



Annual Report 2024

Safeguarding

SAFEGUARDING

Protect from harm or damage with an appropriate measure

Proteger de daños o perjuicios con las medidas adecuadas

CONTENTS

Director's Statement	5
Introduction	7
Report on LSC Activities 2024.....	14
Newsletters 2024	17
Events 2024.....	18
Snapshots	20
LSC in numbers	21
ANAIS	23
Baby IAXO.....	28
CROSS	29
DArT in ArDM	32
ICRQ	34
HENSA	36
JASC	38
NEXT	39
TREX-DM.....	42
BIOLOGY PLATFORM.....	44
PROPOSALS	47
Publications	51
Governing Bodies.....	53
Scientific Advisory Committee	53
Acknowledgements	54

EDITING

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

COVER PHOTO:

HK Implosion test in Palma

BACKCOVER IMAGE:

Sphaeroforma Arctica: PB-06-23

ÍNDICE

Presentación del Director.....	5
Introducción	7
Actividad del LSC 2024	14
Newsletters 2024.....	17
Snapshots	18
Eventos 2024.....	20
LSC in numbers.....	21
ANAIS	23
Baby IAXO.....	28
CROSS	29
DArT en ArDM	32
ICRQ	34
HENSA	36
JASC	38
NEXT	39
TREX-DM.....	42
PLATAFORMA DE BIOLOGÍA	44
PROPUESTAS	47
Publicaciones.....	51
Órganos de Gobierno.....	53
Comité Científico Asesor	53
Agradecimientos.....	54

EDICIÓN

Carlos Peña Garay
Yolanda Labarta

FOTO DE PORTADA

Test de Implosión HK en Palma

CONTRAPORTADA:

Sphaeroforma Arctica: PB-06-23



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, Innovation and Universities, 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 researchers, from all over the world, the opportunity to carry out cutting-edge science on physics, astrophysics as well as biology, geophysics and environmental science in its facilities of unique characteristics. In fact, underground facilities at the LSC, shielded from the natural cosmic rays' radiation, open the possibility to discover very rare phenomena.

LSC has been actively working on improving low radioactivity techniques, a necessary activity to match the more demanding requirements of future larger detectors to be built in the coming decade. The successful high purity Germanium detector installed in Hall C in 2023, GeRysy, served to sign a NDA with UJ and Mirion to develop two new gamma spectrometers to further improve the sensitivity to ultralow background radiation. In another frontline, LSC has achieved ppq sensitivities in the uranium content in copper samples, with the ICPMS-

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, Innovación y Universidades, 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 los investigadores la oportunidad de desarrollar ciencia de frontera en física fundamental y astrofísica, además de geología, biología y ciencias medioambientales, en su ubicación de características únicas. Las instalaciones del LSC, aisladas de la radiación cósmica natural, permitirán descubrir sucesos que ocurren con una probabilidad muy baja.

El LSC trabaja activamente en mejorar las técnicas de medida de baja radioactividad, para alcanzar los niveles de sensibilidad necesarios en la construcción de los grandes detectores del futuro. Los excelentes resultados del detector de germanio ultrapuro, GeRysy, instalado en el Hall C, han permitido firmar un acuerdo con UJ y Mirion para desarrollar dos nuevos espectrómetros gamma con aún mayor sensibilidad. LSC ha alcanzado sensibilidad en ppq en el contenido de uranio en cobre con el ICPMS-QQQ alojado en la sala limpia del subterráneo.

QQQ placed in the clean room underground. In collaboration with INFN researchers and the USA companies Mellen and RMD, the lab has been developing leading screening measurements in novel ultrapure sodium iodine crystals for dark matter searches.

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 coordinate the Spanish contributions for the construction of Hyper-Kamiokande experiment in Japan and the exploitation of the Biology Platform to host biology experiments and the cryogenics laboratory to test superconducting circuits in cosmic silence show that we are ready to face future challenges.

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.

En colaboración con investigadores del INFN y las compañías estadounidenses Mellen y RMD, el LSC ha desarrollado medidas de radiopureza en noveles cristales de yoduro de sodio ultrapuros para la búsqueda de materia oscura.

El compromiso de alojar un experimento de desintegración beta doble de vanguardia, NEXT-HD; el papel, de coordinar la contribución española a la construcción del experimento Hyper-Kamiokande en Japón y la explotación de la Plataforma de Biología para alojar experimentos de biología y del laboratorio de criogenia para explorar circuitos superconductores en silencio cósmico muestran que estamos preparados para afrontar los retos futuros.

El objetivo del LSC 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.



Neutrino physics @shutterstock/kakteen

@Ralf Kaehler/SLAC National Accelerator Laboratory, American Museum of Natural History

Introduction

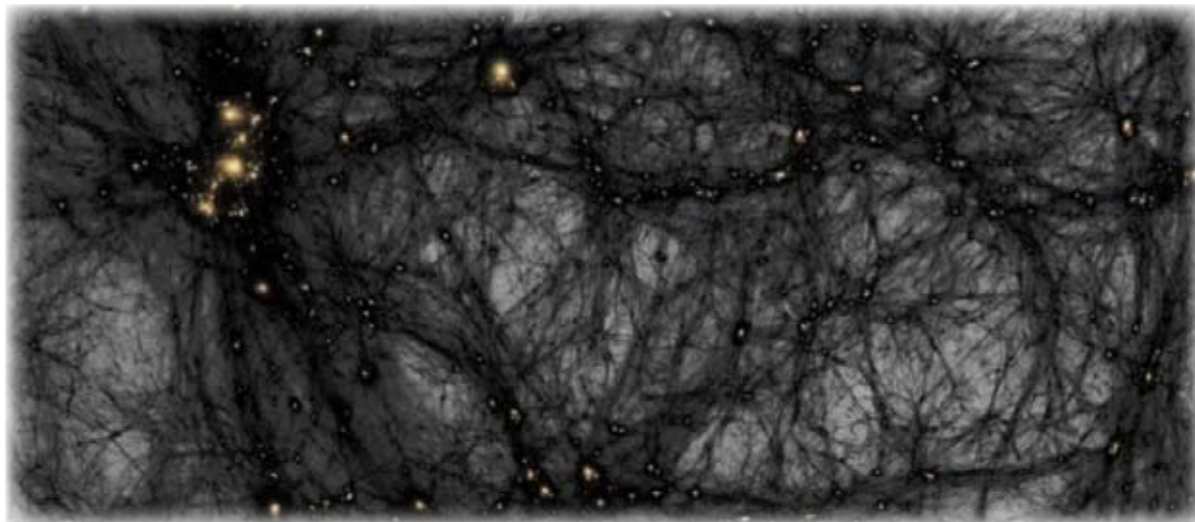
The Canfranc Underground Laboratory (LSC) is a first-class deep underground laboratory designed for research in neutrino physics, dark matter and other unusual phenomena in nature that require very low environmental radioactivity to be observed.

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

Introducción

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es un laboratorio a gran profundidad diseñado para la investigación en física de neutrinos, materia oscura y otros fenómenos inusuales en la naturaleza que requieren radioactividad ambiental limitada 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. El LSC, segundo laboratorio a gran profundidad más grande en Europa, colabora 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



Dark Matter @science.nasa.gov

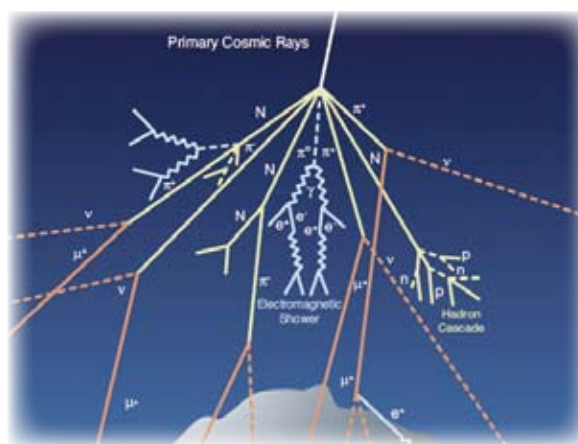
team from the University of Zaragoza, led by Angel Morales. Today, the LSC is a unique multidisciplinary scientific and technical facility (ICTS), regulated as a consortium formed by the Ministry of Science, Innovation and Universities, the Government of Aragon and the University of Zaragoza, with a surface area of 1.600 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 the LSC, 22 international collaborations, with more than 300 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 laboratories. In fact, the first elements of physics beyond

el trabajo pionero 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, Innovación y Universidades, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, con 1.600 m² de superficie y un volumen de 10.000 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 subterráneas anexas se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente, según su distancia a la boca española del túnel ferroviario. En el LSC, 22 colaboraciones internacionales, con más de 300 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.

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.



Cosmic Rays Image @CERN

El ruido de fondo irreducible es debido a los rayos cósmicos, originado por los protones,

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

y otros núcleos, cósmicos al golpear los núcleos de nitrógeno u oxígeno en la capa alta de la atmosfera. 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



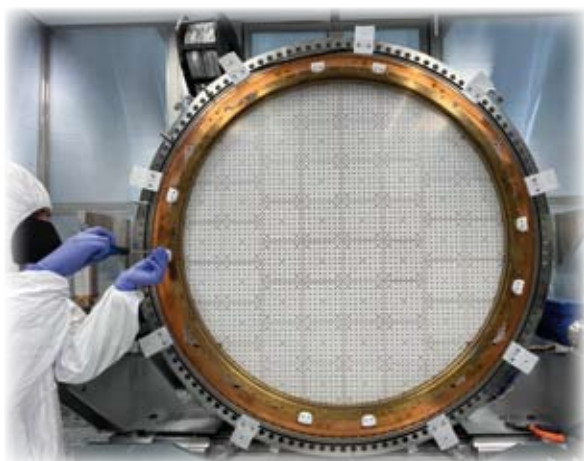
Particles observed in a fog chamber
Partículas observadas en una cámara de niebla

(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 contributes to this international effort in the direct search for the interaction of dark matter with ultra-pure detectors: 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.

(MS). Se ha probado con creciente precisión todas sus predicciones en las energías que son alcanzables con los aceleradores. Laboratorios subterráneos, como el LSC, alojan experimentos que proporcionan información científica que es complementaria. De hecho, los primeros elementos de la física más allá del modelo estándar se obtuvieron mediante experimentos subterráneos, como 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.

Moreover, DAMIC prototype, to measure the cosmogenic activation of silicon-based CCDs, and babyIAXO-D1 prototype, to measure the X-rays background of materials, have been built by IFCA and UNIZAR/CEA, respectively. 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 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 the 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-100 double beta disintegration experiment, a high-pressure detector based on electroluminescent projection chamber completed the NEXT-100 detector, with 100 kg of active material to address the search for double-beta disintegration without neutrinos.

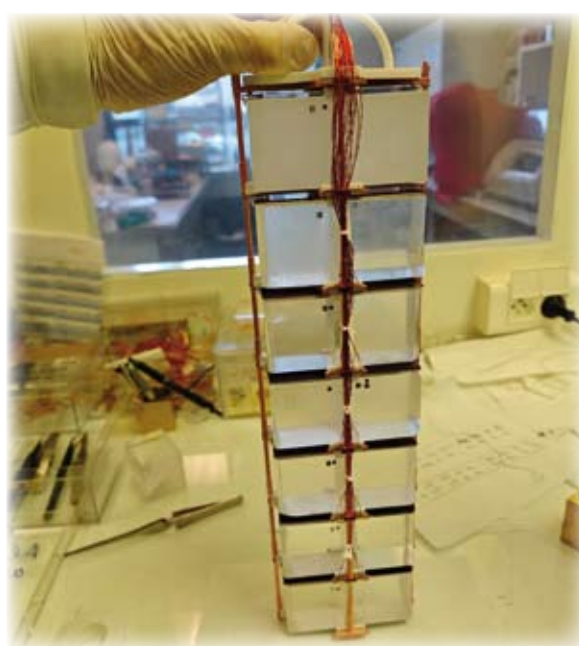


NEXT-100 Detector: Tracking plane

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

De entre ellas, las más relevantes en el contexto de ultra-baja radioactividad son la búsqueda de materia oscura, la búsqueda de la desintegración doble beta y la exploración de las condiciones de vida en bajo fondo radioactivo.

Solo 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 a la 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: ANAIS con centelleadores de NaI(Tl), el esfuerzo internacional más avanzado en verificar el resultado del experimento italiano DAMA/LIBRA; ArDM, el detector de argón como veto 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 han construido por el IFCA y UNIZAR/CEA.



CROSS crystals

conditions to reduce the background noise of the crystals with the help of the scintillation signal. Both projects have received European funding with Advanced Grants from the ERC. Other scientific areas benefit from the unique location of the LSC underground facilities. New experiments were proposed since 2020. On one hand, ICRQ, Interaction of Cosmic Rays on 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 explore axions with masses in W-band radio frequencies.

On the other hand, the LSC, in collaboration with LNGS and WIPP, is initiating a systematic exploration of the effects of low radioactivity on life. The reader will be familiar with studies on the damage of ionizing radiation to cells and organs, in particular to DNA. Extrapolation to the low radioactivity limit would seem to indicate, at first glance, that it benefits life. If so, it may surprise you that low radioactivity does not seem to benefit life processes, adapted to other conditions for billions of years. Preliminary experiments

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 dar lugar a reacciones o desintegraciones que no conservan el número de leptones, con la necesaria 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 asimetría materia-antimateria observada en el Universo y no explicada en el actual marco conceptual. 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-100, un detector de xenon a alta presión basado en una cámara de proyección temporal con 100 kg de xenon para buscar la desintegración doble beta sin neutrinos del xenon 136. Además, el proyecto CROSS para la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos con bolómetros basados en cristales de telurio o molibdeno está tomando datos en el Hall B, para reducir el ruido de fondo superficial de los cristales con ayuda de la señal de centelleo. Ambos



*Biology Platform experiment:
"DNA damage in yeast in low background radiation"*

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. Ten experiments were proposed since 2021, which have been exploring cellular mechanisms underground in bacteria and eukaria taxa since 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 geodynamics 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 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. The low and stable seismic noise inside the mountain has allowed it to be selected as a candidate to host future gravitational wave detectors.

These big questions about us and our environment: What is most of the matter in

proyectos han recibido financiación europea con Advanced Grants de la ERC.

Otras áreas científicas se benefician de la ubicación única de las instalaciones subterráneas del LSC, con nuevos experimentos que se han iniciado en desde 2020. Por una parte, ICRQ, interacción de los rayos cósmicos en qubits, propone instalar una estación criogénica de medida para caracterizar la influencia de la radiación en los qubits.

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 sorprenda que la baja radioactividad no parece beneficiar los procesos vitales. Los experimentos 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 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 en la célula. Cómo esta cascada degrada la energía en la célula para llegar a las energías de la química y la biología, es aún

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,...) and of the techniques necessary for their characterization (ultra-low background Germanium detectors, Radon emanation detectors, ...).



un área desconocida. Se han propuesto diez experimentos desde 2021, que están explorando mecanismos celulares en bacterias y eucariotas desde 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, GEODYN, que cubre el espectro, desde la sismicidad 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 orientados ortogonalmente, ambos bajo tierra, y una estación GNSS externa. El bajo y estable ruido sísmico dentro de la montaña ha permitido que sea seleccionada como candidata para alojar futuros detectores de ondas gravitacionales.

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? ¿Cómo altera la vida celular la baja radioactividad?, requieren de equipamiento de laboratorios y empresas tecnológicas. Espectrómetros gamma de ultra-bajo fondo, espectrómetros de masas con sensibilidad en ppq, 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. El LSC está interesado en desarrollos en la radio-pureza de los materiales (adquisición de cobre, plomo, polietileno de alta pureza; producción de cobre ultra-puro por electroformación,...) y de las técnicas necesarias para su caracterización (detectores de Germanio de ultra-bajo fondo, detectores de emanación de radón, ...).

Report Activities 2024

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, making it the most advanced experiment in the validation or refutation of this important experimental result with more than seven years of accumulated data. ArDM is being adapted to host DArT, an argon-39 trace detector, which is part of the constellation of the Global Argon Dark Matter Search Collaboration (GADMC). Other experiments and expressions of interest, TREX-DM, DAMIC and Baby-IAXO, have dedicated their efforts to the preparation of dark matter detection experiments and technologies. In double beta decay, the LSC collaboration completed the construction of the experiment. It marks the start of the preparation of the facilities at the LSC to host and support the construction of a one-tonne Xenon-enriched Xenon 136 detector based on the NEXT technique. In addition, the CROSS experiment has completed the first phase of measurements of the components needed to reduce the radioactive background in the experiment.



Actividad del LSC 2024

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 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 siete años de datos acumulados. ArDM se está adaptando para alojar DArT, un detector de trazas de argón-39, integrante de la colaboración global de búsqueda de materia oscura con argón (GADMC). Otros experimentos y EoIs, TREX-DM, DAMIC y Baby-IAXO, han dedicado sus esfuerzos en experimentos y tecnologías de detección de materia oscura. En desintegración doble beta, el LSC la colaboración ha completado la construcción del detector NEXT-100. 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 los componentes necesarios para reducir el fondo radiactivo en el experimento.

El LSC ha iniciado un programa de nuevas instalaciones en criogenia (alrededor de 10 mK) para alojar experimentos que permitan entender el impacto de los rayos cósmicos y la radioactividad natural en los circuitos superconductores, tanto en qubits, unidades básicas de la computación cuántica, como en KIDs. Los proyectos ICRQ y CADEX, de los que el LSC forma parte, prometen importantes resultados en el estudio del impacto de la radiación sobre estas unidades básicas.

Por otro lado, el LSC ha creado la plataforma de 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 resultados preliminares observados, menor respuesta al estrés oxidativo y supresión de mecanismos

The LSC has initiated a programme of new cryogenic facilities (around 10 mK) to host experiments to understand the impact of cosmic rays and natural radioactivity on superconducting circuits, both in qubits, the basic units of quantum computing, and in KIDs. The ICRQ and CADEX projects, of which the LSC is part, promise important results in the study of the impact of radiation on these basic units.

On the other hand, the LSC has created the biology platform to host experiments in low cosmic background and to unravel the cellular mechanisms that have adapted to cosmic radiation and that allow explaining the preliminary results observed, lower response to oxidative stress and suppression of DNA repair mechanisms, when hosted in low radiation environments.

Five of the eight experiments have been initiated, with several biological models and scientific questions, and the laboratory has completed the facilities and equipment to house them.

The laboratory leads the coordination of the Spanish contribution to the construction of the international Hyper-Kamiokande experiment, which includes the production of 20" PMT shells, the design of the ventilation and geomagnetic compensation systems, electronic data processing modules and radiation sources for calibration. LSC has signed an agreement with the Donostia International Physics Centre (DIPC), University of Girona (UdG), University of Oviedo (UO), Polytechnic University of Valencia (UPV) and the University of Santiago de Compostela (USC) for the activity of the research groups and the construction of the HK detector components in the framework of the European Recovery and Resilience Mechanism. LSC and the ICRR of the University of Tokyo signed the agreement for the in-kind contributions on the basis of the Memorandum of Understanding (MoU) signed in August 2022 by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities (MICIU), the High Energy Accelerator Research Organisation (KEK) and the University of Tokyo (U.Tokyo).

The LSC continues on the path initiated to strengthen the human resources that support the experiments and initiatives at

de reparación del ADN, cuando se aloja en ambientes de baja radiación.



Se han iniciado cinco de los ocho experimentos, con varios modelos biológicos y preguntas científicas, y el laboratorio ha completado las instalaciones y el equipamiento para alojarlas.

El laboratorio lidera la coordinación de la contribución española a la construcción del experimento internacional Hyper-Kamiokande, que incluye la producción de cubiertas de PMT de 20", el diseño de los sistemas de ventilación y de compensación geomagnética, módulos electrónicos de procesamiento de datos y fuentes de radiación para calibración. El LSC ha firmado un convenio con el Centro Internacional de Física de Donostia (DIPC), Universidad de Girona (UdG), Universidad de Oviedo (UO), Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y la Universidad de Santiago de Compostela (USC) para la actividad de los grupos de investigación y la construcción de los componentes del detector HK en el marco del Mecanismo Europeo de Recuperación y Resiliencia. LSC y el ICRR de la Universidad de Tokio firmaron el acuerdo de las contribuciones en especie sobre la base del memorando de entendimiento (MoU) firmado en agosto de 2022 por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU) de España, la Organización de Investigación de Aceleradores de Alta Energía (KEK) y la Universidad de Tokio (UTokyo).

El LSC sigue el camino iniciado para fortalecer los recursos humanos que dan soporte a los experimentos e iniciativas en el LSC.

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.

AGREEMENTS

ETH Zurich has signed an agreement with the LSC on the exploitation of the ArDM installation by the lab before dismantling. ArDM will serve as an active veto of the DArT cryostat to measure the Argon-39 isotope content in underground argon. Moreover, the DarkSide Collaboration has signed an exclusivity agreement with the LSC, so that the DArTinArDM experiment will be measuring the DarkSide underground argon.

In the project of the Spanish contribution to the construction of the Hyper-Kamiokande experiment, LSC and the University of Tokyo have signed two Collaboration Research Agreements (CRA) for 1) the procurement of Data Processing Blocks and installation components of the HK electronics and 2) for the procurement of the 20 km coil to compensate the geomagnetic field.

The agreement defining the terms of Research Collaboration (RC) and Transnational Access (TA) between the Laboratori Nazionali del Gran Sasso (INFN-LNGS) and the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) has been implemented with the protocols to request services and collaboration. Users at LNGS and LSC will benefit from a dedicated agreement to access experimental surface and underground areas, ultra-low background services and installations to support collaboration.

LSC, Mirion Technologies and Jagiellonian University signed a Non-Disclosure Agreement to develop new HPGe gamma spectrometers, to further improve on the current HPGe GeRysy. The agreement includes the screening and development of materials to reduce the radioactive background

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.

ACUERDOS

El ETH Zurich ha firmado un acuerdo sobre la cesión al LSC de las instalaciones ArDM, para su explotación antes del desmantelamiento. ArDM servirá como veto activo del criostato DArT, que medirá el contenido en Argón-39 del argón subterráneo. Además, la colaboración DarkSide ha firmado un acuerdo de exclusividad con el LSC, de modo que el experimento DArTinArDM medirá el argón subterráneo del experimento DarkSide.

En el marco de la contribución española a la construcción del experimento Hyper-Kamiokande, LSC y la Universidad de Tokio han firmado dos acuerdos de colaboración en investigación (CRA) para 1) la adquisición de bloques de procesamiento de datos y componentes de instalación de la electrónica de HK y 2) la adquisición de 20 km de cable para reducir el campo geomagnético.

El acuerdo que define los términos de Colaboración en Investigación (RC) y Acceso Transnacional (TA) entre el Laboratori Nazionali del Gran Sasso (INFN-LNGS) y el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) se ha hecho práctico con los protocolos para solicitar servicios y colaboraciones. Los usuarios de LNGS y LSC se beneficiarán de un acuerdo específico para acceder a áreas experimentales en los laboratorios subterráneos, instrumentación de fondo ultra-bajo e instalaciones para respaldar la investigación en ambos sitios.

El LSC, Tecnologías Mirion y la Universidad Jaguelónica han firmado un acuerdo de confidencialidad para desarrollar nuevos espectrómetros gamma basados en HPGe, para mejorar el actual HPGe GeRysy. El acuerdo incluye la caracterización y desarrollo de los materiales necesarios para reducir el fondo radiactivo en la vecindad del detector.



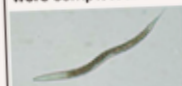
New HK Implosion Tests



The 6th implosion test campaign, was successfully completed in February. These campaigns aim to validate the viability of the protective covers of the sensors of the future HK telescope. This time, it was confirmed that the Spanish prototypes were suitable for operating in conditions equivalent to those of the telescope, i.e. at a depth of 80 m.

Bio Platform Experiment completed

The onsite works of experiment PB-02-22: "Effect of low radiation and microgravity on *C.elegans* infection" were completed.



Staff from the Evolutionary Systems Virology group (I2SysBio) conducted assays that quantitatively show the effects of low radiation and microgravity on viral infection and intestinal permeability.

Scientific Day for Highschools

On 6 March, the LSC held a Scientific Day aimed at science students in the 2nd year of the high schools of Jaca. The students participated in different workshops and learned about the most commonly used techniques at the LSC, such as copper electroforming or gamma spectroscopy.



Other relevant LSC Publications:

[A measurement of the sodium and iodine scintillation quenching factors across NaI\(Tl\) detectors](#)
D. Cintas et al., e-Print: 2402.12480 [hep-ex]
[Second gadolinium loading to Super-Kamiokande](#)
K. Abe et al., e-Print: 2403.07799 [physics.ins-det]
[CLYC as a neutron detector in low background conditions](#)
J. Plaza, V. Bécarrés, D. Cano-Ott, C. Gómez, T. Martínez et al. Eur.Phys.J.C 83 (2023) 11, 1049



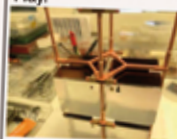
HK Workshop in Barcelona



A total of 20 scientists and technicians from Spain and Japan met on 28th of April in Barcelona to discuss different cover designs for Hyper-Kamiokande telescope will detect neutrinos thanks to 22000 (PMTs) placed inside the tank. After this meeting we are one step closer to the final design and the start of mass production.

CROSS RUN 10 is underway

RUN 10 is a general test of the CROSS demonstrator. A tower of 14 scintillating bolometers was assembled in Orsay and then installed in the CROSS cryogenic facility in Canfranc in May.



Each scintillating bolometer consists of a large cubic crystal containing the double beta isotope (¹⁰⁰Mo and ¹³⁰Te) and of a light detector.

New setup of DAMIC-M

Since June, the LSC has a new cutting-edge setup for reading scientific charge-coupled devices with an extraordinary capability: they can count electrons! It is currently in the commissioning phase, where the equipment is being tested, but environmental background measurements are expected soon.



Other relevant LSC Publications:

[Fluorescence Imaging of Individual Ions and Molecules in Pressurized Noble Gases for Barium Tagging in ¹³⁶Xe](#) NEXT Collaboration M. Byrnes (Texas U., Arlington) et al. (May 20, 2024)
e-Print: 2406.15422 [physics.ins-det]
[Canfranc biology platform: exploring life in cosmic silence](#)
Rebecca Hernández-Antón, Laura Cid-Barrio and Carlos Peña-Garay, LSC Front. Phys. 12:1397799, DOI 10.3389/fphy.2024.1397799 (April 24, 2024)
[A ¹³⁶Xe-112 three years data: a sensitive model independent negative test of the DAMA/LIBRA dark matter signal](#) Iván Comas et al. (Apr 26, 2024) e-Print: 2404.17348 [astro-ph.IM]

Newsletters 2024



Alfa "sneaks into" the LSC



Alfa, the nuclear safety and radiological protection magazine of the Nuclear Safety Council (CSN), dedicates an article and its cover to the LSC, staying true to its spirit of promoting knowledge in science and technology in an accessible language and straightforward manner.

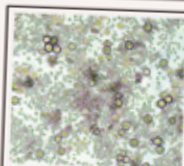
Acquisition of water tank

The LSC has acquired a tank with a capacity of 40 tons of water, intended for veto in large-scale physics experiments.



For the next two years, this water tank is located at CERN (Geneva, Switzerland) as part of the WCTE experiment, a project to test multiPMTs performance for Hyper-Kamiokande.

Bio Platform



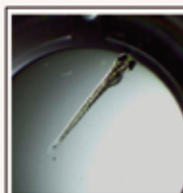
After 6 months at the LSC, the first biology experiment on the "Multicellular structure formation in response to low level background radiation" with *Sphaerobacter* arctica, a single-celled organism related to animals, has been completed. The goal is to study the origin of multicellularity from unicellular organisms.

Other relevant LSC Publications:

[Neutrino halo profiles: HR-DEMUN simulation analysis](#)
Beatriz Hernández-Molinero (LSC, Canfranc) et al., JCAP 09 (2024) 033.
[Cross-correlations of the Cosmic Neutrino Background: HR-DEMUN simulation analysis](#)
Beatriz Hernández-Molinero (LSC, Canfranc) et al., e-Print: 2407.13727.
[Development of large-volume ¹³⁰TeO₂ bolometers for the CROSS 26-decay search experiment](#)
F. T. Avignone (U. south Carolina, Columbia) et al., JINST 19 (2024) 09.



Bio Platform GraCosFish Experiment



The first experiment with vertebrates was conducted at the LSC in October, with the aim to study the impact of microgravity and the absence of radiation on two species of fish. The results of GraCosFish will bring us closer to the possibility of raising fish in space.

LSC's New Center at Walqa

On November 7, The director of Walqa, Huesca's technology park, and the mayor of Huesca welcomed the LSC's new logistics center.



At this center, the PMT covers of the Hyper-Kamiokande experiment will be stored and undergo quality control before being shipped and installed in Japan in 2026.

1st Radon R&D&I Workshop



The LSC hosted the first workshop dedicated to Radon R&D&I. The objective of this meeting was to bring together the different groups working on research projects related to the Radon problem in Spain and underlined the importance of fostering new projects that generate knowledge.

Other relevant LSC Publications:

[Precise ¹³⁶Xe \$\alpha\$ decay spectral shape measurement and interpretation in terms of possible \$\alpha\$ quenching](#)
J.M. Calvo-Mozota (LSC, Canfranc), L. Berge (ICLab, Orsay) et al. (Nov 5, 2024)
Published in: Eur.Phys.J.C 84 (2024) 11, 1158 e-Print: 2411.02944 [nucl-ex]
[Preparation for Mass Production and Quality Assurance of mPMT module for Hyper-Kamiokande experiment](#)
Hyper-Kamiokande Collaboration A. di Nola (Naple U.) et al. (Nov 16, 2024)
Nucl.Instrum.Meth.A 1071 (2025) 170082



DArT Collaboration Meeting January 30 to February 1, 2024

The DArTinArDM experiment held a collaboration meeting where the progress of the ArDM and DArT actions were presented and the short-term challenges for the construction of DArT2 and its insertion in ArDM were discussed.

Reunión de la colaboración de DArT

30 de enero al 1 de febrero, 2024

El experimento DArTinArDM celebró una reunión de la colaboración donde se mostraron los avances tras las actuaciones en ArDM y DArT y se abordaron los retos a corto plazo de cara a la construcción de DArT2 y su inserción en ArDM.

Events/Eventos 2024



Scientific Day for Highschool students March 6, 2024

The LSC held a Scientific Day aimed at science students in the 2nd year of Bachillerato from the high schools of Jaca. During this day, the students participated in different workshops and learned about the most commonly used techniques at the LSC, such as copper electroforming or gamma spectroscopy. The day ended with a visit to the underground facilities.

Jornada Científica para Estudiantes 6 de marzo 2024

El LSC celebró una Jornada Científica dirigida a estudiantes de ciencia de 2º de Bachillerato de los institutos de Jaca. Durante esta jornada los alumnos participaron en diferentes talleres y aprendieron sobre las técnicas más utilizadas en el LSC como la electroformación de cobre o la espectroscopía gamma. El día terminó con una visita a las instalaciones subterráneas.

Transfiere 2024

March 20-22, 2024

Transfiere, the European Forum for Science, Technology and Innovation, held its 13th edition with the aim of promoting the transfer of scientific and technological knowledge, improving competitiveness and generating new business and collaboration opportunities to help define the roadmap of the European R&D&I agenda and its convergence on the global stage. The LSC participated in a stand together with four other ICTS.

Transfiere 2024

20 a 22 de marzo 2024

Transfiere, Foro Europeo para la Ciencia, Tecnología e Innovación, celebró su decimotercera edición con el objetivo de impulsar la transferencia de conocimiento científico y tecnológico, mejorar la competitividad y generar nuevas oportunidades de negocio y colaboración que ayuden a definir la hoja de ruta de la agenda I+D+i europea y su convergencia en el escenario global. El LSC participó en un stand junto a otras cuatro ICTS.



34th meeting of the LSC's Advisory Committee
May 21-22, 2024

In this meeting the Committee heard presentations from the experiments: ANAIS, CROSS, NEXT and DAMIC. In addition, the researcher Igor García Irastorza (Univ. Zaragoza) presented the project 'DarkQuantum', a proposal for an underground haloscope with quantum sensors to advance in the study of dark matter, for which he received in October 2023 a 'Synergy Grant' with an endowment of almost 13M€ for 6 years.

34º Reunión del Comité Científico
Asesor del LSC
21 y 22 de mayo 2024

Durante esta reunión, el Comité escuchó presentaciones de los experimentos: ANAIS, CROSS, NEXT y DAMIC.

Además, el investigador Igor García Irastorza (Univ. Zaragoza) expuso el proyecto "DarkQuantum", una propuesta de haloscopio subterráneo con sensores cuánticos para avanzar en el estudio de la materia oscura, por el que recibió en octubre del 2023 una "Synergy Grant" con una dotación de casi 13M€ para 6 años.

35th meeting of the LSC Scientific Advisory Committee
November 5-6, 2024

In this meeting the Committee heard presentations from the experiments: DArT, BabyIAXO, TREX-DM, and NEXT

In addition, researcher Juan José Gómez Cadenas (DIPC) shared the future plan for the NEXT experiment, which includes the development of NEXT-HD: a TPC with 1 ton of enriched xenon, designed for the search for neutrinoless double beta decay.

35ª reunión del Comité Científico
Asesor del LSC
5 y 6 de noviembre 2024

El Comité escuchó las presentaciones de los experimentos: DArT, BabyIAXO, TREX-DM y NEXT.

Además, el investigador Juan José Gómez Cadenas (DIPC) compartió el futuro plan para el experimento NEXT, que incluye el desarrollo de NEXT-HD: una TPC con 1 tonelada de xenón enriquecido, diseñada para la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos.

Celebration of the 1st Radon R&D&I Workshop.

November 11-13, 2024

From November 11 to 13, the LSC hosted the first workshop dedicated to Radon R&D&I, with a wide participation of experts and scientists.

The objective of this meeting was to bring together the different groups working on research projects related to the Radon problem in Spain.

The conferences promoted scientific exchange and underlined the importance of fostering new projects that generate knowledge and solutions for the benefit of society as a whole.

Celebración del 1º Workshop I+D+i en Radón.

11-13 de noviembre 2024

Del 11 al 13 de noviembre, el LSC fue anfitrión del primer encuentro dedicado a la I+D+i en radón, con una amplia participación de expertos y científicos.

El objetivo de este encuentro fue reunir a los distintos grupos que trabajan en proyectos de investigación relacionados con la problemática del radón en España.

Las conferencias promovieron el intercambio científico y subrayaron la importancia de impulsar nuevos proyectos que generen conocimiento y soluciones en beneficio de toda la sociedad.



Snapshots



Scientific Consortium Directors' Meeting, January 2024

The aim of this meeting was to discuss issues common to the consortiums, to identify techniques exportable from one consortium to another and to coordinate common actions.

Open Day, October 2024

Another year, another success!

Over 300 people participated both on the overground activities and the underground visits.



Inauguration of the LSC's New Center at Walqa, November 7, 2024

On November 7th, the director of Walqa and the mayor of Huesca welcomed the LSC to the Walqa ecosystem, Huesca's technology park, where the LSC has established a new logistics center. At this center, the PMT covers of the Hyper-Kamiokande experiment will be stored and undergo quality control before being shipped and installed in Japan in 2026.



International Day of Women and Girls in Science, February 2024

Women scientist from the LSC celebrated this day for yet another year.



LRT2024 October 2024

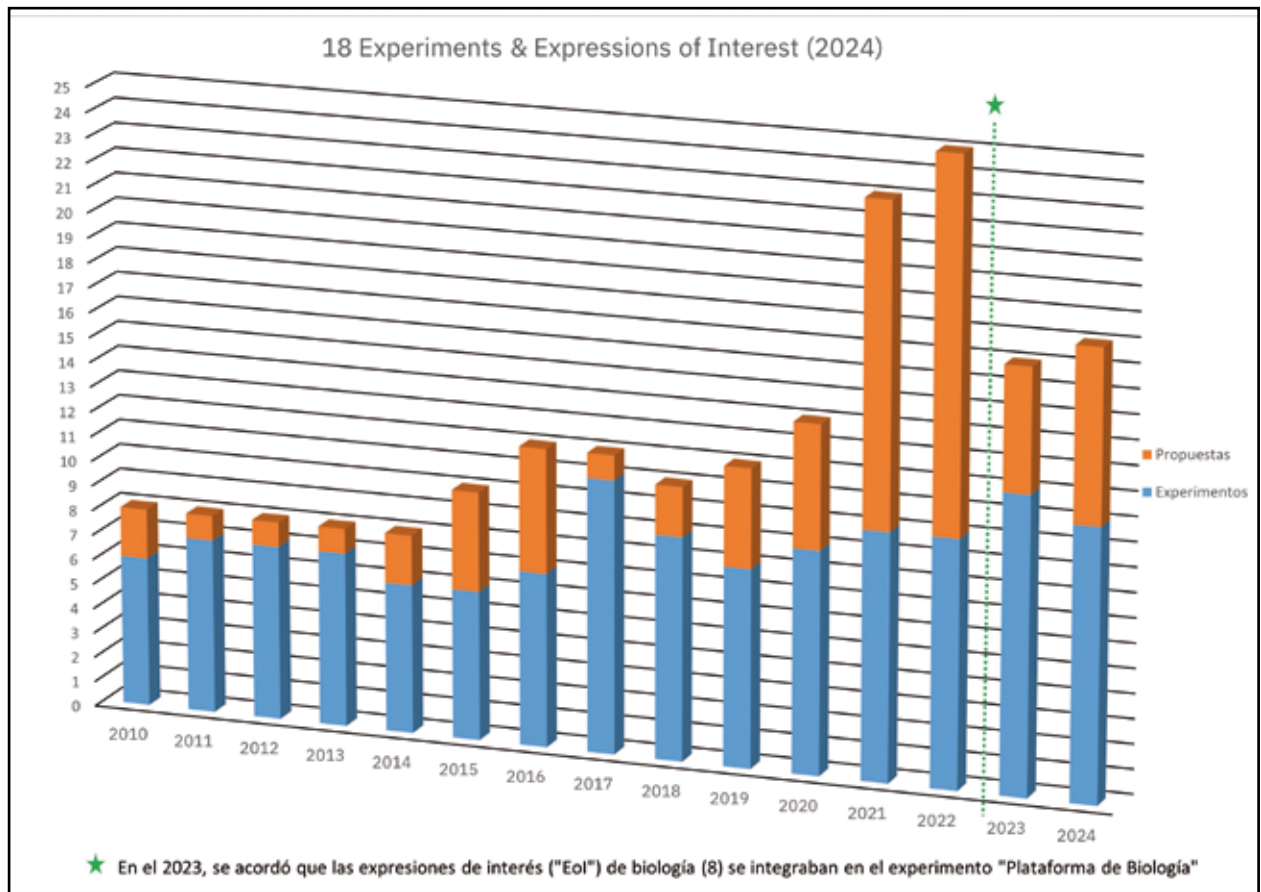
Laura Cid and Silvia Borjabad presented the Low Radioactivity Techniques workshop, held in Krakow (Poland) the latest developments and results of the "Mass Spectrometry (ICP-MS)" and "Copper Electroforming services of the LSC.



Reunión at the XVI Communication and School Forum October 2024

Pipo Bayo and Beatriz Hernández reunited in Asturias with the students who participated in the 1st LSC Scientific Classroom for ESO students.

LSC Experiments in Numbers



Hall A: Main experimental hall at LSC

Indicadores y nivel de cumplimiento en el 2024

Indicators and level of compliance in 2024

OBJETIVOS	ACTUACIONES	INDICADOR	PONDERACIÓN INDICADORES	PONDERACIÓN OBJETIVO
OBJETIVO 1 Estabilización del personal	Ampliación de la plantilla de trabajadores contratados por el LSC y del número total de investigadores residentes.	Contratación de Tec. Lab. Física, Química y Bioquímica	5%	20%
		Contratación de Tec. Altamente Esp. en técnicas de radioactividad	5%	
		Contratación de Tec. Altamente Esp. en refrigeradores dilución	5%	
		Contratación de Tec. Altamente Esp. en gases y baja radiación	5%	
OBJETIVO 2 Seguridad Instalaciones	Seguridad en la tienda limpia del Hall A	Informe Jefe de seguridad y responsable de tienda limpia.	5%	15%
	Niveles de radón y microbiológicos	Informes de seguimiento.	5%	
	Seguridad de instalaciones Walqa	Informes de seguridad.	5%	
OBJETIVO 3 Mejora de instalaciones	Inicio de la construcción masiva de componentes HK	Licitación preparada en espera de aprobación de la publicación por el Consejo Rector.	4%	20%
	Adquisición de un refrigerador de dilución	Licitación publicada.	4%	
	Instalación tanque de agua	Licitación publicada, tanque entregado.	4%	
	Instalación criogénica	Licitación publicada.	4%	
	Salas Blancas	Informe entrega equipamiento.	4%	
OBJETIVO 4 Apoyo y mejor del programa científico	Equipamiento auxiliar de DARt en el Hall A	Puesta en marcha de instalación.	4%	20%
	Organización de congresos y reuniones cinéticas.	Número de congresos o reuniones mayor que 2.	4%	
	Participación en congresos y reuniones científicas.	Número de congresos o reuniones mayor que 4.	4%	
	Acuerdos de colaboración	Número de nuevos acuerdos mayor que 2.	4%	
	Publicaciones científicas personal propio	Número de artículos en revistas indexadas superior a 20	4%	
OBJETIVO 5 Monitorización de estabilidad roca	Desplazamientos de roca en el laboratorio subterráneo	Realización de informe de seguimiento por el jefe de seguridad y el director.	5%	5%
OBJETIVO 6 Planificación plurianual estratégica	Elaboración Plan Estratégico 2025-2028	Presentado el documento informado por el Comité Científico Asesor al Consejo Rector.	10%	10%
OBJETIVO 7 Divulgación e impacto de la investigación	Publicación de la memoria 2023	Publicación en la web.	3%	10%
	Visitas al laboratorio	2.500 visitas	3%	
	Participación en actividades de formación, social o industrial	3 eventos	4%	

AN AIS

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 AIS Scintillators

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

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. La compatibilidad entre los diferentes resultados experimentales en la mayoría de los escenarios WIMP-DM convencionales está desfavorecido. Por lo tanto, 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 (AN AIS).

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.

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. A full and consistent analysis requires then several years of measurement in very stable conditions.

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 1.400 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.

ANAIS-112 uses nine NaI(Tl) modules produced by Alpha Spectra Inc. in Colorado. These modules were 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

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 1.400 m, por ejemplo). En consecuencia, la confirmación potencial de una modulación con la misma fase y amplitud se explicaría muy difícilmente por el fondo o errores sistemáticos.

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 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

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, 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

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



ANAIS Shielding

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 on August 3rd, 2017. It has accumulated more than five years of data-taking time in quite stable conditions: about 2000 days live time raw which, after the muon cut, correspond to an exposure larger than 600 kg.y.

ANAIS-112 comenzó a tomar datos para detección de DM el 3 de agosto de 2017. Ha acumulado más de cinco años en tiempo de toma de datos en condiciones estables: sobre 2000 días de datos brutos que, después de la reducción de muones, corresponden a más de 600 kg.y.

The data analysis was extended by fitting simultaneously the 9 detectors with free background parameters for every module and the same modulation amplitude. The background description was also improved, 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 of the first 3 years data, for an exposure of 314 kg.y, are compatible with no annual modulation, with a statistical analysis refuting the DAMA/LIBRA positive results at more than 99.73% confidence level. The best fit to the ANAIS data in the

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 que muestrean 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.

El análisis de datos se realiza por ajuste simultáneo de los nueve módulos con parámetros libres del fondo y la misma amplitud de modulación. Se ha mejorado la descripción del fondo al ajustar las tasas medidas a la función de densidad de probabilidad (PDF) muestreada del modelo de fondo, reemplazando el ajuste a una exponencial decreciente.

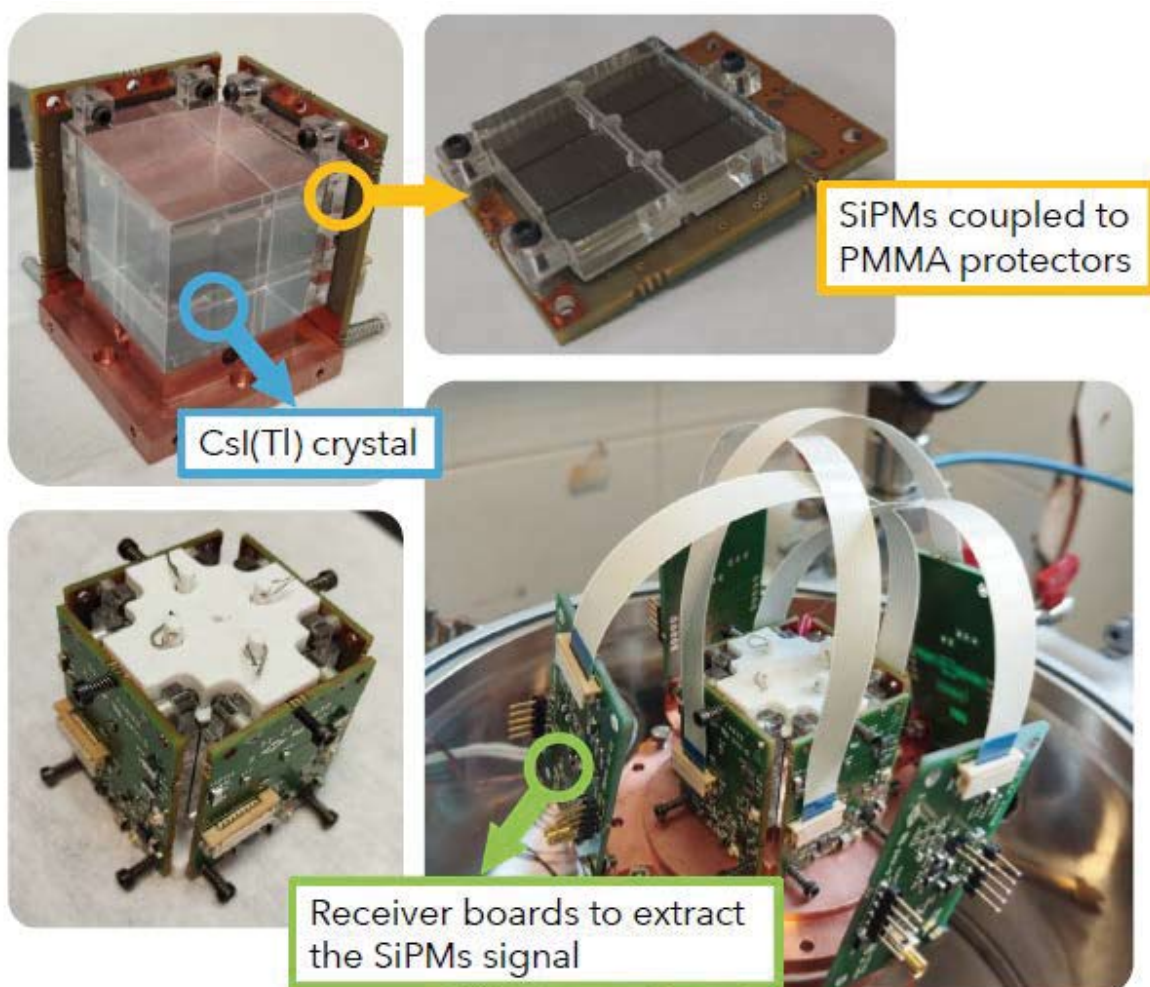
Los resultados de los primeros tres años de datos de ANAIS, con una exposición de 314 kg.y, son compatibles con la ausencia de modulación anual, con la exclusión de los resultados positivos de DAMA/LIBRA a un nivel de confianza mayor a 99.73 % C.L. El mejor ajuste a los datos de ANAIS en la región de energía [1-6] keV indica una amplitud de -0.0033 ± 0.0037 cpd/kg/keV,



ANAIS Electronics

[1-6] keV energy region is a modulation amplitude of -0.0033 ± 0.0037 cpd/kg/keV, supporting the absence of modulation, and refuting the DAMA/LIBRA result at 3.9σ , for a sensitivity of 2.9σ . 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. Once completed the scheduled 8 years of data taking, 5σ sensitivity could be in reach with the already approved one-year data taking extension. Further ANAIS tests to narrow down the causes of the DAMA/LIBRA modulation are ongoing, including the measurement of the modulated neutron background and the time dependence of the background-subtraction methods.

que muestra la ausencia de modulación, and refutando el resultado de DAMA/LIBRA en 3.9σ , consistentes con la hipótesis nula a 2.9σ . Otros análisis complementarios confirman la ausencia de modulación: la búsqueda de la modulación anual con fase libre y la exploración de señales periódicas a otras frecuencias. En conclusión, los datos confirman la proyección en sensibilidad de ANAIS-112 en la refutación del resultado de DAMA/LIBRA. Una vez se ha completado la toma de ocho años de datos, se podrá alcanzar la sensibilidad a 5σ con una extensión de un año más, ya aprobada. Se están realizando otros estudios que puedan explicar el resultado de DAMA/LIBRA, que incluyen la medida de señales moduladas como el fondo de neutrones o la variación temporal de los métodos de sustracción de 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.

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.

IAXO-D1@LSC set-up was installed at Lab2500, which includes: an adapted replica of the proposed IAXO-D1 shielding without plastic scintillators; a calibration system under vacuum conditions by means of a ^{55}Fe Source; a recirculation gas panel for the Xe-Ne- $i\text{C}_4\text{H}_{10}$ gas mixture used as detection gas; a NIM rack with the HV power Supply; the Slow Control System and the Detector Data Acquisition System.

Alternatively, a silicon drift detector (SDD) demonstrator was also installed at the Lab2500. Data indicates a quite high background level. Overall, data obtained with BabyIAXO-D1 will determine the intrinsic component of background and will support the roadmap defined to demonstrate the BabyIAXO target background level.

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.

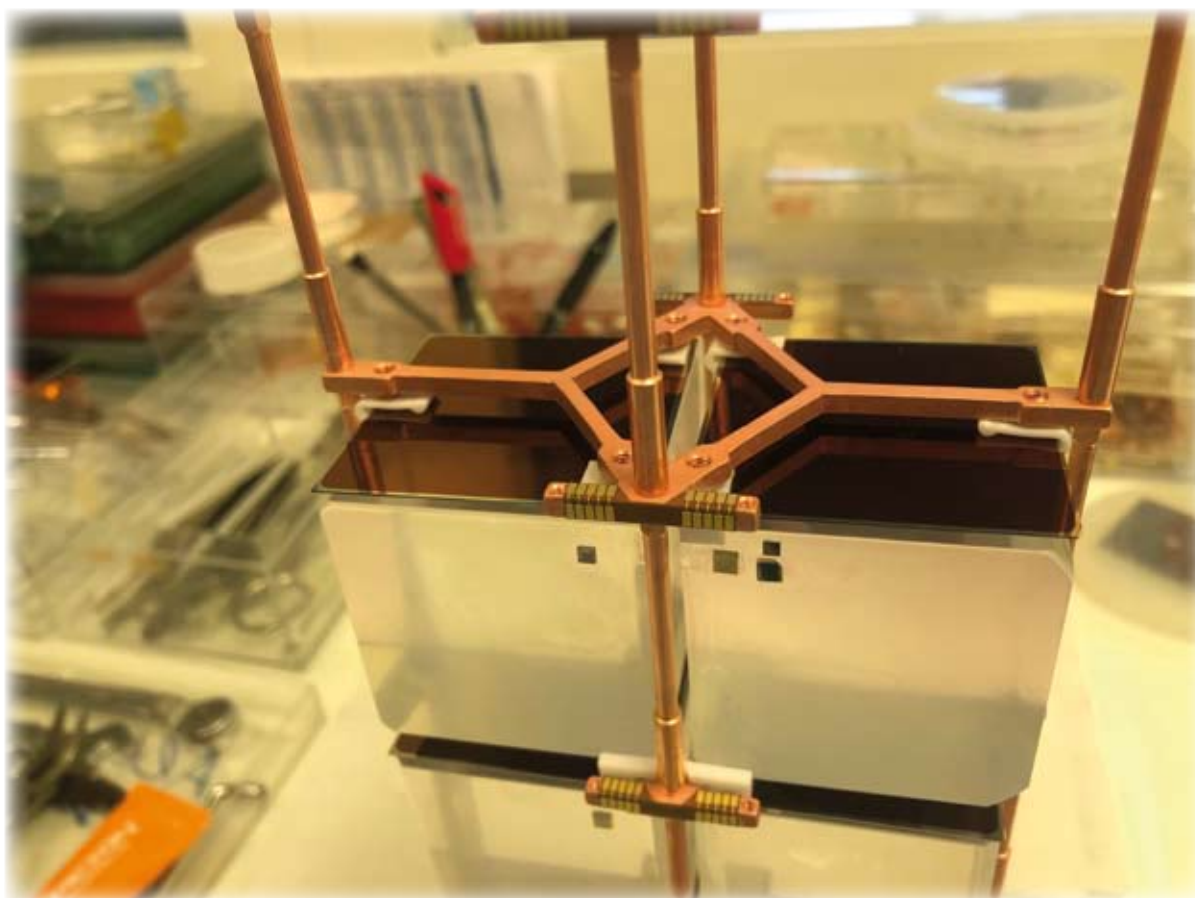
Uno de los componentes cruciales del proyecto son los detectores de rayos X de fondo ultrabajo que tomarán imágenes de los fotones producidos por la conversión del axión en el experimento. La tecnología de detección de fondo se basa en pequeñas Cámaras de Proyección de Tiempo (TPC) con lecturas Micromegas pixeladas construidas con la tecnología de microbulbos. El setup IAXO-D1@LSC se instaló en Lab2500, incluye: una réplica adaptada del blindaje propuesto para IAXO-D1 sin centelleadores de plástico; un sistema de calibración en condiciones de vacío mediante una fuente de ^{55}Fe ; un panel

de recirculación de gas para la mezcla de gases Xe-Ne- $i\text{C}_4\text{H}_{10}$ utilizada como gas de detección; un bastidor NIM con la fuente de alimentación de alta tensión; un sistema de slow control y el sistema de adquisición de datos del detector.

Se llevarán a cabo mejoras para aumentar la escasa relación señal/ruido actual. Por otra parte, también se instaló un demostrador de detector de deriva de silicio (SDD) en el Lab2500. Los datos iniciales indican un nivel de fondo bastante elevado. En conjunto, los datos obtenidos con BabyIAXO-D1 determinarán el componente intrínseco del fondo y servirán de apoyo a la hoja de ruta definida para demostrar el nivel de fondo objetivo de BabyIAXO.



Fig: Split PCB with a "head" made from radio pure silicon.

CROSS*Fig. 1*

The goal of the Cryogenic Rare-event Observatory with Surface Sensitivity (CROSS) is to develop a technology capable of investigating lepton number violation and the nature of neutrino with unprecedented sensitivity, by searching for neutrinoless double beta decay ($0\nu 2\beta$) of two promising isotopes (^{100}Mo and ^{130}Te) with the bolometric approach. The CROSS proposal is to provide the bolometric detection technique –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

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 ($0\nu 2\beta$) 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, con alta resolución energética, gran eficiencia y amplia flexibilidad en la elección del material del detector, con una característica adicional: 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

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.

In 2023, CROSS team compared suspension systems, copper frames and bolometers assembly.

The suspension made by three springs with long wires and magnetic damping performed well and will be adopted in the CROSS demonstrator. A slim copper frame was improved with 3D-printed plastic clips (lower microphonic noise) with excellent performance and will be the baseline for the final CROSS demonstrator. As for

nueva propiedad permitirá 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.

Durante el 2023, la colaboración CROSS se concentró en comparar los sistemas de suspensión, los soportes de cobre y el ensamblaje de los bolómetros. El sistema de suspensión compuesto por tres muelles largos y supresión magnética funcionó bien y será el sistema que se adopte en el demostrador CROSS. La estructura de soporte fina de cobre se mejoró con clips de plástico impreso 3D (reducción de ruido microfónico) es muy adecuada y será la opción de referencia en CROSS. Para el ensamblaje de los cristales se verificó un nuevo método (diseñado por la colaboración BINGO). Los cristales se unen al soporte de cobre por una pieza de cobre entre ellos, gracias a cables de nylon, con los sensores de luz situados entre el cristal y el cobre para bloquear la radioactividad de la superficie del cobre.

El RUN 10 una prueba general del demostrador CROSS se llevó a cabo en la primavera del 2024. Se ensambló una torre de 14 bolómetros centelleadores en Orsay (Fig. 1) y luego se instaló en la instalación criogénica de CROSS en Canfranc (Fig. 2). Cada bolómetro centelleador consta de un gran cristal cúbico que contiene el isótopo beta doble (Mo-100 y Te-130) y de un detector de luz. Las obleas de germanio que absorben la luz están equipadas con electrodos especiales de Al y revestimiento de SiO para mejorar la señal luminosa mediante el efecto Neganov-Trofimov-Luke (Fig. 3).

El objetivo del experimento CROSS es determinar el fondo de electrones emitido

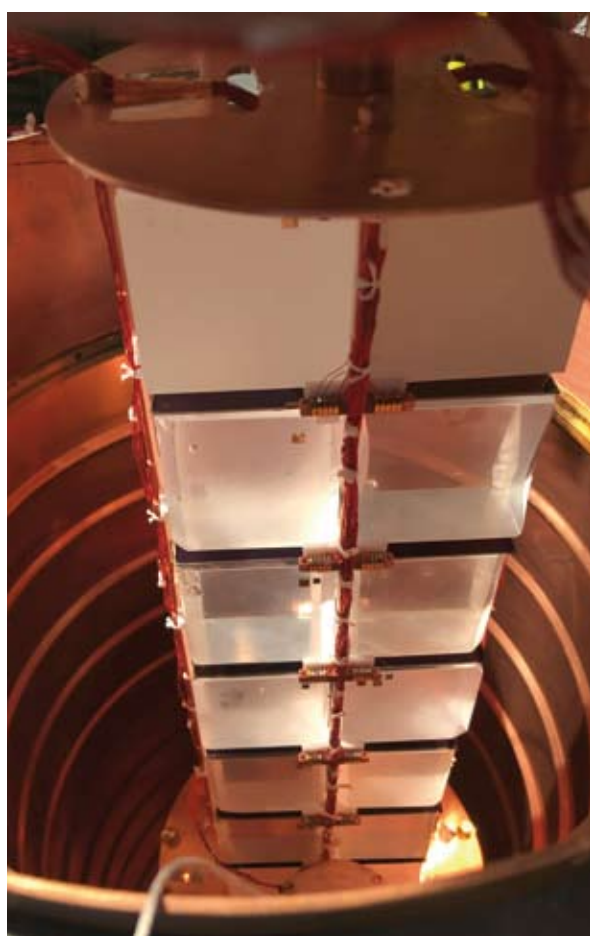


Fig. 2

bolometers assembly, a novel method (BINGO collaboration design) was tested. Crystals are attached to the copper holder in the middle thanks to nylon wires, with light detectors placed in between the crystal and the holder to completely shield the absorber from copper surface radioactivity.

RUN 10, a general test of the CROSS demonstrator took place in May 2024. A tower of 14 scintillating bolometers was assembled in Orsay (Fig. 1) and then installed in the CROSS cryogenic facility in Canfranc (Fig. 2). Each scintillating bolometer consists of a large cubic crystal containing the double beta isotope (Mo-100 and Te-130) and of a light detector. The light-absorbing germanium wafers are equipped with special Al electrodes and SiO coating to enhance the light signal via the Neganov-Trofimov-Luke effect (Fig. 3). The ultimate goal of CROSS experiment, determine the background of electrons emitted by the radioactive contamination of passive materials facing the detectors is a subdominant contribution of background that will emerge only after the mitigation of the random-coincidence component. Thus, the team studied the pile-up rejection performance of one Li2100MoO4 scintillating bolometer coupled to a Neganov-Trofimov-Luke effect (NTL) light detector, first time demonstration that randomly-coincident events can be rejected in large cryogenic scintillating bolometers down to background indexes of $\sim 10^{-4}$ ckky (at the $Q\beta\beta$ of 100Mo). Next steps will further enhance the light detector S/N ratio via higher NTL electrode bias, shorten the light detector rise-time to further reduce the background index.

por la contaminación radiactiva de los materiales cerca de los cristales y sensores. Esta contribución es subdominante y solo se puede observar una vez se elimine la componente de coincidencias aleatorias. Por ello, el equipo ha estudiado la eliminación de eventos apilados con un bolómetro centelleador Li2100MoO4 acoplado a un sensor de luz con efecto Neganov-Trofimov-Luke effect (NTL), consiguiendo la primera demostración de eliminación de estos sucesos en cristales de gran tamaño con un índice de $\sim 10^{-4}$ ckky (en la energía $Q\beta\beta$ del 100Mo). Los siguientes avances servirán para mejorar la señal/ruido de los sensores de luz gracias a una mayor polarización en los electrodos en los NTL y a una más rápida respuesta de los sensores de luz, lo que permitirá reducir aún más el índice de fondo.



Fig. 3

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 CO_2 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

Materia Oscura con Argón (ArDM) 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 CO_2 (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 veto activo 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.

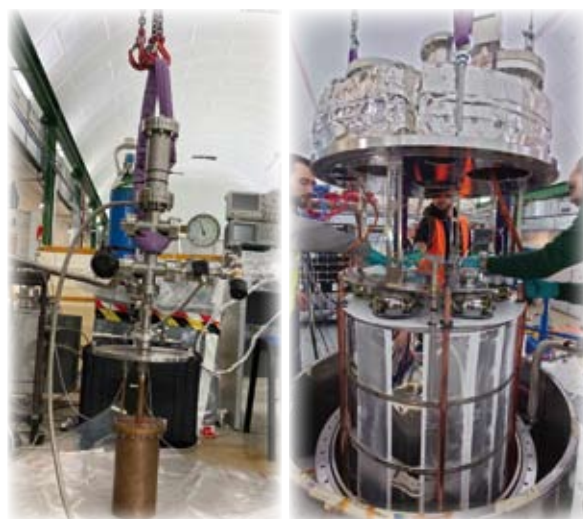
single-phase operational mode as an active veto for internal and external backgrounds.

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, 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 2024, 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 2023 were the installation of the lead castle, the DArT VME-based data acquisition system, plans on the ArDM components reparation (or replacement) and installation 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.

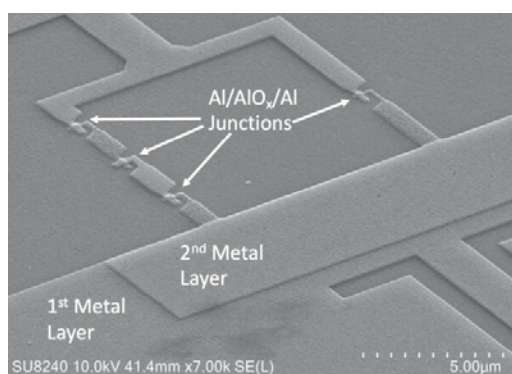
En 2020 y 2021, la actividad estuvo afectada por la pandemia COVID-19. El calendario del experimento ha sufrido importantes retrasos en comparación con el plan original y se ha adaptado a las nuevas condiciones. A pesar de estos problemas, la colaboración ha logrado un progreso significativo en la construcción, 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 2024, 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 2023 fueron el montaje del castillo de plomo, el sistema de adquisición de datos basado en DArT VME, el plan de reparación (o reemplazo) de componentes de la infraestructura de ArDM y la instalación 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.

ICRQ

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.



Qubit

The project Interaction of Cosmic Rays on Qubits (ICRQ) is a novel experiment 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

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 (disipación) 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 (ICRQ) 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

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.

Project ICRQ aims at elucidating the interaction between cosmic messengers with highly coherent superconducting qubits.

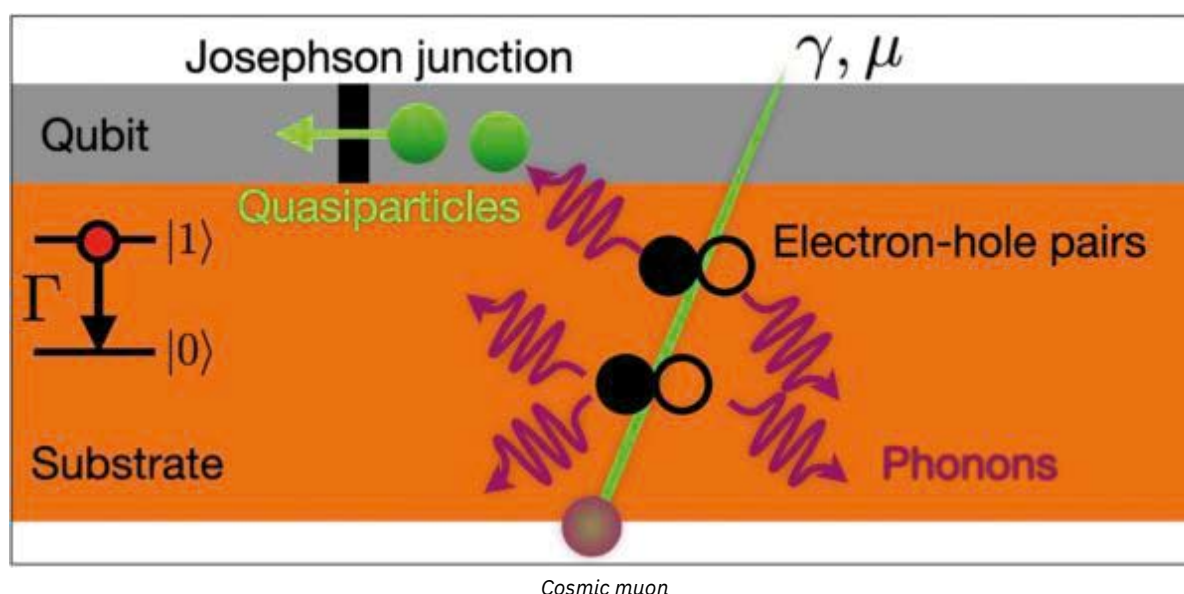
The first phase addresses the qubit interaction with cosmic rays and radioactive background emission, and a second phase includes the use of our qubits for the detection of axion-like particles (ALPs) and gravitational waves (GWs). The first phase attempts the qubit-radiation interaction suppression to improve the qubit coherence time, while the second phase takes advantage of the improved qubit performance, in terms of sensitivity and stability, to yield an ultrasensitive quantum sensor. Attaining such goals requires addressing the problem as a convergence of three different angles: the qubit physics, the cosmic messenger physics, and the engineering of qubit devices to understand how to protect them from radiation.

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.

El proyecto ICRQ pretende dilucidar la interacción entre mensajeros cósmicos y qubits superconductores altamente coherentes.

La primera fase aborda la interacción de los qubits con los rayos cósmicos y la emisión radiactiva de fondo, y una segunda fase incluye el uso de nuestros qubits para la detección de partículas similares al axión (ALP) y ondas gravitacionales (GW). En la primera fase se intenta suprimir la interacción qubit-radiación para mejorar el tiempo de coherencia del qubit, mientras que en la segunda se aprovecha el rendimiento mejorado del qubit, en términos de sensibilidad y estabilidad, para obtener un sensor cuántico ultrasensible. Para alcanzar estos objetivos es necesario abordar el problema como una convergencia de tres ángulos diferentes: la física de los qubits, la física de los mensajeros cósmicos y la ingeniería de los dispositivos qubit para entender cómo protegerlos de la radiación.



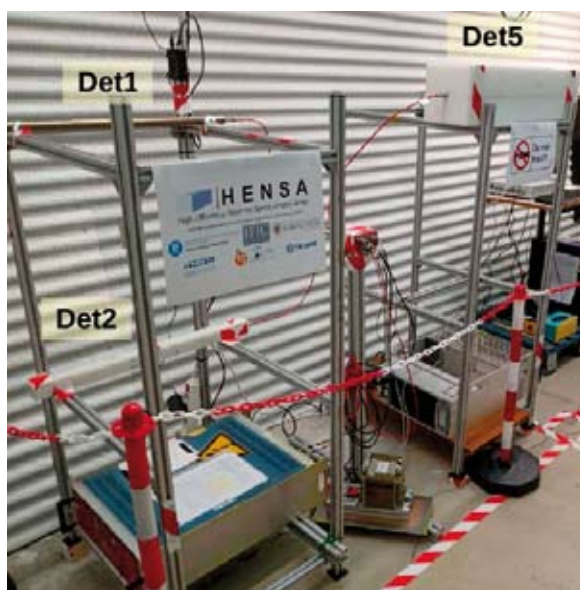
HENSA

The High Efficiency Neutron-Spectrometry Array (HENSA) is an extended energy detection system for neutron spectrometry based on the Bonner Spheres principle. 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 5-15 times larger than conventional Bonner Spheres systems in the energy range from thermal up to 10 GeV.

Neutron measurements in Hall A have been performed using a reduced setup of the HENSA array, consisting of four detectors including a bare 3He-filled counter, and polyethylene matrix of transversal sizes: 45x45mm², 70x70mm², and 120x120mm². Such a setup provides accurate neutron sensitivity, from thermal energies up to 20 MeV, by implementing Pulse Shape Discrimination (PSD) techniques. The measured average thermal flux in Hall A was $(3.5 \pm 0.8) 10^{-6}$ n/cm²/s.

Related to dark matter detectors, seasonal variations in the neutron flux could mimic an annual modulation in

El 'High Efficiency Neutron-Spectrometry Array' (HENSA) es un sistema de detección de energía extendida para espectrometría de neutrones basado en el principio de las esferas de Bonner. 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 rellenos de 3He). Para proporcionar sensibilidad en diferentes regiones energéticas, 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 rellenos de 3He proporciona a HENSA una respuesta neutrónica entre 5 y 15 veces mayor que la de los sistemas Bonner Spheres convencionales en el rango de energía que va desde la térmica hasta los 10 GeV.



HENSA original setup

the detection rate. The joint HENSA and ANAIS proposed to perform a characterization of the neutron flux at Hall B (energy spectrum and time evolution). The neutron monitor, including a bare counter and polyethylene matrix of transversal cross section ($45 \times 45 \text{ mm}^2$ and $180 \times 180 \text{ mm}^2$), already running since 2021 was upgraded.

Outer moderator/shielding configuration was replaced in specific detectors of the HENSA array. The upgrade improves the spectral resolution of HENSA in the region below 20 MeV and should allow to reduce systematic uncertainties when reconstructing the neutron spectrum.

The monitor has been running smoothly. The general trend shows a stable behaviour of the rates for all detectors within statistical uncertainties.



Monitor setup after the intervention in March 2024

Las medidas de neutrones en el Hall A se han realizado utilizando una configuración reducida del conjunto HENSA, que consiste en cuatro detectores, incluyendo un contador vacío relleno de ^3He , y una matriz de polietileno de tamaños transversales $45 \times 45 \text{ mm}^2$, $70 \times 70 \text{ mm}^2$, y $120 \times 120 \text{ mm}^2$. Esta configuración proporciona una sensibilidad neutrónica precisa, desde energías térmicas de hasta 20 MeV, mediante la aplicación de técnicas de Discriminación de la Forma del Pulso (PSD). El flujo térmico medio medido en la Sala A fue de $(3,5 \pm 0,8) 10^{-6} \text{ n/cm}^2/\text{s}$.

En relación con los detectores de materia oscura, las variaciones estacionales en el flujo de neutrones podrían imitar una modulación anual en la tasa de detección. El proyecto conjunto de HENSA y ANAIS propuso realizar una caracterización del flujo de neutrones en Hall B (espectro de energía y evolución temporal). Se actualizó el monitor de neutrones, que incluye un contador desnudo y una matriz de polietileno de sección transversal ($45 \times 45 \text{ mm}^2$ y $180 \times 180 \text{ mm}^2$), ya en funcionamiento desde 2021.

Se sustituyó la configuración moderador externo/blindaje en detectores específicos del conjunto HENSA. La actualización mejora la resolución espectral de HENSA en la región por debajo de 20 MeV y debería permitir reducir las incertidumbres sistemáticas al reconstruir el espectro de neutrones.

El monitor ha funcionado sin problemas. La tendencia general muestra un comportamiento estable de las tasas para todos los detectores dentro de las incertidumbres estadísticas.

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 $\mu\text{Bq/kg}$. 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 G. Zuzel is very experienced in low background counting techniques with contributions to Gallex/GNO, Borexino, GERDA and DarkSide experiments. During 2021, 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). The main shielding frame and layers of materials were installed at the end of 2022: 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), inside a tent equipped with a large clean room HEPA filter (effective for particles with dimensions $\pm 0.01 \text{ mm}$, flow up to 1.200 m^3/h) in order to provide dust-free air inside. Background characterization showed that the detector GeRysy is the new world record HPGe gamma screening detector.

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 $\mu\text{Bq/kg}$. 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, con contribuciones en Gallex/GNO, Borexino, GERDA y DarkSide. Durante 2020, instaló un nuevo Germanio de 2.5 kg tipo pozo y geometría coaxial invertida, que permite la discriminación efectiva con la forma del pulso para una mayor reducción del fondo y capaz de medir grandes muestras (hasta 60 kg de cobre) y muy pequeñas (componentes electrónicas) situadas en el pozo (con alta eficiencia de detección). La estructura del escudo y sus componentes se instalaron al final de 2022: cobre de ultra alta pureza (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), dentro de una tienda limpia con filtro HEPA (filtrado efectivo hasta 10 nm, flujo de 1.200 m^3/h), para reducir el polvo. La caracterización del fondo ha demostrado que GeRysy es el HPGe detector con el nuevo récord del mundo en sensibilidad gamma.

NEXT



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 close 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 Física Corpuscular (IFIC) and more recently the 5 kg-scale NEXT-White at the Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) in the Pyrenees.

The detector NEXT-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,

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 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 a 130 mm de un cátodo de

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 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 1.792 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 ^{316}Ti . 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 tramex platform at LSC.

mallá de alambre transparente sostenido en negativo alto voltaje. Se establece un campo eléctrico en la región de deriva definida por el cátodo y otra mallá transparente (la puerta) ubicada a unos 53 cm de distancia. La región EL está definida por la mallá 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 1.792 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 tramex en el LSC.

Una vez demostrada una resolución de energía de 1% FWHM a 2.6 MeV y eliminación de ruido de fondo gracias a la identificación de la topología las trazas reconstruidas, se ha



Achieving an energy resolution of 1% FWHM at 2.6 MeV and further background rejection by means of the topology of the reconstructed tracks, NEXT-White has been exploited to perform double beta decay searches. In 2022, the collaboration completed the data taking with NEXT-White detector. The measurement of the half-life of the ^{136}Xe two-neutrino double- β decay was performed with a novel direct-background-subtraction technique. The analysis relied on the data collected with the NEXT-White detector operated with 271.6 days of 3.5 kg ^{136}Xe -enriched data and 208.9 days of ^{136}Xe -depleted data, as well as on the topology of 2-electron tracks. A half-life $2.34 \pm 0.80 \text{ (stat)} \pm 0.30 \text{ (sys)} \times 10^{21} \text{ yr}$ was derived from the background-subtracted energy spectrum. The technique demonstrated the feasibility of unique background-model-independent neutrinoless double- β -decay searches. Limits to the neutrinoless mode were obtained in two alternative analyses: a background-model-dependent approach and a novel direct background-subtraction technique, offering results with small dependence on the background model assumptions. 90% C.L. lower limits to the neutrinoless double beta decay were found in the $5.5 \times 1.023 \text{--} 1.3 \times 1.024 \text{ yr}$ range, depending on the method. The presented techniques stand as a proof-of-concept for the searches to be implemented with larger NEXT detectors.

In 2024, NEXT-100 detector commissioning was completed. Among the successful achievements, we highlight that all elements needed for the TPC (field cage, electro-luminescence and cathode frames or high voltage feed-through) are properly working.

explotado el detector NEXT-White para realizar medidas de desintegración doble beta. In 2022, la colaboración completó la toma de datos con el detector NEXT-White. La medida de la vida media de la desintegración doble beta con neutrinos se realizó con una novedosa técnica de sustracción directa del fondo. El análisis se realizó con los datos acumulados en 271.6 días con 3.5 kg de xenón enriquecido en ^{136}Xe y en 208.9 días con xenón empobrecido en ^{136}Xe , utilizando la topología de las trazas de los dos electrones. Utilizando el espectro de energía con el fondo sustraído, se midió una vida media de $2.34 \pm 0.80 \text{ (stat)} \pm 0.30 \text{ (sys)} \times 10^{21}$ años. La técnica independiente del modelo de fondo ha sido validada demostrado para su uso en la búsqueda de desintegración doble beta sin neutrinos. Se han obtenido límites inferiores en la vida media de este modo con dos técnicas diferentes: la técnica clásica dependiente del modelo de fondo y la novedosa técnica desarrollada por NEXT, lo que permite comparar la dependencia de los resultados con las aproximaciones sobre el contenido radiactivo. En conclusión, se ha determinado el límite inferior de la vida media, al nivel de confianza del 90% C.L., en el intervalo de $5.5 \times 1.023 \text{--} 1.3 \times 1.024$ años, según el método usado. Las técnicas utilizadas servirán como base para la explotación de los detectores de NEXT más grandes.

In 2024, se completó la puesta en marcha del detector NEXT-100. Entre los grandes logros, hay que destacar que todos los elementos necesarios en la TPC (anillos de campo, cuerpo del cátodo y de electroluminiscencia o alimentador de alto voltaje), operan correctamente.



TREX-DM

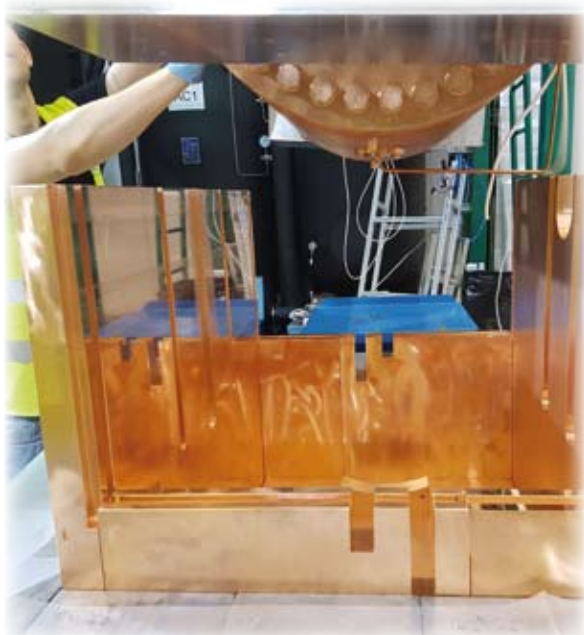
The use of gas time projection chambers (TPCs) with Micromegas readouts has been recently proposed to search for low mass WIMPs, as part of the T-REX project. Many of the technical advantages exploited in the development of the detectors for axion research are of direct application also in this case. 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.



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 diseñado para albergar 0,3 kg de masa de argón a 10 bar (o, alternatively, 0,16 kg de neón). Se compone de un recipiente cilíndrico de cobre radiopuro, con un diámetro interno de 0,5 m,



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 was fully installed, the shielding mounted (except for the neutron shielding), and the slow control system, readout electronics, and one detector plane were already operative. The main points developed were: 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 was 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 2022, the collaboration has been working on understanding backgrounds, particularly radon emanation in the setup and preparing new micromegas detectors. Given the exceeding time of commissioning and the LSC Hall A space requirements, the detector was reinstalled in Lab2500 and was in a new commissioning phase in 2024.

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 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 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 2022, la colaboración ha estado caracterizando fondos, especialmente emanación de radón en el sistema. Dado el largo tiempo en fase de validación y los requerimientos de espacio en el Hall A del LSC, el detector se reinstalló en el Lab2500 y ha seguido una nueva fase de validación en 2024



Irradiation set-up at CNA irradiation hall

BIOLOGY PLATFORM/PLATAFORMA DE BIOLOGÍA

The LSC's Bio Platform is created with the aim of hosting biology experiments in a low background radioactive environment. It has both surface and underground facilities that allow experiments to be replicated in the presence or absence of radiation, with the objective of studying how different types of radiation (gammas, muons and neutrons) affect the metabolism of different biological models. It is equipped with a clinostat to host experiments in microgravity conditions underground.

The use of the Biology Platform Services is open to research groups or collaborations, who should submit a written proposal explaining their experiment by means of an expression of interest (EOI). It must contain the scientific, economic and organizational elements necessary for the laboratory to initiate the evaluation process, with the assistance of the Scientific Committee.

PB-01-22: Bacteria in heavy water. Experiment developed by scientists from the Centro de Biología Molecular Severo Ochoa and the Universidad Autónoma de Madrid. Its objective is to study the effect of a low radiation environment on the viability and growth of a microbial community recovered from high purity D₂O.

PB-02-22: Interaction host-pathogens under low-radiation. Experiment proposed by the

La Plataforma de Biología del LSC nace con el objetivo de albergar experimentos de biología en un entorno radiactivo de bajo fondo. Dispone de instalaciones tanto en superficie como subterráneas que permiten replicar experimentos en presencia o ausencia de radiación, con el objetivo de estudiar cómo afectan los distintos tipos de radiación (gammas, muones y neutrones) al metabolismo de diferentes modelos biológicos. Está equipada con un clinostato para albergar experimentos en condiciones de microgravedad bajo tierra.

El uso de los Servicios de la Plataforma de Biología está abierto a grupos de investigación o colaboraciones, que deberán presentar una propuesta escrita explicando su experimento mediante una expresión de interés (EOI). Debe contener los elementos científicos, económicos y organizativos necesarios para que el laboratorio inicie el proceso de evaluación, con la asistencia del Comité Científico.

PB-01-22: Bacterias en agua pesada. Experimento desarrollado por científicos del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa y de la Universidad Autónoma de Madrid. Su objetivo es estudiar el efecto de un ambiente de baja radiación sobre la viabilidad y el crecimiento de una comunidad microbiana recuperada de D₂O de alta pureza.

PB-02-22: Interacción hospedador-patógeno en un ambiente de baja radiación. Experimento propuesto por el grupo de Virología Evolutiva y de Sistemas del Instituto de Biología Integrativa de Sistemas (I²SysBio). Su objetivo es caracterizar la dinámica de infección del virus de Orsay en *Caenorhabditis elegans* en condiciones libres de muones.

PB-03-22: Tolerancia genética a la radiación. Experimento propuesto por el grupo de Biología Sintética Traslacional de la Universidad Pompeu Fabra. Su objetivo es investigar las bases moleculares del efecto de la radiación ambiental sobre la integridad genómica de organismos modelo procariotas



Caenorhabditis elegans

Evolutionary Systems Virology group of the Institute for Integrative Systems Biology (I²SysBio). Its objective is to characterize the Orsay virus infection dynamics in *Caenorhabditis elegans* under muon free conditions.

PB-03-22: Genetic radiation tolerance. Experiment proposed by the Translational Synthetic Biology group of the Pompeu Fabra University. Its objective is to investigate the molecular basis of the effect of environmental radiation on the genomic integrity of prokaryotic and eukaryotic model organisms.

PB-04-22: Luria-Delbrück 2.0. Experiment proposed by SiMBioSys group (theoretical and in silico modeling of biological systems) of the Institute for Integrative Systems Biology (I²SysBio). Its objective is to perform the fluctuation test to measure the rate of microbial mutations in a low radiation environment.

PB-05-22: Yeast chronological aging and mutation rate under low-radiation conditions. The main objective of the project is to know the biological impact of low levels of background radiation on the chronological aging of yeast and on their mutation rate.

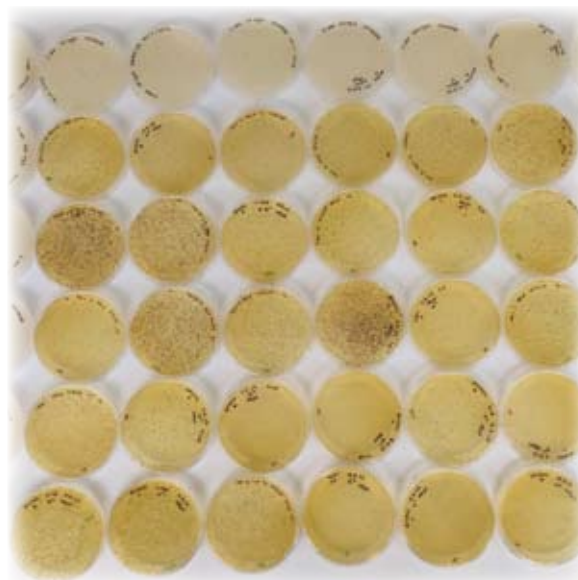
PB-06-22: Multicellular structure formation in response to low level background radiation. The aim of this proposal is to study the contribution of cellular organization in the response to low background radiation by investigating this response in unicellular near *Metazoa* models, which form multicellular structures during their life cycle or in response to environmental stimuli.

PB-07-22: Ticking of epigenetic and senescence aging clocks in cosmic silence. This experiment aims to study the primordial nature of the epigenetic clocks of aging and senescence by performing measurements of their functioning and timing capacity in an environment of “cosmic silence”.

y eucariotas.

PB-04-22: Luria-Delbrück 2.0. Experimento propuesto por el grupo TheSiMBioSys (modelización teórica e in silico de sistemas biológicos) del Instituto de Biología de Sistemas Integrativa (I²SysBio). Su objetivo es realizar pruebas de fluctuación para medir la tasa de mutaciones microbianas en un entorno de baja radiación.

PB-05-22: Envejecimiento cronológico de levaduras y tasa de mutación en baja radiación. El objetivo principal del proyecto es conocer el impacto biológico que tienen bajos niveles de radiación de fondo sobre el envejecimiento cronológico de las levaduras y sobre su tasa de mutación.



Culture plates of the yeast experiment

PB-06-22: Formación de estructuras multicelulares en respuesta a bajos niveles de radiación de fondo. El objetivo de esta propuesta es estudiar la contribución de la organización celular en un entorno de bajo fondo radiactivo mediante modelos unicelulares cercanos a *Metazoa*, que forman estructuras multicelulares durante su ciclo vital o en respuesta a estímulos ambientales.

PB-07-22: Modulación de los relojes epigenéticos y senescentes del envejecimiento en silencio cósmico. Este experimento pretende estudiar la naturaleza primordial de los relojes epigenéticos



Colonies of S. cerevisiae ade2-1 used for the experiment

PB-08-23: Unravelling the mechanisms of the effects of low-dose ionising radiation on living systems. The chemical enzymatic reactions involved in cellular protection against oxidative damage and mitochondrial function in yeast will be studied in the underground lab.

PB-09-24: Learning from microgravity and non-cosmic radiation in Fishnauts (GraCosFish). The aim of the project is to study the effects of microgravity and the absence of radiation, isolated or combined, on two species of fish during their early development.

PB-10-24: Effect of low radiation environment on the activity of antimicrobials (DarkABX). The aim of this proposal is to demonstrate whether commonly used antibiotics and antimicrobial molecules, with known mechanisms of action, would have differential activity against different pathogens in low radiation environments compared to their surface activity.

PB-01-22 to PB-05-22 and PB-07-22 already completed their experiments in the 2024. All other groups plan to continue their activities along 2025.

relacionados con el envejecimiento y la senescencia celular, realizando mediciones de su funcionamiento y capacidad de cronometraje en un entorno de “silencio cósmico”.

PB-08-23: Mecanismos implicados en la respuesta de los sistemas biológicos a dosis bajas de radiaciones ionizantes. Se estudiarán las reacciones químicas enzimáticas implicadas en la protección celular contra el daño oxidativo, y la función mitocondrial en levaduras, en este ambiente subterráneo.

PB-09-24: Learning from microgravity and non-cosmic radiation in Fishnauts (GraCosFish).

El objetivo del proyecto es estudiar los efectos de la microgravedad y la ausencia de radiación, aisladas o combinadas, en dos especies de peces durante su desarrollo temprano.



Zebrafish (Danio rerio), one of the species used, at two points during its life cycle

PB-10-24: Effect of low radiation environment on the activity of antimicrobials (DarkABX).

El objetivo de esta propuesta es demostrar si antibióticos y moléculas antimicrobianas de uso común, con mecanismos de acción conocidos, tendrían actividad diferencial contra diferentes patógenos en entornos de baja radiación comparado con su actividad en superficie.

PB-01-22 to PB-05-22 y PB-07-22 ya han completado los experimentos en 2024. Todos los demás grupos tienen previsto continuar sus actividades en 2025.

EOI-21-2018 (DAMIC)

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.

EOI-27-2020 (NaI CGF)

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 (NEXT-HD)

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.

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 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.



Image of the NEXT-HD detector in its vertical orientation. NEXT-HD will have two identical sensor planes with SiPMs mounted on ultrapure substrates.

EOI-31-2021 (CADEx)

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 mK temperatures).

EOI-31-2021 (CADEx)

El Experimento de Detección de Axiones de Canfranc (CADEx) está diseñado 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 90 GHz. Para ello, el experimento empleará una cavidad resonante de microondas (halóscopo) en un campo magnético dentro de un refrigerador de dilución (temperaturas de mK).

EOI-32-2021 (MODERN)

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 (MODERN)

Existe un consenso mundial de que el almacenamiento geológico profundo es la mejor opción para el confinamiento de los residuos radiactivos de larga duración del combustible nuclear.

Esta propuesta se basa en la transmisión inalámbrica de datos geotécnicos a través de rocas arcillosas. Se pretende conseguir un sistema de monitorización inalámbrico para la instrumentación de medida utilizada en el seguimiento de los parámetros geotécnicos relevantes en la operación del futuro almacén de residuos nucleares.

EOI-37-2022 (LiquidO)

The LiquidO detector concept is a new particles detection technology which uses opaque liquid scintillator, with a very short scattering length and an intermediate absorption length, doped with isotopic ^{130}Te . To extract the light, a lattice fiber runs through the scintillator. LiquidO technique provides high-resolution imaging that would enable highly efficient identification of individual particles event-by-event. The collaboration (ICJLab, CENBG, Subatech, Ciemat, University of Zaragoza, Queen's University) aims to yield an R&D double beta decay program to characterize cosmogenic and radiogenic background suppression by this novel concept.

EOI-37-2022 (LiquidO)

LiquidO es una nueva tecnología de detección de partículas que utiliza un centelleador líquido opaco, longitud de dispersión muy corta y longitud de absorción intermedia, dopado con ^{130}Te isotópico. La luz se extrae con una red de fibras a través del centelleador. La técnica proporciona imágenes de alta resolución, con una identificación muy eficiente de partículas individuales en cada suceso. La colaboración (ICJLab, CENBG, Subatech, Ciemat, Universidad de Zaragoza, Queen's University) tiene como objetivo realizar un programa de I + D en desintegración beta doble, que permita caracterizar la supresión de fondo radiogénico y cosmogénico en este novedoso concepto.

PUBLICATIONS 2024 / PUBLICACIONES 2024

Preparation for Mass Production and Quality Assurance of mPMT module for Hyper-Kamiokande experiment

Hyper-Kamiokande Collaboration • A. di Nola (Naple U.) et al. (Nov 16, 2024)

Nucl.Instrum.Meth.A 1071 (2025) 170082

Large quadrupole deformation in ^{20}Ne challenges rotor model and modern theory: urging for α clusters in nuclei

C.V. Mehl(Western Cape U.), J.N. Orce (Western Cape U. and Unlisted, SA), C. Ngwetsheni(Western Cape U.), P. Marević(Zagreb U.), B.A. Brown (Michigan State U., NSCL) et al. (Nov 15, 2024)

e-Print: 2411.10598 [nucl-ex]

Precise ^{113}Cd β decay spectral shape measurement and interpretation in terms of possible gA quenching

I. Bandac(LSC, Canfranc), L. Berge(IJCLab, Orsay), J.M. Calvo-Mozota (LSC, Canfranc and ESPOCH, Ecuador and Rioja U.), P. Carniti(INFN, Milan Bicocca), M. Chapellier(IJCLab, Orsay) et al. (Nov 5, 2024)

Published in: Eur.Phys.J.C 84 (2024) 11, 1158 • e-Print: 2411.02944 [nucl-ex]

Development of large-volume $^{130}\text{TeO}_2$ bolometers for the CROSS 2β -decay search experiment

F. T. Avignone (U. south Carolina, Columbia) et al., JINST 19 (2024) 09.

Cross-correlations of the Cosmic Neutrino Background: HR-DEMNUi simulation analysis

Beatriz Hernández-Molinero (LSC, Canfranc), Matteo Calabrese (IASF, Milan and UTRGV), Carmelita Carbone (IASF, Milan), Alessandro Greco (Florida U.), Raul Jimenez (Barcelona U. and ICREA, Barcelona and Barcelona, Autònoma U.) et al. (Jul 18, 2024)

e-Print: 2407.13727 [astro-ph.CO]

Neutrino halo profiles: HR-DEMNUi simulation analysis

Beatriz Hernández-Molinero (LSC, Canfranc), Carmelita Carbone (IASF, Milan), Raul Jimenez (Barcelona U. and ICREA, Barcelona and Barcelona, Autònoma U.), Carlos Peña Garay (LSC, Canfranc and Valencia U., IFIC) (Jul 17, 2024)

Published in: JCAP 09 (2024) 033 • e-Print: 2407.12694 [astro-ph.CO]

DarkSide-20k sensitivity to light dark matter particles

DarkSide-20k Collaboration • F. Acerbi(Fond. Bruno Kessler, Trento) et al. (Jul 8, 2024)

e-Print: 2407.05813 [hep-ex]

Characterization of a radiation detector based on opaque water-based liquid scintillator

LiquidO Collaboration • J. Apilluelo(Zaragoza U.) et al. (Jun 18, 2024)

Published in: Nucl.Instrum.Meth.A 1071 (2025) 170075 • e-Print: 2406.13054 [physics.ins-det]

Relative Measurement and Extrapolation of the Scintillation Quenching Factor of α -Particles in Liquid Argon using DEAP-3600 Data

DEAP Collaboration • P. Adhikari et al. (Jun 12, 2024)

e-Print: 2406.18597 [physics.ins-det]

Measurement of energy resolution with the NEXT-White silicon photomultipliers

NEXT Collaboration • T. Contreras (Harvard U.) et al. (May 30, 2024)

Published in: JHEP 09 (2024) 112 • e-Print: 2405.20427 [hep-ex]

Fluorescence Imaging of Individual Ions and Molecules in Pressurized Noble Gases for Barium Tagging in ^{136}Xe

NEXT Collaboration•N. Byrnes (Texas U., Arlington) et al. (May 20, 2024)

e-Print: 2406.15422 [physics.ins-det]

Far UV coatings for liquid-Ar time projection chambers

J.I. Larruquert(Madrid, Inst. Estructura Materia), P. López-Reyes (Madrid, Inst. Estructura Materia), N. Gutiérrez-Luna (Madrid, Inst. Estructura Materia), C. Honrado-Benítez (Madrid, Inst. Estructura Materia), V. Pesudo (Madrid, CIEMAT) (May 17, 2024)

Published in: JINST 19 (2024) 05, C05028

White paper on (α , n) neutron yield calculations

D. Cano-Ott(Madrid, CIEMAT), S. Cebrián (Zaragoza U.), M. Gromov(SINP, Moscow and Dubna, JINR), M. Harańczyk(Jagiellonian U.), A. Kish(Fermilab) et al. (May 13, 2024)

e-Print: 2405.07952 [nucl-ex]

Canfranc biology platform: exploring life in cosmic silence

Rebecca Hernández-Antolín, Laura Cid-Barrio and Carlos Peña-Garay, LSC

Front. Phys. 12:1397799. DOI 10.3389/fphy.2024.1397799 (April 24, 2024)

ANAIS-112 three years data: a sensitive model independent negative test of the DAMA/LIBRA dark matter signal

Iván Coarasa(Zaragoza U. and Unlisted, ES), Julio Amaré (Zaragoza U. and Unlisted, ES), Jaime Apilluelo(Zaragoza U. and Unlisted, ES), Susana Cebrián (Zaragoza U. and Unlisted, ES), David Cintas (Zaragoza U. and Unlisted, ES) et al. (Apr 26, 2024)

e-Print: 2404.17348 [astro-ph.IM]

Second gadolinium loading to Super-Kamiokande

Super-Kamiokande Collaboration•K. Abe et al. (Mar 12, 2024)

e-Print: 2403.07796 [physics.ins-det]

Direct Dark Matter Searches Using Sodium Iodide Targets: Status and Prospects

María Luisa Sarsa (LSC, Canfranc and Zaragoza U.) (Feb 22, 2024)

Published in: JAIS 2024 (2024) 472

BINGO innovative assembly for background reduction in bolometric $0\nu\beta\beta$ experiments

A. Armato(IRFU, Saclay), C. Augier (IP2I, Lyon), I.C. Bandac(LSC, Canfranc), D. Baudin (IRFU, Saclay), G. Benato(Gran Sasso) et al. (Feb 19, 2024)

Published in: Nucl.Instrum.Meth.A 1069 (2024) 169936 • e-Print: 2402.12262 [physics.ins-det]

Measurement of the sodium and iodine scintillation quenching factors across multiple NaI(Tl) detectors to identify systematics

D. Cintas (Zaragoza U.), S. Hedges(Duke U. and TUNL, Durham), W.G. Thompson (Yale U.), P. An(Duke U. and TUNL, Durham), C. Awe(Duke U. and TUNL, Durham) et al. (Feb 19, 2024)

Published in: Phys.Rev.C 110 (2024) 1, 014613 • e-Print: 2402.12480 [hep-ex]

GOVERNING BODIES / ORGANOS DE GOBIERNO

Governing Council/Consejo Rector

Eva Ortega-Paño, Secretaria General de Investigación (Presidenta)

Ministry of Science, Innovation & Universities / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

M^a Pilar Gayán Sanz, Directora general de Ciencia e Investigación

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, Innovation & Universities / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Jose Ignacio Doncel Morales, Subdirector General de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas

Ministry of Science, Innovation & Universities / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Manuel Magdaleno Peña, Secretario General Técnico del Departamento de Educación, Ciencia y Universidades

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, Innovation & Universities / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Francisco Herrada Martín, Jefe del Área de la Subdirección General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico-Técnicas

Ministry of Science, Innovation & Universities / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Manuel Magdaleno Peña, Secretario General Técnico del Departamento de Educación, Ciencia y Universidades

Government of Aragon / Gobierno de Aragón

M^a Pilar Gayán Sanz, Directora general de Ciencia e Investigación

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

SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE / COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

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

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

Federica Petricca - Max-Planck-Institut für Physik (Germany)

Filippo Resnati- CERN, Geneva (Switzerland)

Paul Soler-Jermyn – University of Glasgow (Scotland)

Gabriella Catanesi - INFN, Bari (Italy)

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

Olof Tengblad – CSIC, Madrid (Spain)

Victoria Ley Vega - CSIC, Madrid (Spain)

Pilar Hernández - FPA Programme Manager, Valencia (Spain)

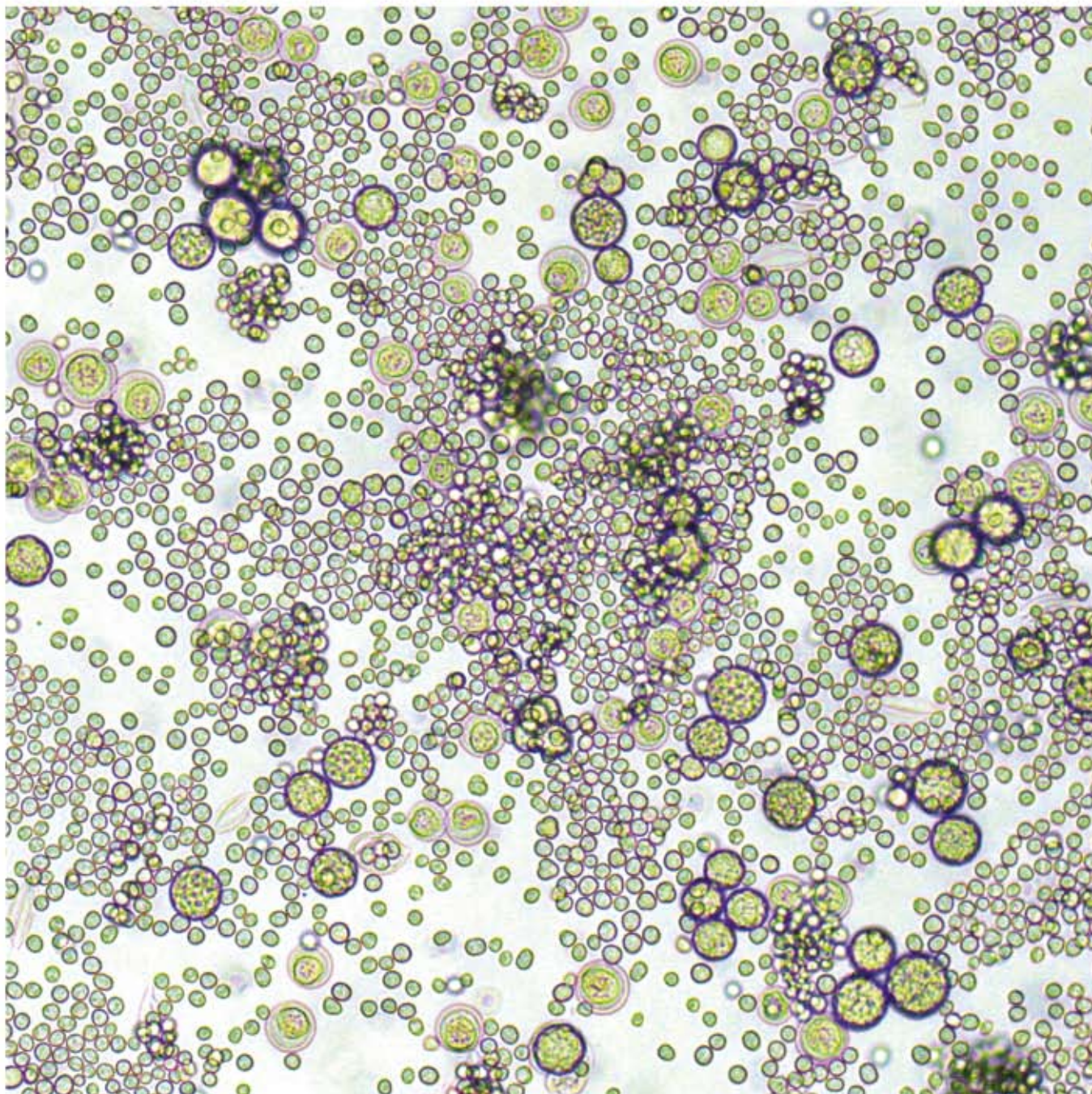
Acknowledgments / Agradecimientos

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.



**Laboratorio
Subterráneo
Canfranc**



**Plan de
Recuperación,
Transformación
y Resiliencia**



UNIÓN EUROPEA
"Una manera de hacer Europa"



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU



**GOBIERNO
DE ARAGON**



**Universidad
Zaragoza**

93 42