

Esta semana, las partículas más enigmáticas del cosmos se robaron la atención del mundo entero. Con la entrega de este martes del Premio Nobel de Física al físico belga Francis Halzen, millones de personas escucharon por primera vez sobre la existencia de los neutrinos, partículas elementales de la naturaleza, la segunda más abundante del universo y que se caracterizan por poder atravesar la materia a casi la velocidad de la luz sin apenas interactuar con ella.

Halzen recibió el galardón entregado por la Real Academia Sueca de Ciencias por liderar el desarrollo de IceCube, el observatorio de neutrinos ubicado en la Antártida, considerado como uno de los experimentos para el estudio de estas partículas más relevante del mundo. Sin embargo, este no es el único proyecto que actualmente se dedica a desentrañar los misterios de los neutrinos.

El Experimento de Neutrinos Subterráneo Profundo (DUNE, por sus siglas en inglés) es una iniciativa que cuenta con la participación de más de 1.500 investigadores de 35 países. Con el propósito de conocer más sobre las propiedades de estas partículas, de este proyecto de grandes dimensiones hacen parte seis universidades colombianas, entre ellas tres antioqueñas.

Así es como físicos e ingenieros de la Universidad de Antioquia, la Universidad de Medellín y la Universidad EIA están trabajando en un experimento que podría tener como resultado avances científicos y tecnológicos nunca antes vistos.

Un "fantasma" con tres sabores

Los neutrinos también son conocidos como "partículas fantasmas" porque casi no interactúan con lo que se encuentran a su paso. Justo esa característica es la que les permite atravesar con gran facilidad la materia. Amalia Betancur, física de la EIA que está participando en DUNE, lo explica con el encendido de una linterna: "si dirijo la luz hacia una pared, no puedo iluminar lo que hay al otro lado. ¿Por qué? Porque la luz interactúa con los materiales que encuentra en su camino y la pared la bloquea. Los neutrinos, en cambio, no tienen ese mismo problema: pueden atravesar grandes cantidades de materia sin interactuar con ella. Por eso nos permiten estudiar fenómenos y regiones del universo que de otra manera serían difíciles de observar".

Pero esa capacidad de cruzar de manera sencilla de un lado a otro es lo que también los hacen tan difíciles de detectar, un asunto que es de gran interés para la Física. Halzen, el ganador del Nobel, en los ochenta pensó que la estela de los neutrinos tal vez podría atraparse con un nuevo tipo de telescopio.

Años de estudio termina-

ron dando origen a IceCube, que fue construido entre 2004 y 2010, detector que está enterrado entre 1.500 y 2.500 metros de profundidad en el Polo Sur y que tiene más de 5.000 sensores para cazar estas partículas. Aunque la mayoría de las que llegan a la Tierra vienen del Sol, en 2013, el experimento de Halzen logró captar 28 neutrinos que provienen de las afueras de nuestra estrella.

Aunque este proyecto permitió conocer más sobre la trayectoria de estas partículas, al igual que estudiar los lejanos cuerpos en las que nacen, aún queda mucho por saber sobre ellas. Es por eso que en 2017, investigadores del Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi (Fermilab) de Estados Unidos, uno de los centros de investigación de física de partículas más importante del mundo, decidió darle inicio a DUNE, la colaboración científica más grande de la historia sobre neutrinos hasta la fecha.

Son varias las preguntas que quisieran resolver. El sitio web oficial de Fermilab explica que el proyecto quiere hacer descubrimientos en tres grandes áreas. Una de ellas es encontrar explicaciones para fenómenos del universo con nueva física, más allá del Modelo Estándar, lo que también permitiría hacer una mejor descripción de los neutrinos como, solo por poner un ejemplo, cuál es su masa o entender mejor su oscilación, que es un fenómeno que hace que cambian de un tipo a otro —en total existen tres y están etiquetados con "sabores"— mientras viajan.

También, como explica Diego Restrepo, físico de la Universidad de Antioquia y participante de la investigación, los neutrinos y los antineutrinos pueden ayudar a resolver uno de los grandes misterios del universo: por qué hay mucha más materia que antimateria. Para investigarlo, el experimento DUNE estudiará si ambos se comportan de manera diferente, lo que aportaría pistas sobre el origen de nuestro mundo.

Y la tercera línea de investigación será estudiar las explosiones de supernovas, las cuales liberan enormes cantidades de neutrinos que pueden llegar hasta la Tierra y dar pistas sobre lo que ocurre en el interior de la estrella mientras colapsa y da origen a otros objetos como los agujeros negros.

Para esto, a diferencia de IceCube, DUNE no estudiará neutrinos que vienen del cosmos, sino que analizará los creados por un acelerador de partículas de alrededor de 213 metros de longitud ubicado en Illinois, Estados Unidos, en la sede principal de Fermilab. Esas partículas viajarán unos 1.300 kilómetros hasta llegar a lo que antes eran las instalaciones de una mina de oro en Dakota del Sur y donde se está construyendo un enorme detector de neutrinos a 1,5 kilómetros bajo suelo.

Tres universidades paisas participan en uno de los mayores experimentos de física del mundo

Investigadores de la Universidad de Antioquia, EIA y de Medellín hacen parte del Experimento de Neutrinos Subterráneo Profundo (DUNE), que estudia una de las partículas más enigmáticas del universo. Necesitan el apoyo de MinCiencias para esta colaboración científica.



Arriba están los profesores de la Universidad de Antioquia y abajo los de la Universidad EIA que están participando en DUNE.

FOTO CORTESÍA

po, profesor de la EIA que también está participando en el proyecto.

La excavación de las cavernas terminó en 2024 y este año inició la instalación del detector que para funcionar necesita un sistema que lo mantenga a aproximadamente -184 grados Celsius, temperatura que es clave para conservar el elemento químico que ayudará a la detección de las partículas: el argón líquido.

La idea es que, entre los miles de millones de neutrinos que atraviesan el detector —viajarán en línea recta entre las sedes del experimento, sin necesidad de construir un tú-

"Esa enorme capa de roca permite aislar los detectores de muchas otras partículas que podrían interferir con las mediciones. Aunque algunas

se producen en la propia roca, sabemos cómo identificarlas y distinguirlas de las señales que nos interesan", detalla el ingeniero José Valentín Restre-

nel-, algunos interactúan con los átomos del argón y producen una señal que pueda ser medida. Sin embargo, por su misma naturaleza, estas interacciones pueden ser poco frecuentes. Restrepo incluso dice que, según algunas estimaciones, podrían ser apenas unas cuantas al día, aunque otras simulaciones arrojan cifras mayores.

Los participantes colombianos

En Colombia, además de las universidades antioqueñas, también están participando en DUNE la Universidad del Atlántico, la Universidad del Magdalena y la Universidad Antonio Nariño. Por medio de una colaboración con esta última es que profesores de la EIA comenzaron a trabajar en DUNE hace alrededor de ocho años. Actualmente, la física Betancur, los ingenieros Restrepo y Daniel Ávila son los investigadores que hacen parte del proyecto.

El aporte de los investigadores colombianos a DUNE se concentra en el consorcio del sistema de detección de fotones (*Photon Detection System*, en inglés), uno de los once grupos en los que se divide el proyecto para distribuir las responsabilidades de diseñar, construir y operar sus diferentes subsistemas y tecnologías. Este consorcio reúne a los investigadores encargados de los sensores que captarán los destellos de luz producidos en el encuentro de los neutrinos con el argón líquido.

Restrepo es uno de los ingenieros de pruebas del detector cercano, diseña y evalúa los equipos que funcionarán como detectores, está desarrollando códigos para analizar los datos y participando en la creación del software que permite controlar y supervisar su funcionamiento. Por su parte, Ávila, ingeniero mecatrónico, participa en el diseño y la integración de las tecnologías que permitirán adquirir y almacenar los datos resultantes de DUNE.

Y, en el caso de Betancur, su trabajo en la colaboración está concentrado en proponer modelos teóricos para estudiar fenómenos físicos como la detección indirecta de la materia oscura.

Actualmente, las pruebas para validar el trabajo que están haciendo Restrepo, Ávila y otros miles de científicos se están llevando a cabo gracias a una alianza con la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN por sus siglas en francés), el mayor laboratorio de física de partículas del mundo ubicado entre Suiza y Francia.

La Universidad de Medellín se incorporó a DUNE en 2021. Sin embargo, todo comenzó en 2019, con la visita del físico japonés Takaaki Kajita a esta institución, ubicada en el barrio Belén. Cuatro años antes, Kajita recibió el Premio Nobel de Física, junto al canadiense Arthur B. McDonald, por sus investigaciones sobre las oscilaciones de los neutrinos. Kajita las estudió con el experi-

mento Super-Kamiokande, instalado en una mina en Japón, con el que se observó cómo estas partículas cambian de un tipo a otro a medida que viajan.

El Nobel japonés asistió a un evento internacional en la capital antioqueña sobre neutrinos, en el cual también estuvieron investigadores que para entonces ya hacían parte del experimento de Fermilab. Ahora son tres los investigadores de la Universidad de Medellín que están allí: los físicos Alex Tapia, David Vanegas y Jorge Ossa.

Tapia explica que, desde la parte computacional, actualmente están entrenando una red neuronal para clasificar las fibras ópticas que se utilizarán en el experimento, las cuales transportarán las señales necesarias para el funcionamiento de los fotosensores inmersos en el líquido de muy bajas temperaturas. Además, Vanegas también está participando en la parte teórica, con estudios sobre modelos de física que van más allá del Modelo Estándar.

En ese mismo consorcio también están trabajando los profesores de la Universidad de Antioquia Jhony Jaramillo, Diego Restrepo, Jorge López, Fabián Castaño, Óscar Zapata, Felipe Ramírez y Jaime Osorio. Inicialmente, colaboraron en el diseño y acondicionamiento de los sistemas de detección de la luz que deja la interacción de las partículas y la materia, y en los sistemas que registran y procesan esas señales. El reto es que la luz se produce en intervalos extremadamente breves, del orden de los nanosegundos (milmillonésimas de segundo), por lo que los equipos deben captarla con gran rapidez y precisión.

Osorio detalla que la primera etapa de diseño del proyecto está llegando a su fin. Ahora están avanzando en el sistema de control de los equipos electrónicos del experimento, donde su función es supervisar que todos los componentes funcionen correctamente y permitir que el equipo responda cuando algo falle. Por ejemplo, si un

dispositivo deja de funcionar, el sistema debe ayudar a identificar el problema y determinar qué acción tomar. En eso están volcados sus esfuerzos en este momento, tras haber empezado a trabajar durante la pandemia, cuando la universidad fue contactada para apoyar el desarrollo de una de las tecnologías necesarias para los detectores. Durante dos años trabajaron en ello y, en 2022, pasaron a ser miembros oficiales del experimento.

Según el calendario del proyecto disponible en el sitio



ALEX TAPIA
Investigador de la UdeM



JORGE OSSA
Investigador de la UdeM



DAVID VANEGAS
Investigador de la UdeM

web de DUNE, la idea es que uno de los detectores comience a funcionar en 2029. A partir de entonces se comenzaría a generar un enorme volumen de datos que, para dimensionarlo, podrían llenar el disco duro de un computador convencional solo en segundos. Los profesores de estas tres universidades también buscan participar del análisis de esta información, que es de donde podría salir una parte de los descubrimientos revolucionarios por los que se están desarrollando el experimento.

Y a pesar de que esto está lejos de llegar a su fin, son varios los aprendizajes que ha dejado a sus participantes colombianos. Ávila, ingeniero de la EIA, señala que una de las principales lecciones ha sido el manejo de la frustración y perseverar a la hora de buscar soluciones ante los problemas que cada día exige el proyecto. Tapia, el físico de la Universidad de Medellín, destaca la oportunidad de utilizar los conocimientos aprendidos en esa investigación internacional en otros estudios que se están realizando en el país.

Además, el hecho de que seis instituciones de educación superior del país hagan parte de esta colaboración habla de las capacidades científicas que tienen los profesionales colombianos. “Desde Colombia también podemos aportar a la ciencia y la ingeniería. A veces vemos proyectos de la NASA o de SpaceX y pensamos que son cosas lejanas, casi imposibles de alcanzar. Pero en Colombia hay talento y capacidad para contribuir a este tipo de iniciativas”, asegura Betancur.

Pero para continuar trabajando en esto, a pesar de que ya su colaboración en DUNE es oficial, también es necesario el respaldo económico del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. “Queremos que el Ministerio vea que hay muchas universidades colombianas trabajando en este proyecto y que este representa una oportunidad

para formar investigadores posdoctorales y estudiantes de doctorado, maestría y pregrado en áreas de muy alto nivel. La idea es que se trace una ruta de apoyo para todas las instituciones que participan”, dice Osorio.

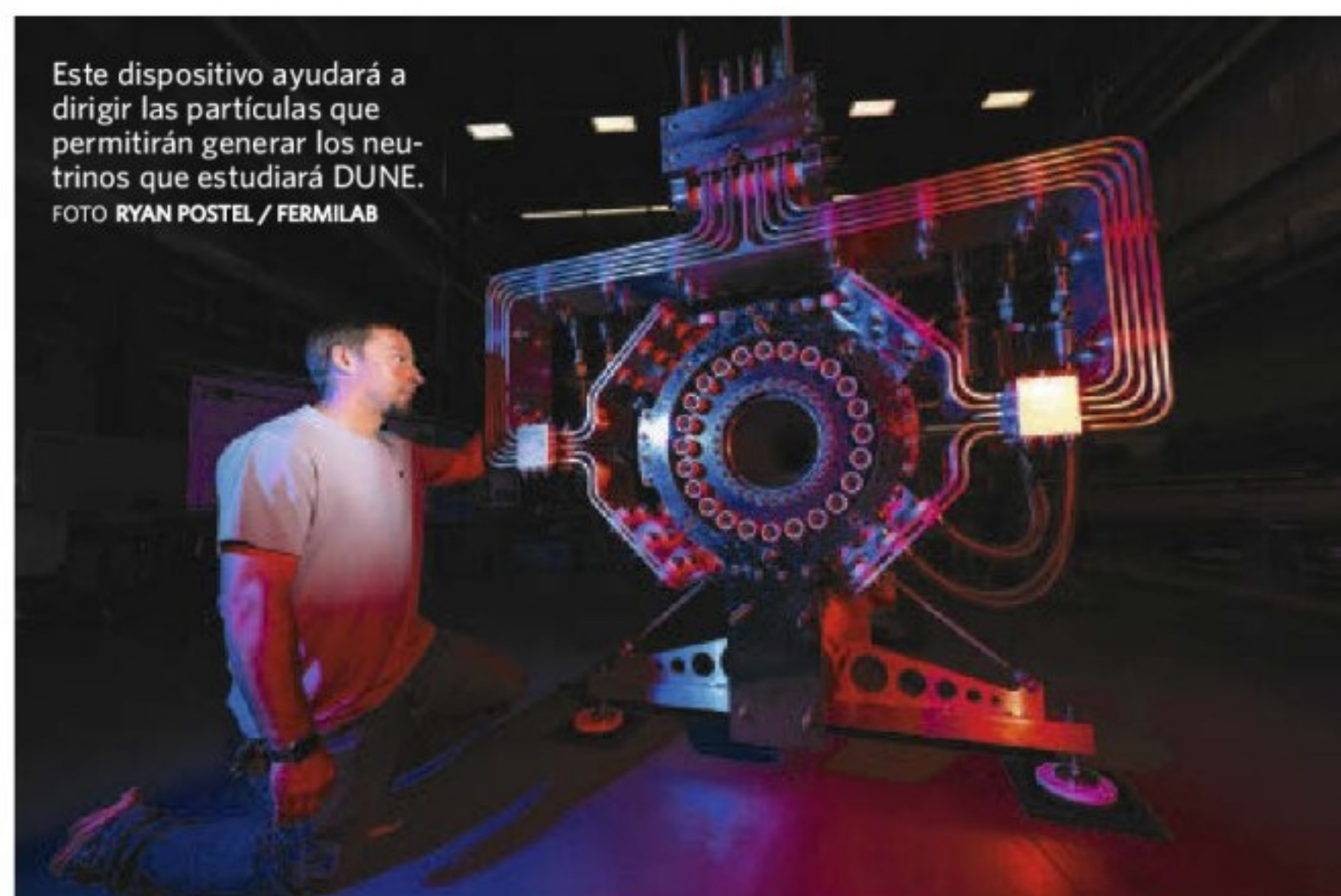
Esa financiación, por ejemplo, se podría ver reflejada en la cantidad de personas que hacen parte del proyecto o en la cantidad de horas que estas pueden dedicar a las tareas que este implica. También para que estudiantes de maestría y doctorado se integren, para asistir a los eventos que implica hacer parte un experimento internacional y hasta para adquirir equipos que permitan seguir colaborando y, de paso, enseñar en clase.

DUNE, al ser experimento de neutrinos más grande actualmente, podría tener resultados prometedores y, a diferencia de otros casos, en esta ocasión Colombia empezó a participar desde el comienzo, no llegó tarde a uno de los desarrollos que podría responder preguntas fundamentales sobre la existencia del universo.

Aunque las conclusiones no pueden adelantarse, las aplicaciones de los hallazgos que podrían obtenerse allí pueden ser en numerosos campos. Por ejemplo, se ha hablado de poder utilizarlos para transmitir información. Como atraviesan grandes cantidades de materia sin interactuar con ella, se ha planteado que podrían servir como mensajeros para enviar señales de una manera distinta a la que usamos hoy en las telecomunicaciones. También de que podrían aprovecharse para conocer mejor el interior de la Tierra.

Y, aparte de lo que pueda venir tras el análisis de esos datos, también está lo que los investigadores construyen o encuentran en un proyecto que exige llevar las capacidades incluso a niveles nunca antes vistos. Ha ocurrido muchas veces que, en experimentos de grandes magnitudes, se han creado, sin buscarlo y mucho menos esperarlo, soluciones que hoy hacen parte de nuestro día a día. La World Wide Web (WWW), por ejemplo, fue creada en los años ochenta por el científico Tim Berners-Lee mientras trabajaba en el CERN y buscaba una forma de compartir información entre investigadores que no fuera tan lenta ni difícil.

“Es posible que de esta investigación surjan futuros premios Nobel en el campo de la física de neutrinos, además de desarrollos tecnológicos de los que podríamos ser los primeros beneficiarios. En las grandes colaboraciones científicas, quienes participan tienen acceso prioritario a la información, los datos y los resultados tecnológicos que se producen. Por eso es tan importante que Colombia no solo esté presente, sino que cuente con las condiciones para contribuir y aprovechar las oportunidades que ofrece el proyecto”, concluye Jhony Jaramillo, físico de la Universidad de Antioquia.



Este dispositivo ayudará a dirigir las partículas que permitirán generar los neutrinos que estudiará DUNE.
FOTO RYAN POSTEL / FERMILAB