electrons are accelerated to energies high enough to further



La búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos, cuya observación implicaría una violación total del número de leptones y mostrarían que los neutrinos son partículas de Majorana, requiere excelente resolución energética para eliminar eventos de fondo en energías similares a la desintegración ($Q_{\beta\beta}$). La colaboración del Experimento de Neutrinos con una cámara de proyección Temporal (TPC) de Xenón (NEXT) busca esta desintegración mediante el uso de 100 kg de xenón enriquecido al 90% en el isótopo candidato ^{136}Xe ($Q_{\beta\beta} = 2457.8$ keV). En los últimos años, la colaboración NEXT ha desarrollado y operado varias TPC de xenón gaseoso, incluidos los detectores a escala de kg en Lawrence Berkeley National Lab (LBNL) y en el Instituto de Física Corpuscular (IFIC) y más recientemente el detector NEXT-White en la escala de 5 kg en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) en el Pirineo.

El detector NEXT-White (en honor a nuestro mentor y amigo Prof. James White) es una TPC electroluminiscente (EL) llena de gas xenón y equipada con sensores para detectar la luz UV emitida en las interacciones que ocurren dentro del volumen activo. Las partículas cargadas depositan energía dentro de la región de deriva del campo eléctrico, produciendo una traza de átomos de xenón ionizados y excitados. La luz UV emitida en la relajación de los átomos de xenón excitados, llamada centelleo primario o S1, se detecta de inmediato y los electrones ionizados se derivan hacia un plano de lectura que consiste en una región estrecha de alto campo eléctrico, la banda EL, donde se aceleran a energías lo suficientemente altas como para excitar aún más, pero no ionizar, los átomos del gas xenón, con la producción de fotones de centelleo secundario (S2) proporcional. Este proceso de amplificación, la electroluminiscencia, permite ganancias del orden de mil fotones por electrón con fluctuaciones más bajas que la ganancia de avalancha. Además, el tiempo transcurrido entre la observación de S1 y la llegada de S2 se puede utilizar para determinar la coordenada axial (z) en la que tuvo lugar la interacción.

En el detector NEXT-White, el centelleo primario (S1) y secundario (S2) se detecta mediante 12 tubos fotomultiplicadores (PMTs) Hamamatsu R11410-10, llamados plano de energía, colocados

excite, but not ionize, the atoms of the xenon gas, leading to the production of an amount of secondary scintillation photons (S2) proportional to the number of electrons traversing the gap.

This amplification process, electroluminescence, allows for gains on the order of thousand photons per electron with lower fluctuations than by avalanche gain. In addition, the time elapsed between the observation of S1 and the arrival of S2 can be used to determine the axial (z) coordinate at which the interaction took place.

In NEXT-White detector the primary (S1) and secondary (S2) scintillation are detected by an array of 12 Hamamatsu R11410-10 photomultiplier tubes (PMTs), called the energy plane, placed 130mm from a transparent wire mesh cathode held at negative high voltage. An electric field is established in the drift region defined by the cathode and another transparent mesh (the gate) located about 53 cm away. The EL region is defined by the mesh and a grounded quartz plate coated with indium tin oxide (ITO), placed 6mm behind it. A grid (10mm pitch) of 1792 SensL series-C silicon photomultipliers (SiPMs) is located behind the EL gap and measures the S2 scintillation, providing precise information on where the EL light was produced in xy. The active volume is shielded by an 60mm thick ultra- pure inner copper shell, and the sensor planes are mounted on pure copper plates of thickness 120mm. The sensor planes and active volume are enclosed in a pressure vessel constructed from the titanium- stabilized stainless- steel alloy 316Ti. The vessel sits on top of a seismic table, and a lead shield that can be mechanically opened and closed surrounds the vessel. The vessel is connected to a gas system through which the xenon gas is continuously purified via the use of a hot getter. The entire experimental area, including gas system, electronics, pressure vessel, and seismic table, are stationed on an elevated tramez platform at LSC.

In 2021, the NEXT detector collaboration completed the scientific exploitation of the NEXT-White detector by taking data with a) xenon enriched in ^{136}Xe and b) xenon depleted in the same isotope. The collaboration has obtained a significant measurement of the two-neutrino



a 130 mm de un cátodo de malla de alambre transparente sostenido en negativo alto voltaje. Se establece un campo eléctrico en la región de deriva definida por el cátodo y otra malla transparente (la puerta) ubicada a unos 53 cm de distancia. La región EL está definida por la malla y una placa de cuarzo con conexión a tierra recubierta con óxido de indio y estaño (ITO), colocada 6 mm detrás de ella. Una rejilla (paso de 10 mm) de 1792 fotomultiplicadores de silicio (SiPM) serie- C SensL se encuentra detrás del espacio EL y mide el centelleo S2, proporcionando información precisa sobre dónde se produjo la luz EL en xy. El volumen activo está protegido por una carcasa de cobre interno ultra puro de 60 mm de espesor, y los planos del sensor están montados en placas de cobre puro de 120 mm de espesor. Los planos del sensor y el volumen activo están encerrados en un recipiente a presión construido con la aleación de acero inoxidable al titanio. El recipiente encima de una mesa sísmica está rodeado por un escudo de plomo que se puede abrir y cerrar mecánicamente y conectado a un sistema de gas a través del cual el gas xenón se purifica continuamente. Toda el área experimental, incluido el sistema de gas, la electrónica, el recipiente a presión y la mesa sísmica, están estacionados en una plataforma elevada de tramez en el LSC.

En 2021, la colaboración NEXT completó la explotación científica del detector NEXT- White con la toma de datos con a) xenón enriquecido en ^{136}Xe y b) xenón empobrecido en el mismo isótopo.

La colaboración ha obtenido una medida significativa del modo de dos neutrinos, por

mode, by subtraction of the signals between a) and b), obtaining the measurement without depending on the radioactive background model of the detector, $2.34+0.8-0.5 \times 10^{21}$ years. Most of the collaborative action focused on the preparation of the components needed to build NEXT-100: copper shielding rods and cylinders, construction of the vessel, the energy plane and the tracking plane. The TPC components have been redesigned and manufacturing is progressing. All components will be ready in 2022 to begin assembly of the NEXT-100 detector.

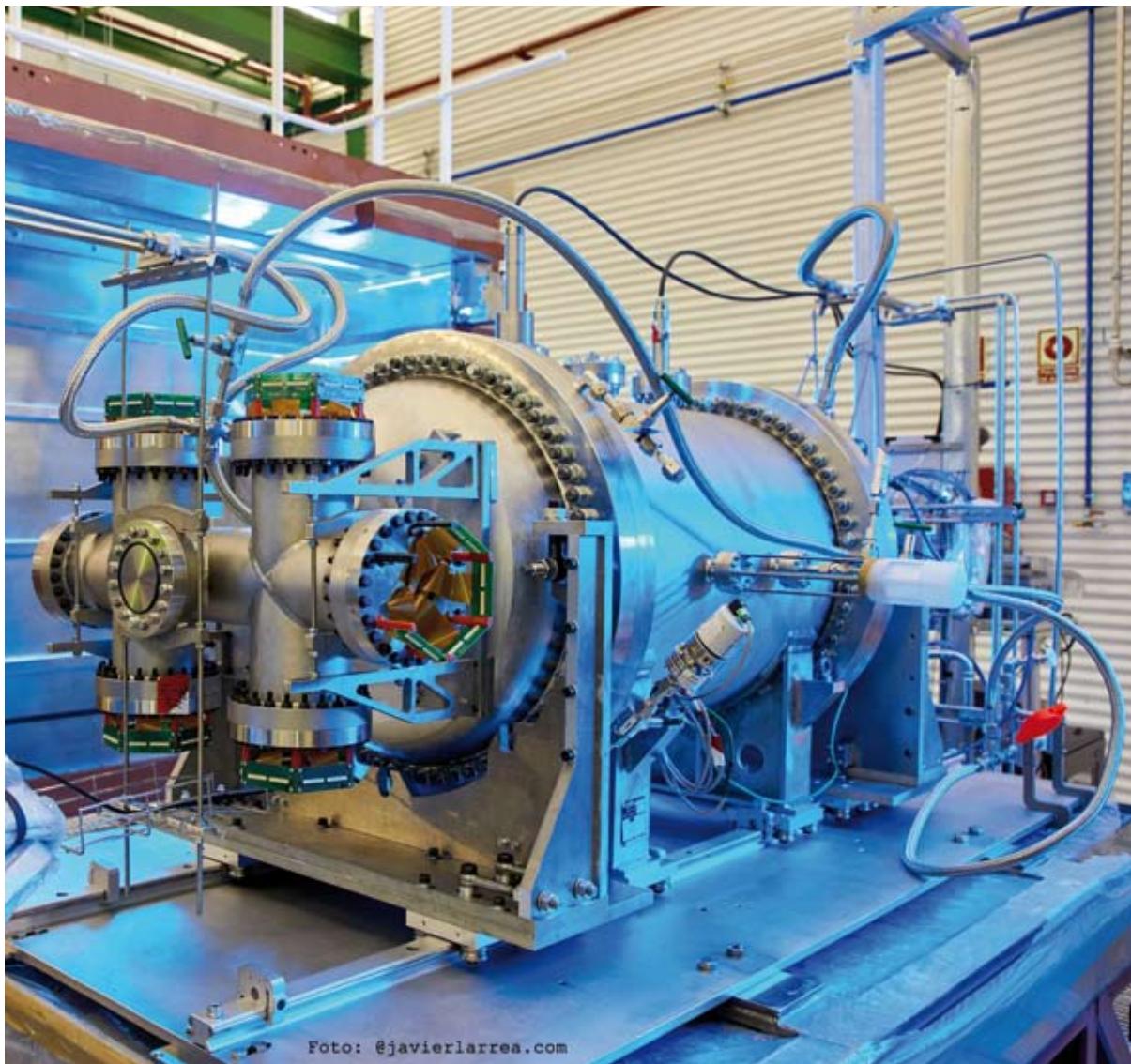
Previous research on the barium labelling technique was consolidated in 2021. The motivation for this line of research in the search for double beta is that a positive identification of the decays requires finding a signal that cannot be mimicked by radioactive backgrounds. In particular, the decay of ^{136}Xe could be established by detecting the doubly ionised daughter atom, Ba $2+$. Such detection could be achieved by a sensor consisting of a monolayer of molecular indicators. Ba $2+$ would be captured by one of the sensor molecules, and the presence of the single Ba $2+$ indicator would subsequently be revealed by a fluorescent response after interrogation with a laser system.

sustracción de las señales entre a) y b), obteniendo la medida sin depender del modelo de fondo radioactivo del detector, $2.34+0.8-0.5 \times 10^{21}$ años. La mayor parte de la acción de la colaboración se centró en la preparación de los componentes necesarios para construir NEXT-100: barras y los cilindros de blindaje de cobre, construcción de la vasija, el plano de energía y el plano de seguimiento. Los componentes de la TPC han sido rediseñados y su fabricación avanza. Todos los componentes estarán listos 2022 para comenzar el ensamblaje del detector NEXT-100.

En 2021 se consolidaron las investigaciones anteriores sobre la técnica de etiquetado del bario. La motivación de esta línea de investigación en la búsqueda de doble beta es que una identificación positiva de las desintegraciones requiere encontrar una señal que no pueda ser imitada por los fondos radiactivos. En particular, la desintegración del ^{136}Xe podría establecerse detectando el átomo hijo doblemente ionizado, el Ba $2+$. Dicha detección podría lograrse mediante un sensor formado por una monocapa de indicadores moleculares.

El Ba $2+$ sería capturado por una de las moléculas del sensor, y la presencia del indicador único con Ba $2+$ se revelaría posteriormente mediante una respuesta fluorescente tras la interrogación con un sistema láser. El sensor propuesto se basa





The proposed sensor is based on a new type of bicolour fluorescent molecular indicators, capable of shifting their emission spectra when bound to Ba²⁺. The interrogation and detection system will be based on fast two-photon absorption microscopy. The main objectives of the approved ERC SyG grant are: a) a full demonstration of the feasibility of a sensor capable of detecting single Ba²⁺ ions in a high-pressure xenon (HPXe) chamber, and b) the construction of a large (100 kg) HPXe demonstrator, the BOLD detector, which will implement a complete barium labelling detection system and demonstrate the feasibility of building a radioactive background-free experiment on the scale of tonnes, with great potential for discovery in the next generation of experiments.

en un nuevo tipo de indicadores moleculares fluorescentes bicolores, capaces de desplazar sus espectros de emisión cuando se unen al Ba²⁺. El sistema de interrogación y detección se basará en la microscopía de absorción rápida de dos fotones. Los objetivos principales de la subvención de la ERC SyG aprobada son: a) una demostración completa de la viabilidad de un sensor capaz de detectar iones individuales de Ba²⁺ en una cámara de xenón a alta presión (HPXe), y b) la construcción de un demostrador HPXe de gran tamaño (100 kg), el detector BOLD, que implementará un sistema completo de detección de etiquetado del bario y demostrará la viabilidad de construir un experimento sin fondo radioactivo a la escala de toneladas, con un gran potencial de descubrimiento en la próxima generación de experimentos.

SuperKGd

Used for both proton decay searches and neutrino physics, large water Cherenkov (WC) detectors, Super-Kamiokande being the largest one, have been very successful tools in particle physics. They are notable for their large masses and charged particle detection capabilities. While current WC detectors reconstruct charged particle tracks over a wide energy range, they cannot efficiently detect neutrons. Gadolinium (Gd) has the largest thermal neutron capture cross section of all stable nuclei and produces an 8 MeV gamma cascade that can be detected with high efficiency. Because of the many new physics opportunities that neutron tagging with a Gd salt dissolved in water would open up, a large-scale R&D program called EGADS was established, which features all the components of a WC detector, chiefly a 200-ton stainless steel water tank furnished with 240 photo-detectors, DAQ, and a water system that removes all impurities in water while keeping Gd in solution. The team tested the radiopurity with low background germanium detectors at Canfranc (Spain) and Boulby (UK), as well as with ICPMS measurements at Kamioka (Japan). EGADS has shown that Gd sulfate is essentially transparent to Cherenkov light, dissolves easily and homogeneously and can be produced to the required levels of radio-purity. Moreover, it can be removed in an efficient and economical way whenever needed. The success of EGADS has been key to the decision made by the Super-Kamiokande collaboration to refurbish the Super-K detector as a first step to load Gd sulfate and benefit from effective neutron tagging capabilities.

In 2021, Super-Kamiokande was running at a ~0.03% Gd₂(SO₄)₃ loading (nominal is 0.2%). The time required to dissolve the ~13 tons of Gd salt into the SK water was one month approximately (mid. July to mid. August). No major problems were encountered. SK is running normally; some minor effects have been detected that are currently being investigated to correct them. Preliminary measurements confirm that the SK's neutron tagging efficiency with the current solution is around the expected 50%.

Utilizados tanto para la búsqueda de desintegración de protones como para la física de neutrinos, los grandes detectores Cherenkov de agua (WC), siendo Super-Kamiokande el más grande, han sido herramientas muy exitosas en la física de partículas. Destacan por sus grandes masas y su capacidad de detección de partículas cargadas. Aunque los detectores WC actuales reconstruyen las pistas de partículas cargadas en un amplio rango de energía, no pueden detectar eficazmente los neutrones. El gadolinio (Gd) tiene la mayor sección transversal de captura de neutrones térmicos de todos los núcleos estables y produce una cascada gamma de 8 MeV que puede detectarse con gran eficacia. Debido a las muchas nuevas oportunidades físicas que abriría el marcado de neutrones con una sal de Gd disuelta en agua, se estableció un programa de I+D a gran escala llamado EGADS, que cuenta con todos los componentes de un detector de WC, principalmente un tanque de agua de 200 toneladas de acero inoxidable provisto de 240 fotodetectores, DAQ y un sistema de agua que elimina todas las impurezas del agua mientras mantiene el Gd en solución. El equipo probó la radiopureza con detectores de germanio de bajo fondo en Canfranc (España) y Boulby (Reino Unido), así como con mediciones ICPMS en Kamioka (Japón). EGADS ha demostrado que el sulfato de Gd es esencialmente transparente a la luz Cherenkov, se disuelve fácil y homogéneamente y puede producirse con los niveles de radiopureza requeridos. Además, puede extraerse de forma eficiente y económica siempre que sea necesario. El éxito de EGADS ha sido clave para la decisión tomada por la colaboración Super-Kamiokande de renovar el detector Super-K como primer paso para cargar el sulfato de Gd y beneficiarse de las capacidades efectivas de marcado de neutrones.

En 2021, Super-Kamiokande funcionaba con una carga de ~0,03% de Gd₂(SO₄)₃ (la nominal es de 0,2%). El tiempo necesario para disolver las ~13 toneladas de sal de Gd en el agua del SK fue de un mes aproximadamente (de mediados de julio a mediados de agosto). No se encontraron problemas importantes. El SK funciona con normalidad; se han detectado algunos efectos menores que se están investigando para corregirlos. Las mediciones preliminares confirman que la eficiencia de marcado de neutrones del SK con la solución actual está en torno al 50% esperado.

TREX-DM

The use of gas time projection chambers (TPCs) with Micromegas readouts has been recently proposed to search for low mass WIMPs, as part of the T-REX project. Many of the technical advantages exploited in the development of the detectors for axion research are of direct application also in this case. Namely, the possibility to build Micromegas readouts with radiopure materials and with a signal extraction scheme of extreme radiopurity or the capability to use topological discrimination techniques based on the highly granular readout. In addition, the way event detection happens in gas (i.e. drift of charge and signal amplification confined in the Micromegas structure) allows, in principle, to reach very low energy threshold even in relatively large size detectors. Another aspect, very important for application to WIMP searches, are the scaling-up prospects. Technical solutions for scaling-up via tessellation of identical microbulk detectors have been defined.

The TREX-DM TPC has been designed to host 0.3 kg of argon mass at 10 bar (or, alternatively, 0.16 kg of neon). It is composed of a cylindrical vessel made of radiopure copper, with an inner diameter of 0.5 m, a length of 0.5 m and a wall thickness of 6 cm. These dimensions are set by the requirements that the vessel holds up to 10 bar of pressure, while at the same time constitutes the innermost part of the shielding. The vessel is divided into two active volumes by a central mylar cathode, which is connected to high voltage by a tailor-made feedthrough. At each side there is a 19 cm long field cage defined by a series of copper strips imprinted on a kapton substrate supported by four teflon walls.

TREX-DM detector installation at LSC was completed in 2018 and the experiment has been in the commissioning phase since 2019. The gas system is fully installed, the shielding mounted (except for the neutron shielding), and the slow

Recientemente se ha propuesto el uso de las cámaras de proyección temporal (TPC) de gas con lecturas de Micromegas para buscar WIMP de baja masa, como parte del proyecto T-REX. Muchas de las ventajas técnicas explotadas en el desarrollo de los detectores de axiones son de aplicación directa: la posibilidad de construir lecturas de Micromegas con materiales radiopuros y con un esquema de extracción de señal de radiopuridad extrema o la capacidad de utilizar técnicas de discriminación topológica basadas en la lectura altamente granular. Además, la forma en que ocurre la detección de eventos en el gas (es decir, deriva de carga y amplificación de señal confinada en la estructura de Micromegas) permite, en principio, alcanzar un umbral de energía muy bajo incluso en detectores de tamaño relativamente grande. Otro aspecto, muy importante para la aplicación a las búsquedas WIMP, son las perspectivas de ampliación a través de la teselación de detectores idénticos.

La TPC TREX-DM ha sido diseñada para albergar 0,3 kg de masa de argón a 10 bar (o, alternativamente, 0,16 kg de neón). Se compone de un recipiente cilíndrico de cobre radiopuro, con un diámetro interno de 0,5 m, una longitud de 0,5 m y un espesor de pared de 6 cm, dimensiones establecidas por los requisitos de que el recipiente soporte hasta 10 bares de presión, mientras que al mismo tiempo constituya la parte más interna del blindaje. El recipiente está dividido en dos volúmenes activos por un cátodo central de mylar, que está conectado a alta tensión. A cada lado, hay una jaula de campo uniforme de 19 cm de largo definida por una serie de tiras de cobre impresas en un sustrato de kapton sostenido por cuatro paredes de teflón.

La instalación del detector TREX-DM en LSC se completó en 2018 y el experimento ha estado en la fase de pruebas desde 2019. El sistema de gas está completamente instalado, el blindaje



control system, readout electronics, and one detector plane are already operative.

First commissioning (calibration and background) data have been already taken at low pressure Ar, and their preliminary assessment was positive. The main points developed are: a) The detector is fully equipped and installed inside its lead castle. The gas system installation has been completed and certified by an authorized body to operate at high pressure. A first complete version of the slow control, sufficient to efficiently and safely operate the detector is already in place, and has been operative in continuous way. b) The inner part of the shielding, including the lead castle with the inner copper lining, the top structure, and the plastic enclosure to allow Rn-free air) flushing, are completed. c) Both calibration (with a ^{109}Cd source) and background runs have already been taken with Ar + 1% Isobutane at 1.5 bar. d) The background model of the TREX-DM setup is complete. During 2021, the collaboration has been working on understanding backgrounds, particularly radon emanation in the setup and preparing new micromegas detectors.

montado (excepto el blindaje de neutrones) y el sistema de control, la electrónica de lectura y uno de los planos del detector ya están operativos.

Los primeros datos de la puesta a punto (calibración y antecedentes) ya se han tomado con argón a baja presión, y su evaluación preliminar fue positiva. Los principales puntos desarrollados son: a) El detector está totalmente equipado e instalado dentro de su castillo principal. Se ha completado la instalación del sistema de gas y certificado para operar a alta presión. Ya existe una primera versión completa del sistema de control, suficiente para operar el detector de manera eficiente y segura, operativa de manera continua durante varias semanas. b) se ha completado el castillo de plomo con el revestimiento interno de cobre, la estructura superior y el recinto de metacrilato para aire libre de Rn). c) Tanto la calibración (con una fuente de ^{109}Cd) como los fondos ya se han tomado en argón con isobutano al 1% a 1,5 bar. d) Se ha completado el modelo de fondo de la configuración TREX-DM. En 2021, la colaboración ha estado caracterizando fondos, especialmente emanación de radón en el sistema.

Dark Matter in CCDs (DAMIC) has pioneered the detection of nuclear and electronic recoils induced by Dark Matter (DM) particles in charge-coupled devices (CCDs). Scientific CCDs are commonly used in the focal plane of astronomical telescopes for the digital imaging of faint astrophysical objects. Our non-standard use of CCDs was demonstrated at SNOLAB (Sudbury, Canada) where a 40-g prototype detector is currently operating. DAMIC-M is a 1 Kg detector to be installed at Laboratoire Souterrain de Modane (LSM) in France which profits from this experience and, at the same time, will greatly improve in sensitivity by further innovating the detector technology. CCDs show unique properties: a) unprecedented charge resolution, b) low leakage current, c) spatial resolution and 3D reconstruction, d) background identification and rejection.

A truly unique capability of DAMIC is that background can be identified and rejected as spatially correlated events occurring at different times, particularly relevant for ^{32}Si , a naturally occurring isotope in silicon and a dominant background contribution in the current generation of silicon detectors. DAMIC identifies by spatial correlation the ^{32}Si decay sequence, what would reduce this background by more than two orders of magnitude. DAMIC-M aims to limit the background to 0.1 event/kg/day/keV by detector shielding, careful screening and selection of materials, proper handling of several detector components to minimise cosmogenic activation. Specific activities to be carried out at LSC will include: 1) radiopurity measurements of DAMIC-M components for selection of materials. 2) installation of a low-background CCD test setup to characterize contamination of the new generation of CCDs, a new facility for LSC with unique screening capabilities, e.g. for cosmogenic ^{32}Si (a dominant background for next-generation silicon DM detectors) and surface backgrounds.

Materia Oscura en CCDs (DAMIC) ha sido pionero en las técnicas de detección de retrocesos nucleares y electrónicos inducidos por partículas de Materia Oscura (DM) en dispositivos de carga acoplada (CCD). Los CCD de uso científico se usan comúnmente en el plano focal de las cámaras de telescopios astronómicos para obtener imágenes digitales de objetos astrofísicos. Nuestro uso no estándar de los CCD se demostró en SNOLAB (Sudbury, Canadá) donde actualmente funciona un prototipo de 40 g. DAMIC-M es un detector de 1 Kg que se instalará en el Laboratorio Subterráneo de Modane (LSM) en Francia, que se beneficia de esta experiencia y, al mismo tiempo, mejorará su sensibilidad al innovar aún más la tecnología del detector. Los CCD muestran propiedades únicas: a) resolución de carga sin precedentes, b) baja corriente de fuga, c) resolución espacial y reconstrucción 3D, d) identificación y rechazo del fondo.

Una capacidad única de DAMIC es que el fondo se puede identificar y rechazar como eventos espacialmente correlacionados que ocurren en diferentes momentos, relevante para ^{32}Si , un isótopo natural del silicio y una contribución de fondo dominante en la generación actual de detectores de silicio. DAMIC identifica por correlación espacial la secuencia de descomposición ^{32}Si , lo que reduciría este fondo en más de un factor 100. DAMIC-M tiene como objetivo limitar el fondo a 0.1 eventos/kg/día/keV mediante el blindaje del detector, la medida radioactiva y selección de materiales, el manejo adecuado de componentes del detector para minimizar la activación cosmogénica. Las actividades específicas que se llevarán a cabo en LSC incluirán: 1) medidas de radiopureza de componentes para la selección de materiales. 2) instalación de un detector de bajo fondo para medir la contaminación de la nueva generación de CCD, una nueva instalación en el LSC con capacidades de detección únicas para el ^{32}Si cosmogénico (un fondo dominante para los detectores DM de silicio de próxima generación) y otros fondos radioactivos en superficie.

In the last decade, quantum microwave electronics using superconducting circuits (SCCs) has emerged as one of the leading candidates for the implementation of a coherent quantum processor. SCCs offer several advantages, such as ease of fabrication and design, but suffer from lower coherence times. Both energy relaxation (dissipation) and dephasing (frequency jitter) contribute to decoherence. The ultimate goal is to sufficiently suppress all decoherence mechanisms acting on superconducting qubits. On top of several types of microscopic and macroscopic imperfections, collective excitations above the superconducting gap or quasiparticles (QPs), are generated by phonons and by radioactive interactions, have been proven to be the one of the main contributors to decoherence, especially in high-impedance quantum bits and detectors, but also in certain transmon qubits, which are currently the industry standard.

The project Abatement of Radioactivity for Qubits (ARQ) is a novel technology is with a set of tools and methods that mitigates the presence of QPs in SCC used in the quantum regime. In order to establish a QP-free technology, the goals are: 1) Establish whether the future of quantum SCCs, relying on QP- free technology, can be envisaged in above- ground laboratories, where they are vulnerable to cosmic radiation, or whether work in deep (or shallow) underground laboratories will be required. 2) Quantify the QP suppression achievable above ground by the exploitation of heavily shielded cryostats and by careful selection and cleaning of all materials involved in the device fabrication and operation. 3) Propose and validate a self-contained software tool modelling the QP dynamics for the complex environment of realistic devices, including interaction with substrate phonons. Using the software tool, evaluate and implement mitigation techniques, such as phonon or quasiparticle traps. 4) Integrate the previous strategies in low and high-impedance qubits to be operated in a custom-design facility featuring low radioactivity and low noise.

En la última década, la electrónica cuántica de microondas que utiliza circuitos superconductores (SCC) ha surgido como uno de los principales candidatos para la implementación de un procesador cuántico coherente. Los SCC ofrecen varias ventajas, como la facilidad de fabricación y diseño, pero adolecen de menores tiempos de coherencia. Tanto la relajación de la energía (dissipación) como el dephasing (fluctuación de frecuencia) contribuyen a la decoherencia. El objetivo final es suprimir suficientemente todos los mecanismos de decoherencia que actúan sobre los qubits superconductores. Además de varios tipos de imperfecciones microscópicas y macroscópicas, se ha demostrado que las excitaciones colectivas por encima de la brecha superconductora o cuasipartículas (QP), generadas por los fonones y por las interacciones radiactivas, son uno de los principales factores que contribuyen a la decoherencia, especialmente en los bits y detectores cuánticos de alta impedancia, pero también en ciertos qubits de transmón, que son actualmente el estándar de la industria.

El proyecto Abatement of Radioactivity for Qubits (ARQ) es una tecnología novedosa es con un conjunto de herramientas y métodos que mitiga la presencia de QPs en el SCC utilizado en el régimen cuántico. Para establecer una tecnología libre de QP, los objetivos son 1) Establecer si el futuro de los SCC cuánticos, basados en la tecnología libre de QP, puede contemplarse en laboratorios sobre el suelo, donde son vulnerables a la radiación cósmica, o si será necesario trabajar en laboratorios subterráneos profundos (o poco profundos). 2) Cuantificar la supresión de QP que se puede conseguir en la superficie mediante la explotación de criostatos fuertemente blindados y mediante una cuidadosa selección y limpieza de todos los materiales que intervienen en la fabricación y funcionamiento del dispositivo. 3) Proponer y validar una herramienta de software autónoma que modele la dinámica del QP para el complejo entorno de los dispositivos realistas, incluyendo la interacción con los fonones del sustrato. Utilizando la herramienta de software, evaluar e implementar técnicas de mitigación, como trampas de fonones o cuasipartículas. 4) Integrar las estrategias anteriores en qubits de baja y alta impedancia para que funcionen en una instalación de diseño personalizado con baja radiactividad y bajo ruido.

EOI-26-2020

The High Efficiency Neutron-Spectrometry Array (HENSA) is an extended energy detection system for neutron spectrometry based on the Bonner Spheres principle [THO02]. The current version of HENSA is composed by ten different single detectors using 60 cm active length cylindrical thermal neutron counters (^3He -filled tubes). In order to provide sensitivity at different energy regions, each tube is embedded in a matrix of different materials, including High Density Polyethylene (HDPE) moderators, cadmium shielding and lead high energy neutron converters. The use of long ^3He - filled tubes provides HENSA with a neutron response \sim 5-15 times larger than conventional Bonner Spheres systems in the energy range from thermal up to 10 GeV. Related to dark matter detectors, particularly ANAIS and the DAMA/LIBRA signal, seasonal variations in the neutron flux could mimic an annual modulation in the experiment detection rate. For ANAIS success is of great relevance disposing of a good measurement of both, total neutron flux and spectra and possible long-term variations, in order to set a limit on the corresponding effect in ANAIS background and annual modulation analysis.

The joint HENSA and ANAIS propose to perform a characterization of the neutron flux at Hall B (energy spectrum and time evolution). This measurement is aimed for a precise determination of the neutron background and its possible seasonal fluctuation, affecting the ANAIS experiment. Specific activities to be carried out at Hall B include: 1) Detector tests in order to determine sensitivity of the system to electrical noise and vibrations in positions close to ANAIS experiment. 2) Long term study (year-scale) of possible modulation of the neutron flux using a reduced number of detectors from HENSA. 3) In-situ characterization of the total neutron flux using the full HENSA setup (3-6 months).

HENSA (High Efficiency Neutron- Spectrometry Array) es un sistema de detección de energía extendida para espectrometría de neutrones basado en el principio de las esferas de Bonner [THO02]. La versión actual de HENSA está compuesta por diez detectores individuales diferentes que utilizan contadores de neutrones térmicos cilíndricos de 60 cm de longitud activa (tubos llenos de ^3He). Para proporcionar sensibilidad en diferentes regiones de energía, cada tubo está incrustado en una matriz de diferentes materiales, incluyendo moderadores de polietileno de alta densidad (HDPE), blindaje de cadmio y convertidores de neutrones de alta energía de plomo. El uso de tubos largos llenos de ^3He proporciona a HENSA una respuesta neutrónica \sim 5-15 veces mayor que los sistemas convencionales de ‘Bonner Spheres’ en el rango de energía que va desde la térmica hasta los 10 GeV. En relación con los detectores de materia oscura, en particular ANAIS y la señal DAMA/LIBRA, las variaciones estacionales en el flujo de neutrones podrían imitar una modulación anual en la tasa de detección del experimento. Para ANAIS es de gran relevancia disponer de una buena medición tanto del flujo total de neutrones como de los espectros y de las posibles variaciones a largo plazo, con el fin de establecer un límite en el efecto correspondiente en el fondo de ANAIS y en el análisis de la modulación anual.

El proyecto conjunto de HENSA y ANAIS propone realizar una caracterización del flujo de neutrones en Hall B (espectro de energía y evolución temporal). Esta medición tiene como objetivo determinar con precisión el fondo de neutrones y su posible fluctuación estacional, afectando al experimento ANAIS. Las actividades específicas que se llevarán a cabo en el Hall B incluyen 1) Pruebas del detector para determinar la sensibilidad del sistema al ruido eléctrico y a las vibraciones en posiciones cercanas al experimento ANAIS. 2) Estudio a largo plazo (a escala anual) de la posible modulación del flujo de neutrones utilizando un número reducido de detectores de HENSA. 3) Caracterización in situ del flujo total de neutrones utilizando la configuración completa de HENSA (3-6 meses).

The expression of interest aims to build and commission an underground facility to grow ultra-high radiopurity NaI(Tl) scintillators. The strategy is based on the work done at Princeton by the group of F. Calaprice in the framework of the SABRE experiment, which proved the feasibility to make a high-purity 5-kg scale NaI(Tl) detector and carried out measurements at the Gran Sasso Laboratory. The facility will be used to make detectors to search for dark matter in a model-independent approach. The synergy between the collaborations SABRE (LNGS) and ANAIS (LSC) is a unique opportunity to face the DAMA/LIBRA finding with the most ultra-low NaI(Tl) background detector. Therefore, this proposal also aims to merge the expertise from the two collaborations.

Preliminary tests based on zone refining (ZR) show that a detector with a factor of five lower background in the ROI can be produced. A system has been designed and built by Princeton University in collaboration with Mellen Company. During ZR, impurities are moved to one end of the ingot by a moving ring oven. Impurities concentration is lower in the solid than in the liquid, so the crystal is purified. There will be a region on one end of the crucible with lower temperature to let Pb compounds to precipitate before entering the zone refining. Specific goals include: 1) Run a few growth tests on surface at Princeton and make background measurements by ICP-MS and direct counting at Princeton and LSC/LNGS. 2) Move equipment underground at LSC and perform underground growth and measurements. 3) Based on previous steps results and on availability of underground space and funding, we aim to build and run an experiment with about 50 kg of ultra-high purity NaI(Tl) detectors.

La expresión de interés tiene como objetivo construir y poner en marcha una instalación subterránea para cultivar centelleadores de NaI(Tl) de ultra alta pureza. La estrategia se basa en el trabajo realizado en Princeton por el grupo de F. Calaprice en el marco del experimento SABRE, que demostró la viabilidad de fabricar un detector de NaI(Tl) de gran pureza a escala de 5 kg y realizó mediciones en el Laboratorio Gran Sasso. La instalación se utilizará para fabricar detectores para la búsqueda de materia oscura en un enfoque independiente del modelo. La sinergia entre las colaboraciones SABRE (LNGS) y ANAIS (LSC) es una oportunidad única para afrontar el hallazgo de DAMA/LIBRA con el detector de fondo de NaI(Tl) más ultrabajo. Por lo tanto, esta propuesta también tiene como objetivo fusionar la experiencia de las dos colaboraciones.

Las pruebas preliminares basadas en el refinamiento de zonas (ZR) muestran que se puede producir un detector con un factor de cinco menos de fondo en el ROI. La Universidad de Princeton ha diseñado y construido un sistema en colaboración con la empresa Mellen. Durante la ZR, las impurezas se trasladan a un extremo del lingote mediante un horno de anillo móvil. La concentración de impurezas es menor en el sólido que en el líquido, por lo que el cristal se purifica. Habrá una región en un extremo del crisol con una temperatura más baja para dejar que los compuestos de Pb se precipiten antes de entrar en la zona de refinado. Los objetivos específicos incluyen: 1) Realizar algunas pruebas de crecimiento en superficie en Princeton y hacer mediciones de fondo por ICP-MS y recuento directo en Princeton y LSC/LNGS. 2) Trasladar el equipo al subsuelo en LSC y realizar crecimientos y mediciones subterráneas. 3) Basándonos en los resultados de los pasos anteriores y en la disponibilidad de espacio subterráneo y de financiación, pretendemos construir y realizar un experimento con unos 50 kg de detectores de NaI(Tl) de pureza ultra alta.

EoI-28-2021

The fourth phase of the NEXT program is called NEXT-HD, for which several possible technologies are being studied, and a baseline concept has been outlined. The design goal of NEXT-HD is not only to increase the isotopic mass of ^{136}Xe very substantially beyond that of NEXT-100, but also to achieve “Higher Definition” of the tracking technology by reducing electron diffusion using gaseous additives, or improving the granularity of the tracking system, or both. Exploration of gas mixtures involving either molecular or noble additives, and tracking technologies involving either dense SiPM planes or high-speed cameras, are ongoing for NEXT-HD within the NEXT collaboration.

EoI-29-2021

This experiment aims to evaluate the effect of reduced cosmic radiation (γ -rays, muons, neutrons) on the viability of bacterial communities recovered from high purity D₂O in the absence of externally added nutrients. To this end, the proposed experiments will take advantage of the low levels of ambient radiation that can be achieved in underground facilities in order to analyse microbial growth, and simultaneously determine by ICP-MS the possible metabolites present in the system. These studies will make it possible to address the effect of such radiation on the bacterial life cycle.

EoI-30-2021

Recent studies suggest that cosmic rays, and in particular muons, which constitute the dominant flux of particles reaching the Earth's surface, may play a very important role in evolution. Also, neutrons, another type of particle, may be the main cause of deleterious mutations during evolution. However, experimental work to quantitatively test these hypotheses to discover the role of cosmic radiation in the genomic mutation rate and, consequently, its role in evolutionary terms, is still lacking nowadays. This project proposes to investigate this problem by means of a new version of the classic Luria and Delbrück experiment (fluctuation test) under different levels of cosmic radiation to evaluate its possible role in the mutation rate of bacteria, and in the directedness (Lamarckism) vs. randomness (Darwinism) of mutations.

EoI-28-2021

La cuarta fase del programa NEXT se denomina NEXT-HD, para la que se están estudiando varias tecnologías posibles y se ha esbozado un concepto de base. El objetivo del diseño de NEXT-HD no es sólo aumentar la masa isotópica del ^{136}Xe muy sustancialmente por encima de la de NEXT- 100, sino también lograr una “mayor definición” de la tecnología de seguimiento reduciendo la difusión de electrones mediante aditivos gaseosos, o mejorando la granularidad del sistema de seguimiento, o ambas cosas. En el marco de la colaboración NEXT, se están explorando mezclas de gases con aditivos moleculares o nobles y tecnologías de seguimiento con planos SiPM densos o cámaras de alta velocidad.

EoI-29-2021

Este experimento tiene como objetivo evaluar el efecto de la radiación cósmica reducida (rayos γ , muones, neutrones) en la viabilidad de comunidades bacterianas recuperadas de D₂O de alta pureza en ausencia de nutrientes adicionados externamente. Para ello, los experimentos propuestos aprovecharán los bajos niveles de radiación ambiental que se pueden lograr en las instalaciones subterráneas con el objetivo de analizar el crecimiento microbiano, y simultáneamente, determinar mediante ICP-MS los posibles metabolitos presentes en el sistema. Estos estudios permitirán abordar cuál es el efecto de dicha radiación en el ciclo de vida bacteriano.

EoI-30-2021

Recientes estudios sugieren que los rayos cósmicos, y en particular los muones, que constituyen el flujo dominante de partículas que llega a la superficie de la Tierra, podrían desempeñar un papel muy importante en la evolución. También, que los neutrones, otro tipo de partículas, podrían ser la principal causa de mutaciones deletéreas durante la evolución. Sin embargo, a día de hoy, faltan trabajos experimentales destinados a probar cuantitativamente estas hipótesis para descubrir el papel de la radiación cósmica en la tasa de mutación genómica y, en consecuencia, su papel en términos evolutivos.

En este proyecto se propone investigar este problema mediante una nueva versión del clásico experimento de Luria y Delbrück (test de fluctuación) bajo diferentes niveles de radiación cósmica para evaluar su posible papel en la tasa de mutación de las bacterias, y en el carácter dirigido (Lamarckismo) vs. carácter aleatorio (Darwinismo) de las mutaciones.

EoI-31-2021

The Canfranc Axion Detection Experiment (CADEX) collaboration is building a new experiment to detect axion particles in the mass range 330-460 μeV . CADEX is an ambitious and innovative project employing new technology to measure axion signatures with a frequency of 90 GHz. For this purpose, the experiment will employ a microwave resonant cavity haloscope in a magnetic field inside a dilution refrigerator (at K or mK temperatures). More details can be found on the presentation at the 29th LSC Scientific Committee meeting (Dec 1, 2021).

EoI-31-2021

La colaboración del Experimento de Detección de Axiones de Canfranc (CADEX) está construyendo un nuevo experimento para detectar axiones en el rango de masas de 330-460 μeV . CADEX es un proyecto ambicioso e innovador que emplea una nueva tecnología para medir la señal del axión en radiofrecuencia de 90 GHz. Para ello, el experimento empleará una cavidad resonante de microondas (haloscopio) en un campo magnético dentro de un refrigerador de dilución (a temperaturas de K o mK). Se pueden encontrar más detalles en la presentación de la 29^a reunión del Comité Científico del LSC (1 de diciembre de 2021).

EoI-32-2021

A world-wide consensus exists that deep geological disposal is the best option for the safe confinement of spent nuclear fuel and long-lived radioactive waste. This proposal is based on wireless transmission of geotechnical data through clay rocks. Through its works, it aims to achieve a wireless monitoring system capable of operating with the measurement instrumentation commonly used for monitoring the main geotechnical parameters that are relevant for the operation of the future nuclear waste repository.

EoI-32-2021

Existe un consenso mundial de que el almacenamiento geológico a gran profundidad es la mejor opción para el confinamiento seguro del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos de larga duración. Esta propuesta se basa en la transmisión inalámbrica de datos geotécnicos a través de rocas arcillosas. A través de sus trabajos, se pretende conseguir un sistema de monitorización inalámbrico capaz de operar con la instrumentación de medida comúnmente utilizada para la monitorización de los principales parámetros geotécnicos relevantes para el funcionamiento del futuro almacén de residuos nucleares.

EoI-33-2021

Several studies have shown that experiments in underground laboratories with a low environmental radiation background consistently generate stressful conditions for all organisms tested so far (bacteria, fruit flies and human cells). This abiotic stress results in a change in the susceptibility of hosts to pathogen infection and a reduction of innate and adaptive immune responses, which drives the evolution of pathogens towards reduced virulence.

The aim of this experiment is to assess the effect of stress induced by low environmental radiation on the interaction between the model organism *Caenorhabditis elegans* and its natural pathogen, the nodavirus Orsay.

EoI-33-2021

Varios estudios han demostrado que los experimentos realizados en laboratorios subterráneos con un bajo fondo de radiación ambiental generan, de forma sistemática, condiciones estresantes para todos los organismos probados hasta el momento (bacterias, moscas de la fruta y células humanas). Este estrés abiótico da como resultado un cambio en la susceptibilidad de los huéspedes a la infección por patógenos y la reducción de las respuestas inmunitarias innatas y adaptativas, que impulsan la evolución de los patógenos hacia una virulencia reducida. El objetivo de este experimento es evaluar el efecto que tiene el estrés inducido por una baja radiación ambiental en la interacción entre el organismo modelo *Caenorhabditis elegans* y su patógeno natural, el nodavirus Orsay.

EoI-34-2021

Radiation can cause severe DNA damage. However, some micro-organisms have developed resistance mechanisms to survive under extreme levels of radiation. Some of these micro-organisms have been extensively studied for the key to their radioresistance, which could have many applications in genetic engineering and space exploration. In addition, the absence of radiation has been shown to have a negative impact on certain micro-organisms, leading to the hypothesis that this absence may lead to inefficient DNA repair systems.

This proposal proposes to study the molecular basis of the effect of environmental radiation on the genomic integrity of model organisms (prokaryotes and eukaryotes), and in turn, the development of improved microorganisms for survival in extreme environments, using conditions similar to those of Mars or the International Space Station, to study their possible implications in the development of environments conducive to life.

EoI-35-2021

The constant presence of background radiation as an abiotic component of the Earth's surface may have resulted in biophysical and biochemical effects derived from it being incorporated into fundamental cellular processes during the evolution of organisms living in near-surface environments. Reducing these radiation levels in underground laboratories has been shown to cause altered growth kinetics, differing between unicellular and multicellular organisms. This difference suggests that the state of cellular organisation may influence a different response to low background radiation.

The aim of this proposal is to study the contribution of cellular organisation in the response to low background radiation, investigating this response in unicellular near Metazoa models, which form multicellular structures during their life cycle or in response to environmental stimuli.

EoI-36-2021

Interest to envisage LiquidO related experimental operations towards $\beta\beta$ fundamental research in the near future at the LSC underground laboratory starting from 2022.

EoI-34-2021

La radiación puede causar graves daños en el ADN. Sin embargo, algunos microorganismos han desarrollado mecanismos de resistencia para sobrevivir bajo niveles extremos de radiación. Algunos de estos microorganismos han sido ampliamente estudiados en busca de la clave de su radioresistencia, lo que podría tener muchas aplicaciones en la ingeniería genética y en la exploración espacial. Además, la ausencia de radiación ha demostrado tener un impacto negativo en ciertos microorganismos, planteando la hipótesis de que esta ausencia puede generar sistemas de reparación del ADN inefficientes.

Esta propuesta plantea estudiar la base molecular del efecto que tiene la radiación ambiental sobre la integridad genómica de organismos modelo (procariotas y eucariotas), y a su vez, el desarrollo de microorganismos mejorados para la supervivencia en ambientes extremos, empleando condiciones similares a las de Marte o la Estación Espacial Internacional, para estudiar sus posibles implicaciones en el desarrollo de entornos propicios para la vida.

EoI-35-2021

La presencia constante de radiación de fondo como un componente abiótico de la superficie terrestre puede haber producido que se hayan incorporado efectos biofísicos y bioquímicos derivados de esta a los procesos celulares fundamentales durante la evolución de los organismos que viven en entornos cercanos a la superficie. La reducción de estos niveles de radiación en laboratorios subterráneos ha demostrado causar una alteración en la cinética de crecimiento, siendo diferente entre organismos unicelulares y multicelulares. Esta diferencia sugiere que el estado de organización celular puede influir en una respuesta distinta a la baja radiación de fondo.

El objetivo de esta propuesta es estudiar la contribución de la organización celular en la respuesta a la radiación de fondo bajo, investigando esta respuesta en modelos de unicelulares cercanos a Metazoa, que forman estructuras pluricelulares durante su ciclo de vida o en respuesta a estímulos ambientales.

EoI-36-2021

Interés en prever operaciones experimentales relacionadas con LiquidO hacia la $\beta\beta$ investigación fundamental en un futuro próximo en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc a partir de 2022.

PUBLICATIONS / PUBLICACIONES

Supernova Model Discrimination with Hyper-Kamiokande

Hyper-Kamiokande Collaboration•K. Abe(Zaragoza U. and Kamioka Observ. and Tokyo U., IPMU and Tokyo U.) et al. (Jan 13, 2021)
e-Print: 2101.05269 [astro-ph.IM]

Boosting background suppression in the NEXT experiment through Richardson-Lucy deconvolution

NEXT Collaboration•A. Simón(Ben Gurion U. of Negev) et al. (Feb 23, 2021), e-Print: 2102.11931 [physics.ins-det]

Annual Modulation Results from Three Years Exposure of ANAIS-112

J. Amare(Zaragoza U. and LSC, Canfranc), S. Cebrian(Zaragoza U. and LSC, Canfranc), D. Cintas(Zaragoza U. and LSC, Canfranc), I. Coarasa(Zaragoza U. and LSC, Canfranc), E. Garcia(Zaragoza U. and LSC, Canfranc) et al. (Mar 1, 2021)
e-Print: 2103.01175 [astro-ph.IM]

Phonon-mediated crystal detectors with rejection capability

of surface α and β particles assisted by metallic film coating

I.C. Bandac(LSC, Canfranc), A.S. Barabash(Kurchatov Inst., Moscow), L. Bergé(IJCLab, Orsay), Ch. Bourgeois(IJCLab, Orsay), J.M. Calvo-Mozota(LSC, Canfranc) et al. (Mar 12, 2021)
e-Print: 2103.07181 [physics.ins-det]

Double gamma decay as a probe of neutrinoless double beta decay nuclear matrix elements

B. Romeo, J. Menéndez and Carlos Peña Garay, e-Print: 2102.11101 [nucl-th]

Phonon-mediated crystal detectors with metallic film coating capable of rejecting α and β events induced by surface radioactivity

I.C. Bandac(LSC, Canfranc), A.S. Barabash(Kurchatov Inst., Moscow), L. Bergé(IJCLab, Orsay), Ch. Bourgeois(IJCLab, Orsay), J.M. Calvo-Mozota(LSC, Canfranc) et al. (Mar 12, 2021)
Published in: Appl.Phys.Lett. 118 (2021) 18, 184105 • e-Print: 2103.07181 [physics.ins-det]

The novel Mechanical Ventilator Milano for the COVID-19 pandemic

J. M. Calvo-Mozota (LSC Canfranc) et al. (Mar 23, 2021)

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0044445>

Supernova Model Discrimination with Hyper-Kamiokande

K. Abe^{1,2,3}, P. Adrich⁴, H. Aihara^{2,3,5}, R. Akutsu⁶, I. Alekseev⁷, A. Ali⁸, F. Ameli⁹, I. Anghel¹⁰, L. H. V. Anthony¹¹, M. Antonova¹² et al.

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/abf7c4>

Published 2021 July 20 • © 2021. The American Astronomical Society. All rights reserved. The Astrophysical Journal, Volume 916, Number 1

The Dynamics of Ions on Phased Radio-frequency Carpets in High Pressure Gases and Application for Barium Tagging in Xenon Gas Time Projection Chambers

NEXT Collaboration•B.J.P. Jones et al. (Sep 8, 2021) e-Print: 2109.05902 [physics.ins-det]

Background model of the ANAIS-112 dark matter experiment

J. Amare(U. Zaragoza (main) and LSC, Canfranc), S. Cebrian(U. Zaragoza (main) and LSC, Canfranc), D. Cintas(U. Zaragoza (main) and LSC, Canfranc), I. Coarasa(U. Zaragoza (main) and LSC, Canfranc), E. Garcia(U. Zaragoza (main) and LSC, Canfranc) et al. (Oct 15, 2021)

Contribution to: TAUP2021 • e-Print: 2110.08109 [physics.ins-det]

Machine-learning techniques applied to three-year exposure of ANAIS-112

I. Coarasa(Zaragoza U. and Unlisted,ES), J. Apilluelo, J. Amaré(Zaragoza U. and Unlisted,ES), S. Cebrián(Zaragoza U. and Unlisted, ES), D. Cintas(Zaragoza U. and Unlisted, ES) et al. (Oct 20, 2021) Contribution to: TAUP2021 • e-Print: 2110.10649 [astro-ph.IM]

Different Couplings Between Precipitation and Deformation at the Same Site: A Case Study at Central Pyrenees (Spain)

Antonella Amoruso, Luca Crescentini, Riccardo Costa

01 November 2021 <https://doi.org/10.1029/2021WR031081>

Measurement of the ^{136}Xe two-neutrino double beta decay half-life via direct background subtraction in NEXT

NEXT Collaboration•P. Novella et al. (Nov 22, 2021) e-Print: 2111.11091 [nucl-ex]

First results from the HENSA/ANAIS collaboration at the Canfranc Underground Laboratory

N. Mont-Geli(Barcelona, Polytechnic U.), A. Tarifeño-Saldivia(Barcelona, Polytechnic U.), S.E.A. Orrigo(Valencia U., IFIC), J.L. Tain(Valencia U., IFIC), M. Grieger(HZDR, Dresden) et al. (Nov 24, 2021) e-Print: 2111.12616 [nucl-ex]

Measurement of the neutron flux at the Canfranc Underground Laboratory with HENSA

S. E. A. Orrigo et al.

Proceedings of the 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2021) arXiv:2111.09202 [nucl-ex]

First measurement of the positive volume charge in a 1 litre dual-phase argon detector

Luciano Romero(Madrid, CIEMAT), Roberto Santorelli(Madrid, CIEMAT), Edgar Sánchez García(Madrid, CIEMAT), Thorsten Lux(Barcelona, IFAE and BIST, Barcelona), Michael Leyton(Barcelona, IFAE and BIST, Barcelona) et al. (Dec 29, 2021)

e-Print: 2112.14725 [physics.ins-det]

Radon Mitigation Applications at the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)

J. Perez-Perez, J.C. Amare, I.C. Bandac, A. Bayo, S. Borjabad-Sanchez et al. (Dec 31, 2021) e-Print: 2112.15371 [physics.ins-det]

GOVERNING BODIES / ORGANOS DE GOBIERNO

Governing Council/Consejo Rector

Gonzalo Arévalo Nieto, Dirección General de Planificación de la Investigación
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Enrique Navarro Rodríguez, Director General de Investigación e Innovación
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Rosa María Bolea Bailo, Vicerrectora de Política Científica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Jose Ignacio Doncel Morales, Subdirector General de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Iván Andrés Martínez, Secretario General Técnico de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Gloria Cuenca Bescós, Vicerrectora de Transferencia e Innovación Tecnológica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Executive Committee / Comisión Ejecutiva

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Francisco Herrada Martín, Jefe del Área de la Subdirección General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas
Ministry of Science and Innovation / Ministerio de Ciencia e Innovación

Iván Andrés Martínez, Secretario General Técnico de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Enrique Navarro Rodríguez, Director General de Investigación e Innovación
Government of Aragon / Gobierno de Aragón

Rosa María Bolea Bailo, Vicerrectora de Política Científica
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

Eduardo García Abancéns, Delegado del Rector para el LSC
University of Zaragoza / Universidad de Zaragoza

ADVISORY COMMITTEES / COMITÉS ASESORES

International Advisory Committee

Comité Científico Asesor Internacional

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

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

Teresa Marrodan - Max-Planck-Institut für Kernphysik (Germany)

Elvio Lisi - INFN, Bari (Italy)

Gabriella Catanesi - INFN, Bari (Italy)

Carlos Lacasta - CSIC, Inst. de Física Corpuscular, Valencia (Spain)

Olof Tengblad - CSIC, Madrid (Spain)

Paul Soler-Jermyn – University of Glasgow (Scotland)

Victoria Ley Vega - CSIC, Madrid (Spain)

Acknowledgments / Agradicimientos

The LSC would like to thank the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Government of Aragón and the University of Zaragoza for providing the financial support without which it could not pursue its mission of fundamental research and outreach. The LSC would also like to thank the Major of Canfranc and the Somport Tunnel Control Centre for the positive collaboration.

El LSC agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación, al 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.

