

## Proyecto DUNE: Una sorpresa científica desde la Universidad EIA

**Amalia Betancur - Profesora Programa de Física**  
**Edgar Rincón - Profesor Programa de Mecatrónica**  
**Miembros del Proyecto DUNE - Deep Underground Neutrino Experiment**

### ¿Por qué existimos?

Esta puede ser una pregunta tan antigua como la humanidad misma. Desde la ciencia sabemos que se necesitan ciertas condiciones, muy particulares, para que existamos. Por ejemplo, en otro planeta del sistema solar, las temperaturas serían muy altas o muy bajas para soportar la vida tal como la conocemos. También está el asunto del agua, el único ejemplo que tenemos de vida, el de la Tierra, necesita del agua. Pero, hay otras condiciones necesarias, mucho más sutiles para que existamos. Para darnos cuenta de ellas tuvimos que explorar desde lo más vasto del espacio, hasta lo más profundo de la materia. En este escrito vamos a hablar de una condición muy particular, pero fundamental para nuestra existencia, y de cómo desde la Universidad EIA, trabajamos (con muchos científicos e instituciones de todo el mundo) para tratar de resolverla.

Antes de iniciar con nuestra forma de abarcar la pregunta planteada, vale la pena aclarar que la física se puede usar para el estudio del mundo y el universo. Existen las escalas grandes de la física como la que se usa en cosmología, para entender el universo como un todo, o en ingeniería, como las que ayudan a asegurar la estabilidad de una estructura grande. Pero, también están las escalas de lo muy pequeño, las atómicas y subatómicas, que son descritas por una física extraña, pero altamente probada en experimentos: la mecánica cuántica. En este escrito vamos a abarcar este intrigante y a la vez apasionante mundo de lo muy pequeño. Es, por cierto, este mundo pequeño el que es tema central de la física en una de las películas de moda, Oppenheimer. Como vemos en la película, esta física puede entonces ser la generadora de grandes cantidades de energía, que podrían también llevarnos a destrucciones masivas cuando se toman las decisiones incorrectas. Aunque, también podría llevarnos a generación de energía mucho más limpia y eficiente que las que tenemos actualmente. El potencial es inmenso.

Ahora sí, volviendo a la pregunta original de nuestra existencia, recordemos que nosotros y todo lo que vemos que nos rodea, está hecho de átomos; estos a su vez están hechos de protones, neutrones y electrones. Los protones y neutrones están hechos a su vez de unas partículas más pequeñas y considerablemente menos famosas, los quarks. De esta manera, parecería que tenemos claro el rompecabezas de la materia, pero en realidad no es así.

En los años 30, un científico inglés llamado Paul Dirac (no confundir con Cyrano de Bergerac), multiplicó por dos el mundo de partículas conocidas, ¡propuso la antimateria! Es decir, propuso la existencia de antipartículas como el antiprotón, antineutrón y positrón (que es el antielectrón). Algo muy arriesgado en aquella época, pero que resultó ser correcto. Partículas de antimateria nos llegan constantemente de la atmósfera, las pueden emitir los bananos que comemos como desayuno y hemos inclusive aprendido a producirlas y a usarlas para nuestro beneficio. En muchos hospitales hay un equipo de ayuda diagnóstica llamado “tomografía por emisión de positrones” (tomografías PET) más especializadas que tradicionales radiografías. En estos equipos se usan positrones (generados en laboratorios) para que se “choquen” con los electrones del cuerpo y produzcan luz. Es esta luz la que da información a los médicos sobre lo que sucede en el cuerpo de un paciente.

En consecuencia, lo que vemos es que una partícula se encuentra con su antipartícula, rápidamente se chocan y desaparecen para producir radiación o luz. Este proceso de aniquilación tiene que haber sucedido desde el inicio del Universo. Por otro lado, sabemos que, el modelo que describe la física de estos pequeños entes predice que se tenían que crear al inicio del Universo tantas partículas de materia como de antimateria. Es decir, cuando sucede el Big Bang, la antimateria es tan común como la materia y por lo tanto se deberían haber aniquilado una con la otra, dejando un Universo lleno de radiación, algo aburrido y definitivamente nada parecido al que conocemos. Si hubiera persistido la antimateria no habría, por cierto, posibilidad de que existiéramos. No obstante, acá estamos, rodeados de cosas, montañas, agua, planetas y personas. ¡Sí hay materia y sí existimos! ¿Qué pasó? Desde la física de partículas sabemos que tuvimos que iniciar el Universo con tantas partículas como antipartículas. Pero, unos instantes después del inicio, la materia ganó y emergieron entonces esos protones, neutrones y electrones de los que estamos hechos.

No sabemos cómo la materia ganó esta pelea cósmica, no tenemos claro cómo ocurrió esto, pero, sabemos que requiere una física más allá de la que actualmente conocemos. Además, sabemos, desde los años 60, qué condiciones se necesitan en esta nueva y desconocida física. Y así fue descrito por Sakharov en uno de sus artículos especializados [1].

Las condiciones son tres, pero nos vamos a enfocar en una de ellas llamada “violación de carga paridad”. Para entender esta condición, pensemos en qué sucede cuando nos vemos en un espejo: si levantamos la mano izquierda, en el espejo se va a ver como que levantamos la mano derecha. A esto le llamamos reversar o invertir las coordenadas. Pues la paridad es eso, es invertir las coordenadas de las partículas. Por otro lado, la carga se refiere a volver partícula en antipartícula y viceversa. Entonces, buscar violación de carga paridad es buscar qué sucede con las partículas cuando consideramos las dos acciones al mismo tiempo, reversamos las coordenadas y volvemos partículas a antipartículas. Puede sonar extraño, pero es fundamental para esta búsqueda del por qué existimos. La violación de carga paridad en las partículas se ha medido en estos pequeños y no tan conocidos entes, los quarks. Pero se ha encontrado que para que la materia le gane a la antimateria en el inicio del universo, se necesita más violación de carga paridad, es decir, esta debe venir de otras fuentes. Estamos entonces lejos de resolver el problema. Pero, creemos que el secreto podría estar en unas partículas poco conocidas: los neutrinos.

Los neutrinos son llamadas partículas “fantasma” porque atraviesan prácticamente todo. Cada centímetro cuadrado de nosotros está siendo atravesado por varios millones de neutrinos cada segundo; no los sentimos, pero ahí están, pasando a través de nuestro cuerpo. Estos neutrinos vienen principalmente del sol y algunos de la atmósfera. Algunos físicos sospechan que esta violación de carga paridad que nos falta, puede estar justamente ahí, en los neutrinos.

### **Un aporte que nos llena de orgullo**

Medir violación de carga paridad y neutrinos, no es una tarea simple. Como los neutrinos interactúan poco con la materia, son difíciles de estudiar. De hecho, se usan detectores gigantes para poder tener la posibilidad de atrapar algún neutrino.

En el experimento en que participa la Universidad EIA, DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) [2], se va a producir el haz más intenso de neutrinos del mundo a través de choques de protones a muy alta velocidad. Una vez producidos los neutrinos, van a viajar a velocidades muy cercanas a la de la luz. La velocidad de la luz es, por cierto, la más alta posible. En su viaje, los neutrinos van a ser primero caracterizados en un detector cerca de la producción del haz, llamado el detector cercano. Esto se hace porque es importante saber qué tipo de neutrinos se produjeron y con qué energías. Esta parte del experimento va a estar localizada en un pueblo llamado Batavia, cerca de Chicago donde queda Fermilab, el complejo de aceleradores de partículas más grande de Estados Unidos y el segundo más grande del mundo.

Los neutrinos vienen en tres tipos, electrónico, muónico y tauónico. En el experimento DUNE se van a producir, en los choques de protones, principalmente muónicos. Una vez producidos y habiendo algunos sido estudiados en el detector cercano, los neutrinos seguirán su viaje por 1.300 km debajo de la tierra hasta llegar al complejo de laboratorios Sanford, en Dakota del Sur. Allí se tendrán detectores gigantes que son básicamente piscinas de Argón Líquido. La mayoría de los neutrinos que lleguen a Sanford seguirán su camino como si nada. Pero, algunos chocarán con el Argón líquido, estos choques serán estudiados por diferentes y complejos sensores que están dentro de las piscinas, para así entender cómo llegan los neutrinos.

En particular, se estudiará algo llamado oscilaciones de neutrinos. Y es que, los neutrinos no dejan de sorprendernos. A medida que viajan se transforman (oscilan), es decir, los neutrinos muónicos de Fermilab pueden convertirse en otro tipo de neutrino y llegar a Sanford siendo, por ejemplo, neutrino electrónico. Este tipo de oscilación le dará al experimento información sobre la naturaleza de los neutrinos y sobre la muy buscada “violación de carga paridad”.

Para lograr medir esta violación, el experimento tendrá ciclos donde solo estudia neutrinos y sus respectivas oscilaciones y después, tendrá periodos donde estudia antineutrinos (la antipartícula del neutrino), otra vez, con sus respectivas oscilaciones. Al medir las diferencias entre estos dos, se puede obtener información sobre la muy buscada “violación de carga paridad”.

Antes de continuar para entender cómo funciona el experimento DUNE, vale la pena explicar la importancia de estudiar estas partículas subatómicas más allá de nuestra pregunta inicial. Los neutrinos, hoy en día, no resultan aparentemente tan útiles para la sociedad. Pero, si pensamos, lo mismo sucedía en 1900 con el recién descubierto electrón.

Nadie se esperaba que ese muy pequeño adminículo fuera dar inicio a una revolución tecnológica: la electrónica. Así que es difícil asegurar cómo podremos usar los neutrinos para nuestro beneficio en las siguientes décadas. No obstante, se han puesto algunas ideas sobre la mesa: los neutrinos al interactuar muy poco con la materia son los mensajeros perfectos. Se han considerado de hecho para enviar mensajes que se desea sean difíciles de detectar en el camino, y algo así ya se hizo con otro experimento en Fermilab, el experimento Minerva.

También se ha pensado usar los neutrinos para monitoreo de procesos nucleares, por ejemplo, para saber si en algún lugar del mundo se están haciendo ensayos nucleares. Esto porque en estos procesos nucleares siempre se emiten neutrinos y estos no pueden ser absorbidos por materiales muy densos, por lo tanto, son imposibles de esconder. Así vemos que, nuestro interés por los pequeños “fantasmas” va más allá de la ciencia fundamental.

## El alcance del experimento

El experimento DUNE requiere de enormes esfuerzos tanto en el ámbito teórico como en el experimental. El detector lejano, que estará ubicado en Dakota del Sur, será el lugar geográfico donde el lector se podrá ubicar para mejor entender lo que este artículo pretende describir.

En las instalaciones de Sanford Dakota del Sur, se encuentran los detectores lejanos de DUNE. El detector lejano está compuesto de dos “piscinas” de Argón líquido y dentro de estos tanques se encuentran varios tipos de detectores, de los cuales destacamos las Arapucas que en idioma guaraní traduce algo similar a jaula para atrapar pájaros, y estas Arapucas están compuestas de foto-detectores conocidos como SiPM's (pronunciado SipUMS, Silicon Photo-Multipliers) que son en últimas los sensores encargados de sensar los fotones producidos por la interacción Neutrino-electrón.

De otro lado, y continuando con el flujo de la información recolectada por los detectores, encontramos lo que se denomina Cold electronics una tarjeta electrónica basada en amplificadores de transimpedancia, conectados directamente a DAPHNE (Detector electronics for Acquiring Photons from NEutrinos). La tarjeta en mención es un sistema complejo y embebido, capaz de leer y digitalizar las medidas analógicas provenientes del Cold Electronics, para luego ser transmitidas a unos servidores de altísimas velocidades, para un posterior análisis de los datos capturados por los detectores por parte de los científicos.

La Universidad EIA en conjunto con otras universidades Colombianas, como la UAN (Universidad Antonio Nariño) y la UdeA (Universidad de Antioquia), hemos estado encargados de una parte del diseño electrónico de la tarjeta DAPHNE y de su programación. Es importante mencionar que para programar DAPHNE, se debe hacer en un lenguaje conocido como VHDL (Very high speed integrated circuit Hardware Description Language).

El lenguaje VHDL es el que permite a DAPHNE leer datos de 40 canales analógicos, para un gran total de 35 Gigabits de datos por segundo y que llegan a una sola tarjeta DAPHNE. Nótese que el experimento contará con 150 de estas tarjetas trabajando al mismo tiempo. Evidentemente un sistema de estas características requiere de una programación especial que permita lograr esas velocidades tan altas de procesamiento de datos. A modo de ejemplo comparativo, el lector puede pensar que la velocidad de datos promedio que se tiene en el internet de la casa, es de 10 Megabits por segundo, y eso se puede comparar contra 35 Giga bits por segundo de una sola tarjeta DAPHNE. Esto daría que DAPHNE puede transmitir datos unos 3.5 millones de veces más rápido que el internet de la casa.

Ahora bien, conocidas todas estas restricciones de tiempos y velocidades, cantidad de datos, sincronización de eventos, el lector podría preguntarse ¿para qué tanta Ciencia/tecnología, para qué tantos esfuerzos en medir una partícula tan pequeña? Es más, alguien nos dijo en una conversación, una frase corta que resume muy bien el experimento DUNE, “O sea que ustedes hacen un esfuerzo monumental, construyen detectores gigantes, para medir una de las partículas más pequeñas del universo”. ¡Efectivamente, esta persona tiene razón!

Para responder a la pregunta anterior, en primer lugar y desde el punto de vista de una nación, es muy importante que un país en vía de desarrollo como el nuestro pueda involucrarse en proyectos y experimentos de primer nivel o de tecnología de punta; así sea para medir “partículas muy pequeñas” o partículas fundamentales de física, pues es así como se adquiere el know how y el reconocimiento internacional de las capacidades que tenemos en Colombia. Este know how verá sus frutos el día que esas partículas puedan ser utilizadas en otras ciencias más aplicadas, y aunque es posible a hacer suposiciones basados en otros descubrimientos que salieron de otros estudios de física fundamental, como por ejemplo la tomografía axial en Biomédica para detectar tumores u otras afecciones, puede ser que un día en el futuro podamos usar neutrinos para detectar o tratar enfermedades.

En síntesis, puede afirmarse que el know how que se adquiere en proyectos de esta envergadura, van a permitir que en Colombia se puedan medir variables mucho menos restrictivas, que suceden a velocidades inferiores a las de la luz. El conocimiento que nos queda en electrónica y en programación es inmensurable. Un poco como los Neutrinos, uno no se imagina cuándo ni cómo le va a servir. “Pero de que le sirve le sirve”.

### **Referencias:**

[1] “Violation of CP Invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe”, Sakharov, A.D, Soviet Physics Uspekhi, Volume 34, Number 5

[2] “Volume I. Introduction to DUNE”, Colaboración DUNE, Journal of Instrumentation, 15, T08008.