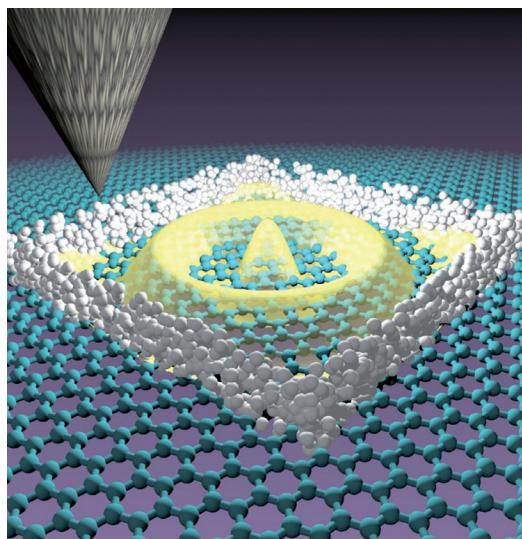


Puntos de interés

Descripción breve y sencilla de iniciativas docentes en nuestros colegios e institutos que han de ser resaltadas, de investigaciones relevantes de autores españoles o de extranjeros en instituciones españolas, y de otros hechos interesantes sobre ciencia y enseñanza, políticas educativa y científica y sus actores¹

LADRILLOS ATÓMICOS PARA DETENER A LAS PARTÍCULAS CUÁNTICAS ULTRA-RELATIVISTAS DEL GRAFENO

¿Cómo se detiene lo imparable? Un equipo internacional de científicos ha conseguido resolver este químico desafío empleando ladrillos atómicos para **construir muros capa-**



ces de detener a los electrones ultra-relativistas del grafeno. Este hecho, además de la fascinación que produce poder experimentar con partículas cuánticas ultrarrelativistas, tiene una relevancia aplicada fundamental. Poder construir muros capaces de confinar a los electrones del grafeno permite **dotar a este material de un gap electrónico modulable, algo clave para posibilitar su integración en los dispositivos electrónicos reales.**

Los electrones son partículas subatómicas responsables del transporte de la electricidad. Cuando circulan por gra-

fenos, los electrones se comportan como partículas cuánticas ultrarrelativistas. Esto es debido a la peculiar estructura de panal de abeja en la que se ordenan los átomos de carbono de los que está compuesto este material puramente bidimensional. Por tanto, las reglas de juego que rigen el comportamiento de los electrones en grafeno son muy especiales, ya que han de obedecer simultáneamente las leyes de la mecánica cuántica (necesarias para objetos de tamaños muy reducidos) y las de la

física ultrarrelativista (necesarias para objetos de masa despreciable moviéndose a velocidades cercanas a las de la luz). Esto da lugar, por ejemplo, a lo que se conoce como paradoja de Klein, que implica que dichos electrones sólo pueden detenerse mediante paredes atómicamente abruptas. De no ser así, los electrones incidiendo en ciertas direcciones atravesarán estas paredes independientemente de su grosor o altura. Esta calidad única hace que los electrones puedan circular libremente por el grafeno, sin ser apenas afectados por las diversas impurezas que en él puedan existir, lo que otorga a este material cualidades excepcionales para su uso en dispositivos electrónicos. Sin embargo, tanta libertad de movimiento tiene un precio; es a su vez extremadamente complejo contener el movimiento de dichos electrones, lo que había impedido hasta ahora emplear el confinamiento cuántico en estructuras del tamaño de unos pocos nanómetros para abrir de forma selectiva el tan deseado gap electrónico.

En un trabajo, que aparece publicado en la revista *Advanced Materials* (DOI: 10.1002/adma.202001119), investigadores Eva Cortés-del Río, Héctor González-Herrero, José María Gómez-Rodríguez e Iván Brihuega de la Universidad Autónoma de Madrid, Pierre Mallet y Jean-Yves Veuillen de la Universidad Grenoble Alpes, del Laboratorio Ibérico Internacional de Nanotecnología y la Universidad de Ali-



Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogg.com).

cante, y José Luis Lado de la Universidad de Aalto, muestran cómo es posible manipular de forma colectiva un gran número de átomos de hidrógeno para crear paredes impenetrables al paso de los electrones del grafeno. Como señala el Dr. Brihuega, **“los experimentos, realizados en la Universidad Autónoma de Madrid con un microscopio de efecto túnel, han permitido usar dichas paredes para construir, con precisión subnanométrica, nanoestructuras de grafeno de formas arbitrariamente complejas, con dimensiones que van desde los dos nanómetros hasta una micra”**. El método desarrollado permite borrar y reconstruir las nanoestructuras a voluntad, y se puede implementar en diferentes tipos de grafeno. “Los experimentos, apoyados por cálculos teóricos, demuestran que **las nanoestructuras creadas son capaces de confinar perfectamente a los electrones del grafeno**”, añade el Dr. Brihuega. **De este modo, los investigadores han conseguido superar el codiciado reto de abrir un gap electrónico en grafeno con un valor modulable, ya que éste viene definido por el tamaño y forma de la nanoestructura creada.** Así mismo, el método abre una pléthora de nuevas y excitantes posibilidades, ya que las nanoestructuras creadas se comportan como puntos cuánticos de grafeno que pueden ser acoplados de forma selectiva, lo que permitiría usarlos en simuladores cuánticos para profundizar en nuestro entendimiento de la materia cuántica.

¹ Sección preparada por Augusto Beléndez, en colaboración con actores implicados, que anima a proponer contribuciones relevantes para ser consideradas aquí.

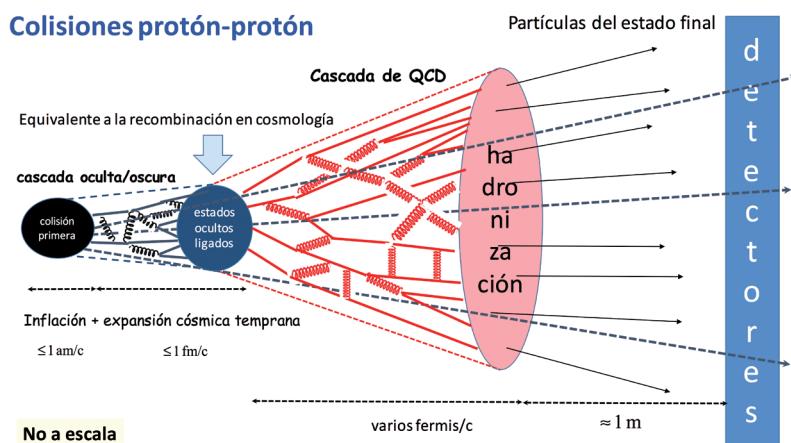
ANALOGÍA CÓSMICA EN LAS COLISIONES DEL LHC

Ciertas analogías entre diversos campos del conocimiento han demostrado ser útiles y fructíferas en el avance de la ciencia, en particular de la física. Por ejemplo, el fenómeno de la superconductividad estudiado en materia condensada y el llamado mecanismo de Higgs, que dota de masa a las partículas elementales, tienen una base común que sirvió como guía motivadora para los físicos teóricos de partículas.

En un reciente artículo publicado en *Physical Review D* (DOI: 10.1103/PhysRevD.102.035013), los autores Miguel Ángel Sanchís-Lozano, del IFIC-UV, Edward Sarkisyan-Grinbaum, del CERN y

Andrei Linde de la llamada época inflacionaria cosmológica. La razón de tal nombre se debe a que el universo **se expandió de forma increíblemente rápida en una minúscula fracción de segundo, recordando la evolución de los precios en tiempos de crisis económica**. Utilizando una descriptiva imagen de Roger Penrose (Premio Nobel de Física 2020), las irregularidades iniciales en las fluctuaciones del vacío cuántico a lo largo del universo muy primitivo quedaron “planchadas” durante la expansión exponencial. Durante los aproximadamente 13.800 millones de años transcurridos de evolución cósmica desde entonces hasta la observación actual del FCM, la escasa anisotropía de base apenas ha variado.

Colisiones protón-protón



de la University of Texas at Arlington, Juan-Luis Domenech-Garret, de la UPM, y Nicolás Sanchis-Gual, del CENTRA, en la Universidad de Lisboa, han sugerido una **similitud entre la distribución angular del fondo cósmico de microondas (FCM) estudiado con precisión creciente en las sucesivas misiones COBE, WMAP y Planck, y la distribución azimutal de partículas emitidas en colisiones muy energéticas entre haces de protones del LHC en el CERN (Ginebra)**.

El FCM fue emitido unos 380.000 años tras el instante inicial del Big Bang, al hacerse transparente a la luz el universo primitivo, habiendo descendido la temperatura lo suficiente como para permitir la formación de átomos neutros (la llamada “recombinación”). La explicación de la extraordinaria uniformidad en temperaturas observada en el FCM (anisotropías del orden de unos pocos 10^{-5} K) ha requerido la introducción en 1980 por Alan Guth y

Por tanto, las anisotropías del FCM desvelan las “semillas” de las grandes estructuras posteriores del universo (como galaxias, cúmulos, grandes vacíos, etc.), que muestra ser homogéneo e isótropo a gran escala.

Por otro lado, la producción temprana de un estado no convencional de materia (denominada oscura u oculta) en las colisiones de protones del LHC, jugaría un papel semejante a la inflación cósmica, extendiendo las correlaciones angulares entre partículas finales mucho más de lo esperado sin tal estado inicial (de unos pocos a 180 grados o más). Subsiguientemente, **la materia oscura/oculta daría lugar a estados ligados inestables, de modo análogo a la recombinação en la evolución cósmica**. Según algunos modelos, la materia oscura se desintegraría rápidamente en quarks y gluones (los habituales del Modelo Estándar) originando una segunda cascada partónica evolucionando hasta las partículas fina-

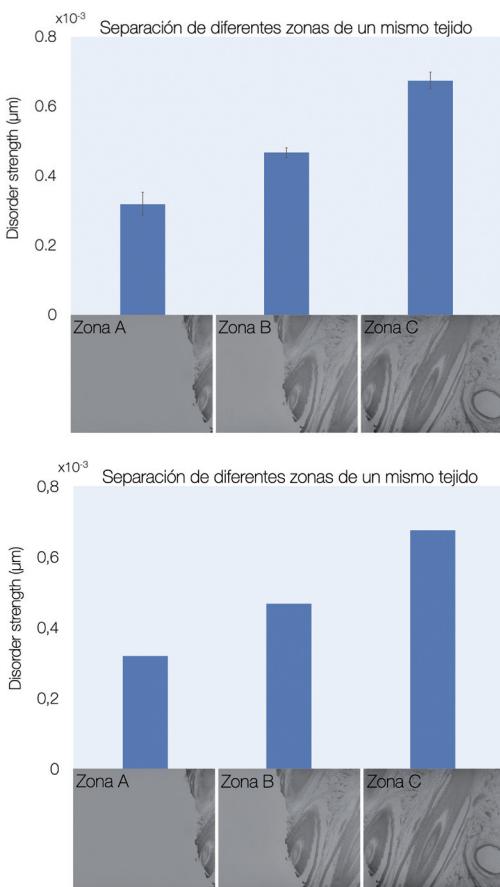
les detectadas, normalmente agrupadas en forma de resonancias, clusters y jets, equivalentes a las macroestructuras del universo actual en nuestra analogía. La clave de la existencia de las correlaciones angulares de largo alcance radica en la estructura de dos etapas, como se ve en la figura. **Un fenómeno semejante se ha observado en las colisiones de iones pesados**, relacionado en este caso con la formación de plasma de quarks y gluones.

Dado el extraordinario papel jugado por el estudio del FCM para entender la evolución del cosmos, y la necesidad de postular un período inflacionario, los autores concluyen que **la medida de correlaciones angulares en las colisiones de altas energías podría cumplir un papel semejante para la búsqueda de Nueva Física más allá del Modelo Estándar**, tanto en el LHC como en futuros colisionadores.

DETECCIÓN TEMPRANA DE CÁNCER MEDIANTE UN ESPECTRÓMETRO Y UNA FIBRA ÓPTICA

La microscopía óptica es una herramienta que ha resultado esencial para la detección de los cambios celulares, a microescala, que se dan en las etapas más avanzadas del desarrollo de un cáncer. En estas etapas es cuando este comienza a presentar sintomatología y ya son visibles las alteraciones histológicas.

Todos los expertos coinciden en que la prevención y el diagnóstico precoz son los medios más eficaces para hacer frente a esta enfermedad. Sin embargo, en sus etapas más tempranas, los tumores comienzan con un desarrollo silencioso, ocasionado por una serie de cambios genéticos y epigenéticos, a nanoscala, que resultarán en una modificación de la estructura celular. Debido al límite impuesto por la difracción de la luz, que evita que se puedan distinguir estructuras con una separación menor de unos 250 nanómetros, **estos cambios permanecen indetectables por las técnicas convencionales de microscopía óptica**. En la búsqueda de técnicas que permitan prevenir o detectar el cáncer en sus etapas tempranas, un equipo formado por los in-



vestigadores Roberto Fernández, Asier Marcos, Manuel Desco y Jorge Ripoll, de la Universidad Carlos III de Madrid y el Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón (Madrid), y los investigadores Sergi Gallego y Augusto Beléndez, de la Universidad de Alicante, ha desarrollado un **método alternativo de aplicación de la técnica Partial Wave Spectroscopy (PWS)**. Esta técnica fue desarrollada por la Universidad Northwestern, en Estados Unidos, y permite la detección de los cambios nanoestructurales en las células mediante el cálculo de un parámetro estadístico, el **disorder strength (L_d)**, extraído de las fluctuaciones del **espectro de retrodispersión**. El método PWS original se basa en el empleo de una cámara CCD y un filtro sintonizable, que permite medir secuencialmente el espectro de retrodispersión para cada longitud de onda, tras iluminar la muestra con luz blanca. Esto se realiza para cada píxel de la imagen captada por la cámara en un proceso que dura entre 4 y 5 segundos y que, debido al tamaño y características del equipo, se hace imposible adaptarlo a sistemas de pequeño tamaño y condiciones de medida restrictivas.

En un trabajo recientemente publicado en la revista *Biomedical Optics Express* (DOI:10.1364/BOE.396013), los investigadores han desarrollado un método alternativo de aplicación de esta técnica basado en el uso de una fibra óptica y un espectrómetro. Tal y como indica el Dr. Fernández, la luz retrodispersada es guiada hacia el espectrómetro a través de una fibra óptica. **De esta forma, es posible medir el espectro de retrodispersión completo en una única medida y aplicar la técnica PWS empleando un valor medio de intensidad para cada longitud de onda, en vez de la intensidad de cada píxel.** Los primeros resultados obtenidos por esta técnica son comparables a los obtenidos por la técnica original, **permitiendo separar distintos tejidos y diferentes áreas dentro del mismo tejido**. “Esta primera validación nos acerca al desarrollo de un sistema de medida mínimamente invasivo, muy flexible, gracias a la fibra óptica, y prácticamente instantáneo. Esto permitirá integrarlo en sistemas con condiciones tan restrictivas como los endoscopios y otros sistemas de detección *in-vivo*”, concluye el Dr. Fernández.

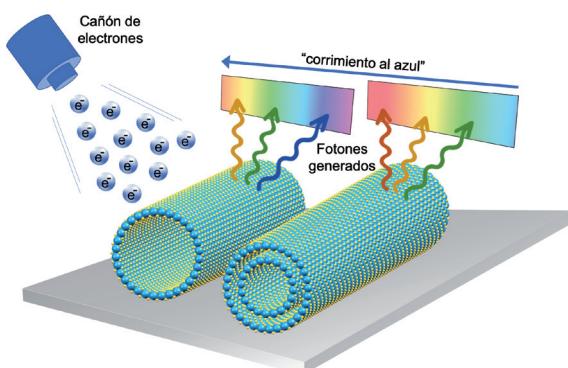
NANOTUBOS MONOCAPA DE WS₂ MUESTRAN UN NOVEDOSO COMPORTAMIENTO LUMINISCENTE

Avances en el campo de la Nanotecnología han permitido alcanzar un control sin precedentes en la reducción de la dimensionalidad de materiales de interés tecnológico e industrial, lo que ha llevado al descubrimiento de propiedades emergentes sólo accesibles en la nanoescala. Un ejemplo paradigmático lo constituyen materiales laminares como MoS₂ y WS₂, que experimentan una transición desde un gap electrónico indirecto a un gap directo en el límite de una única capa. Imaginemos entonces el desafío

de poder “enrollar” estas monocapas sobre sí mismas para obtener nanotubos y poder así analizar y aprovechar sus excelentes propiedades luminiscentes, únicamente vislumbradas hasta la fecha mediante predicciones teóricas.

José I. Martínez y Julio A. Alonso, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid del CSIC y la Universidad de Valladolid, respectivamente, en una colaboración multidisciplinar con los Institutos Holon y Weizmann de Israel, y los Institutos de Física y de Ciencia de Plasmas de Greifswald en Alemania, han obtenido la primera evidencia experimental, confirmada mediante cálculos de primeros-principios, **de los efectos del confinamiento cuántico en nanotubos WS₂ monocapa** en comparación con nanotubos de varias capas, mediante medidas de catodoluminiscencia (*Applied Physics Reviews*, DOI: 10.1063/5.0019913). A pesar de las dificultades para obtener nanotubos monocapa de este material, debido al estrés que experimentan por causa de su curvatura, se ha desarrollado un **novedoso protocolo para obtener nanotubos monocapa** mediante un reactor de plasma capaz de cortar y arrancar fragmentos de nanotubos multicapa que después se enrollan espontáneamente sobre sí mismos. Este protocolo produce nanotubos monocapa con diámetros de 3 a 7 nm, donde los efectos de confinamiento electrónico comienzan a adquirir relevancia, y permite obtener cantidades masivas de nanotubos.

Se llevaron a cabo experimentos de catodoluminiscencia sobre regiones con abundancia de nanotubos formados, localizadas mediante microscopía



ICMM Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

electrónica de transmisión, sometiendo la muestra a bombardeo con electrones, lo que produce fotones en la zona visi-

ble del espectro. Los resultados revelan los efectos de confinamiento cuántico en nanotubos WS₂ monocapa en comparación con nanotubos multicapa, mediante la observación de un “**corrimiento hacia el azul**” de 110 meV del **pico principal del espectro de emisión**. Simultáneamente se produce un efecto opuesto de “corrimiento hacia el rojo” del gap electrónico debido a la curvatura de los nanotubos en comparación con láminas planas del material. Cálculos teóricos han confirmado ambos desplazamientos hacia el azul y el rojo en las propiedades de emisión de nanotubos WS₂ de distintos tamaños y quiralidades. La capacidad para seleccionar a la carta la estructura electrónica por su relación con la morfología y número de capas abre la puerta al diseño de dispositivos catalíticos, transistores de efecto campo, sensores y, en definitiva, una pléthora de nuevas tecnologías y aplicaciones.

¿CUÁNTO SE PUEDE MEJORAR LA VISIÓN CON UNA LENTE PROGRESIVA?

La presbicia es la perdida de la capacidad del ojo de enfocar objetos cercanos. Este defecto visual surge con la edad y cuando se combina con un defecto visual en visión lejana, como es la miopía, provoca que no sea posible su compensación con lentes monofocales. Una de las soluciones más utilizadas son las llamadas lentes progresivas. Estas proporcionan una potencia óptica diferente para las distintas regiones de la lente asociadas a cada zona de visión: lejana, intermedia y cercana. Esto se consigue gracias a una superficie óptica en la cual la curvatura media varía suavemente a lo largo de la superficie. Sin embargo, la geometría diferencial impone una restricción a esta solución: **no es posible diseñar una superficie suave con curvatura media variable sin inducir cilindro (diferencia de curvaturas principales, astigmatismo en optometría) que emborrone la imagen**. Esta limitación matemática es la que establece el principal límite de calidad visual alcanzable con una len-

te progresiva. Por lo tanto, cualquier avance en el conocimiento de las relaciones geométricas entre la curvatura media y el cilindro, en este tipo de superficies ópticas, es crucial a la hora de evaluar hasta dónde podemos llegar en la mejora de la visión con una lente progresiva. El teorema de Minkwitz cuantifica, en cierto modo, esta relación estableciendo que si fijamos una línea umbilical en la superficie (línea donde el cilindro se anula) donde se prescribe una curvatura media variable con un incremento, digamos de X, entonces el incremento del cilindro a lo largo de una línea ortogonal es el doble de X. Recientes trabajos habían extendido el teorema Minkwitz a líneas no necesariamente umbilicales. Sin embargo, tanto el teorema Minkwitz como estas generalizaciones adolecen de ser resultados aproximados. **En un artículo publicado el 7 de octubre de 2020 en la revista *Optics Letters* (<https://doi.org/10.1364/OL.401927>)** por Sergio Barbero y María del Mar González, investigadores del Instituto de Óptica (CSIC) y del Departamento de Matemáticas de la UAM y el ICMAT, respectivamente, se han descubierto las ecuaciones de compatibilidad que establecen todas las relaciones posibles entre el cilindro y la curvatura media en una superficie progresiva suave. Estas ecuaciones son exactas y revelan que, al contrario de lo que los resultados antes mencionados predicen, el cilindro y su derivada no sólo dependen de la curvatura

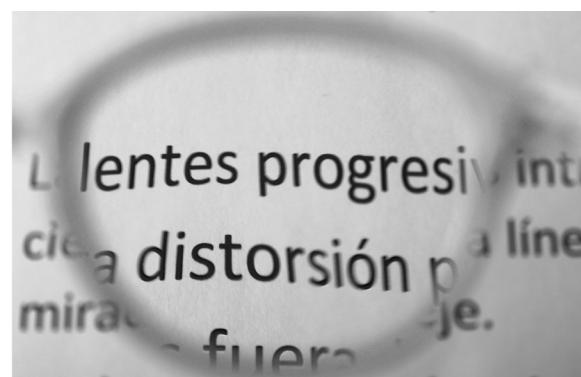
vancia de la curvatura geodésica mediante cálculos numéricos. La única restricción de las nuevas ecuaciones es que deben aplicarse a lo largo de líneas de curvatura excluyendo puntos umbilicales.

PROYECTO HENSA PARA MEDIR EL FLUJO DE NEUTRONES PROCEDENTE DE LOS RAYOS CÓSMICOS

El proyecto HENSA (del inglés *High Efficiency Neutron Spectrometry Array*) es una campaña para medir el flujo de neutrones procedentes de los rayos cósmicos en diversas ubicaciones de España. Este flujo de partículas se asocia a fallos puntuales en sistemas microinformáticos que pueden afectar a las telecomunicaciones, es responsable de una parte de la radiación recibida durante vuelos comerciales y puede aportar información sobre la interacción de la actividad solar con la atmósfera —el llamado *clima espacial*—. Tras realizar medidas en el norte del país, el dispositivo se instaló el pasado mes de octubre en Sierra Nevada (Granada) y, posteriormente, en Valencia, Madrid y a finales de noviembre en la azotea de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la UPC.

El proyecto HENSA tiene como objetivo caracterizar el fondo de neutrones producido por rayos cósmicos durante el mínimo de actividad del Sol. Este mínimo está asociado al ciclo magnético solar, que tiene un periodo de 11 años, y está teniendo lugar este año 2020 entre los meses de febrero y noviembre. Debido a que durante el mínimo hay menos partículas procedentes del Sol, éste es el momento óptimo para medir el espectro de neutrones en diferentes emplazamientos y altitudes a lo largo del territorio español.

Los neutrones forman parte de los rayos cósmicos secundarios, es decir, se forman en la alta atmósfera cuando los rayos cósmicos procedentes del espacio (los llamados “primarios”) chocan contra los átomos de la atmósfera. Caracterizar bien este flujo



media y sus derivadas a lo largo de la línea donde se prescribe el cambio de curvatura media (línea principal), sino también de la curvatura geodésica y sus derivadas a lo largo de la línea ortogonal a la línea principal. Adicionalmente, se cuantifica la rele-

de neutrones en los rayos cósmicos es de gran relevancia para la seguridad de sistemas electrónicos de telecomunicaciones o navegación, puesto que pueden ser causa principal los llamados *Single Event Upset* (SEU), fallos puntuales en sistemas microelectrónicos que atribuimos a la interacción de esos neutrones con un chip del aparato en cuestión.

También son de importancia por la información que pueden aportar sobre **eventos solares, como las eyeciones de masa coronal, que son ráfagas de materia y radiación que escapan violentamente del Sol y que son más comunes durante el máximo del ciclo**. Estos eventos tienen importantes efectos sobre el campo electromagnético terrestre y pueden afectar a las telecomunicaciones, a los sistemas de navegación aérea y espacial y al transporte y almacenamiento de energía eléctrica. En cualquier caso, para poder estudiar estos sucesos violentos antes es preciso entender el fondo de neutrones que está presente en condiciones



normales. Este fondo forma parte de la radiación natural de nuestro planeta y afecta, por ejemplo, a la tripulación de los vuelos comerciales.

HENSA es un espectrómetro de neutrones de alta eficiencia diseñado para la caracterización del fondo neutrónico ambiental en instalaciones de baja radioactividad (laboratorios subterráneos de investigación) y a nivel de la superficie terrestre. El proyecto HENSA está financiado con fondos del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y el equipo que lo ha desarrollado se compone de científicos y técnicos del Instituto de Física Corpuscular (IFIC), el Institu-

to de Técnicas Energéticas de la UPC (INTE-UPC), la UCM y el Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR, Alemania). También contribuyen al proyecto el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) e investigadores del Centro Canadiense de Aceleradores de Partículas (TRIUMF) y del Centro de Investigación de Iones Pesados (GSI, Alemania).

En su primera campaña de mediciones en España, HENSA se instaló, durante el mes de julio, en la sede del LSC, la estación de esquí de Astún (también en Canfranc, Huesca) y en el Instituto de Física de Cantabria (IFCA). Despues del verano se ha utilizado en una segunda serie de mediciones en el centro y sur del país, con su instalación en el Observatorio de Sierra Nevada (OSN), a 2.896 metros cerca del Pico Veleta (Granada), la sede del Instituto de Física Corpuscular en Paterna (Valencia), el Observatorio Astronómico de Javalambre (OAJ), a 1.957 m en la sierra del mismo nombre al sur de Teruel, y la UCM.

¿te gusta investigar?

ATI
La solución adecuada a cada instalación

Suministro de equipamiento para investigación

* alimentación HV-LV * crates de alimentación * racks * electrónica de control y adquisición * espectroscopia * detectores (silicio, HPGe, centelleadores, Cd/Zn/Te...) * cables y accesorios * gestión de adquisiciones

info@atisistemas.com