

ENCUENTRO DE FÍSICA EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL¹.

El Centro de Física como principal actividad lleva a cabo prácticas de laboratorio que proporciona enseñanza a estudiantes, sin embargo, además de estas actividades su personal realiza proyectos de investigación, simulación y prototipados asociados a la Física. Esta dualidad fomenta un entorno dinámico donde la educación se integra con la innovación. Los estudiantes adquieren habilidades prácticas y teóricas, mientras el personal impulsa la vanguardia del conocimiento a través de investigaciones y desarrollo de prototipos. Esta simbiosis beneficia tanto a la comunidad educativa como a la investigación, nutriendo el aprendizaje con experiencias reales y promoviendo la aplicación práctica del conocimiento en proyectos innovadores.

Dentro de las actividades de divulgación realizadas por el personal que trabaja en estos proyectos tenemos la participación en el "XVIII Encuentro de Física" organizado por la Escuela Politécnica Nacional. Durante este evento se participó con tres temáticas, la primera de ellas es "La virtualización 3D del experimento de Millikan". Teniendo en cuenta que la enseñanza de la física es una tarea compleja, ya sea por la dificultad de la temática, o por la dificultad del desarrollo de experimentos claves para su correcto aprendizaje.

Gracias a la facilidad de uso de los motores de videojuegos el desarrollo de recreaciones virtuales de experimentos ha venido en aumento, lo que ha facilitado el aprendizaje y enseñanza, ya que permite que experimentos de alta complejidad y/o costos elevados, puedan ser realizados por cualquier persona con acceso a una computadora o dispositivo inteligente. Sin embargo, la mayoría de los simuladores virtuales por lo general son simples virtualizaciones en dos dimensiones con interactividad limitada, enfocados en temáticas de física básica, sea cinemática

o dinámica. Debido a su complejidad estas son más escasas.

Una de las prácticas recientemente anexadas al Centro de Física es el experimento de Millikan, en el cual, por medio de un microscopio, se observan gotas de aceite flotando dentro de un campo eléctrico y se mide el tiempo transcurrido en moverse a través de una rejilla. Gracias a esto se determina que las fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite son: fricción, gravitacional, flotabilidad y campo eléctrico.

En esta oportunidad se compartió el proceso de desarrollo de la virtualización, cómo se recreó el comportamiento de los elementos reales en el ambiente virtual, más no como fue el desarrollo de los elementos tales como los modelos 3D o la interfaz de usuario. Cabe aclarar que el propósito del simulador es funcionar como complemento del experimento real, por ello, y a diferencia de varios laboratorios virtuales existentes, no puede ser una calculadora. El usuario deberá interactuar con los elementos virtuales de manera similar a la que lo haría en un laboratorio.

El simulador es desarrollado sobre la plataforma de Unity, esta permite crear objetos especiales llamados prefabs, lo que permite almacenar componentes y propiedades en un elemento del entorno. Un prefab actúa como una plantilla a partir de la cual se pueden crear nuevas instancias del objeto en dicho entorno (Unity, 2024). Cada gota de aceite es un prefab que tiene código de programación incrustado permitiéndole emular el comportamiento de una gota real.

Al momento que el prefab de una gota de aceite es creado, a este es asignado un valor de radio y número de electrones aleatorio entre un rango definido, de esta

¹ MSc. Washington Lomas, Ing. Daniel Ronquillo,
MSc. Jonathan Sánchez, MSc. Jorge Chimarro

forma cada gota es única, dotando al usuario una herramienta que permita la obtención de datos acordes a una práctica real. Con estos datos cada gota “sabe” en qué dirección tiene que moverse y a qué velocidad debe de hacerlo, de tal forma que replica el comportamiento real.

De los resultados expuestos el simulador recrea el experimento correctamente ya que el margen de error de los datos obtenidos es menor a 10%. El elevado costo del equipo experimental necesario para la ejecución del experimento puede constituir un obstáculo para su realización, en cambio este simulador puede alojarse en un servidor con un pequeño costo mensual que permitiría inclusive tener muchos más simuladores alojados en el mismo servidor.

La siguiente temática con la cual participó el personal del Centro de Física es “Prototipos educativos portátiles de bajo costo para la enseñanza de la Física” el cual es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar material experimental para la enseñanza de la ciencia que sea manipulable a través de un dispositivo móvil y que, facilite el aprendizaje del conocimiento teórico comprendido en las prácticas de laboratorio y que con el conocimiento tecnológico adquirido sea fácilmente replicable para el uso de otras instituciones educativas.

En concordancia con estos objetivos es necesario implementar prácticas de laboratorio cuyos métodos complementen de manera efectiva la parte conceptual, las prácticas deben cumplir un grado de idoneidad de tal forma que, acentúe el conocimiento teórico adquirido. Estas prácticas deben estar acompañadas de guías que sintetizen el problema existente, las hipótesis a plantearse, las variables identificadas, el diseño experimental utilizado y los resultados y conclusiones obtenidos; todo ello alineado al cumplimiento de los objetivos del aprendizaje.

La metodología en V utilizada es un proceso aceptado mundialmente desarrollada por la Sociedad de Ingenieros Alemanes (Gausemeier & Moehring, 2003). La cual adaptada al proyecto consta de las siguientes fases: definición de requerimientos de mediciones de variables dependiendo de la ley o principio físico que se intenta demostrar mediante experimentación, diseño electrónico y selección de sensores necesarios para los requerimientos previamente establecidos, diseño del mecanismo de partes y piezas que albergan los componentes electrónicos, diseño de software del microcontrolador que se encuentra dentro del prototipo y aplicación móvil, integración del sistema, pruebas y validación.

Los prototipos presentados son los siguientes: Caída libre, ley de Hooke y péndulo elástico, Ley de Gay Lussac. Estos prototipos cuentan con un conjunto de sensores necesarios para realizar distintas mediciones de variables que permitan realizar analizar distintos fenómenos físicos, además cada prototipo consta de una aplicación móvil que interactúa con el equipo para adquirir datos de la experimentación.

Los prototipos desarrollados tienen una reducción superior al 90 % del costo de un equipo de similares características. Además, estos prototipos cuentan con una visualización en tiempo real de las variables medidas en los experimentos. Su diseño es interactivo y atractivo para los estudiantes.

La tercera temática con la que se participó es “Estudio de la viabilidad de medir vértices acausalmente desplazados predichos por el modelo estándar de Lee-Wick utilizando datos del Gran Colisionador de Hadrones” una investigación por parte del MSc. Jonathan Sánchez.

El modelo estándar logra explicar con éxito parcial la naturaleza de las fuerzas que rigen el Universo. Sin embargo, existen incongruencias dentro de esta teoría que han llevado a los Físicos a desarrollar nuevos modelos que permitan corregirlas. Un ejemplo de esto es el problema de la jerarquía, que a breves rasgos se lo podría describir como la imposibilidad de encontrar un término de corrección que prediga las masas de las partículas observables. El enigma se suscita partir que predicción del modelo estándar para masa del bosón de Higgs podría ser o tan pequeña como 200 GeV o tan grande como 10^{16} GeV. Esta incongruencia, en específico, se origina por las divergencias encontradas al calcular la masa del bosón con el modelo teórico.

En su paper "Finite Theory of Quantum Electrodynamics", Lee y Wick proponen un modelo que corrige las divergencias que surgen en el cálculo de la masa del electrón. Esto se logra con la adición de una partícula similar al fotón con la diferencia que su masa es diferente de 0. Así mismo, se agrega una partícula similar al electrón, conocida como electrón de Lee-Wick, cuya masa es mucho mayor a la del original (Lee & Wick, 1970). En esta misma línea Grinstein et al. extendieron con éxito estas correcciones a otras fuerzas del modelo estándar, corrigiendo así el problema de la jerarquía (2008).

Aparte de resolver el problema de la jerarquía, el modelo también podría implicar otras correcciones observacionales. Uno de ellos es el cambio en la propagación que experimenta una partícula antes de decaer. Estas correcciones, sin embargo, tienen una escala tan pequeña y una ocurrencia tan improbable que hasta el día de hoy los físicos no han intentado medirlas.

Alvarez en su paper "Vertex displacements for acausal particles: testing the Lee-Wick standard model at the LHC". Enuncian la posibilidad de medir el desplazamiento

conocido como acausal de estas partículas. Esto se debe a que, en un decaimiento normal, el momento total de las partículas se alinea paralelamente con el desplazamiento de la partícula madre que las origina. Mientras que el modelo de Lee-Wick permite que el momento y la dirección de propagación de la partícula madre se alinee antiparalelamente (Alvarez et al., 2009). Algo similar a que la partícula de Lee Wick se hubiese desplazado hacia atrás en el tiempo antes de decaer. Esto implica que, si las partículas del modelo son reales, con la resolución espacial y energética suficientes, podríamos identificar este desplazamiento inusual.

En este proyecto con ayuda de simulaciones Montecarlo y cálculos numéricos del modelo, se logró identificar con una exactitud aproximada del 70 % estos desplazamientos dentro de los datos simulados. Esto se lo logro gracias al estudio de la cantidad que hemos definido como paralelidad (κ) y otras discriminantes geométricas del modelo (Sánchez Jácome & Carrera, 2022) (Jácome, 2023). El fenómeno específico que se estudió es el decaimiento de un bosón Z a dos electrones de Lee-Wick. Por esto mismo, el porcentaje de identificación se podría mejorar si se implementan mejores técnicas de reconstrucción de "jets", que es el rastro que deja el decaimiento de electrones de Lee-Wick a quarks.

Se contrastó el método, aplicando la misma reconstrucción de datos de decaimientos similares provenientes del modelo estándar y a datos experimentales de la corrida 1 del LHC. Con ello se determinó que el análisis discrimina muy bien los decaimientos de Lee-Wick de otros similares. Por otro lado, este análisis también confirmó que debido a la baja sección eficaz del modelo (5.97fb) (Sánchez Jácome & others, 2022) es poco factible identificar estos fenómenos en los datos actuales. Sin embargo, si se expande este análisis a otras partículas

de la teoría de Lee-Wick y se analizan más datos experimentales, se incrementa sustancialmente la posibilidad de identificar los decaimientos acausales.

NOMENCLATURA

- **GeV: Giga-electrón-voltio.**

Hace referencia a 1 000 000 000 de electrón-voltios. Que es la energía que posee un electrón sometido a un potencial de 1 voltio. Se usa también para hablar de masa de partículas por la equivalencia entre energía y masa predicha por Einstein. Como referencia un kilogramo en masa equivale a $5.6E+35$ electrón voltios.

- **fb: femto-bar.**

Hace referencia a la unidad utilizada para medir secciones eficaces comúnmente utilizado en física de partículas. Hace referencia a la probabilidad de ocurra el evento estudiado después de la colisión de dos partículas. Así mismo, el número de colisiones de protones que ocurren en el experimento LHC se mide en femto-bar inversos (fb⁻¹) a esta cantidad se le conoce como luminosidad integrada. En esencia, el producto entre sección eficaz y luminosidad integrada nos da el número de eventos esperados. Como referencia la luminosidad de los datos estudiados es de 11.4fb⁻¹, esto significa que se esperaría poder observar en total unos 68 eventos. Esto es un valor muy pequeño si se lo compara con las 600 millones de colisiones que ocurren por segundo en el experimento.

REFERENCIAS:

Alvarez, E., Da Rold, L., Schat, C., & Szyrkman, A. (2009). Vertex displacements for acausal particles: Testing the Lee-Wick standard model at the LHC. *Journal of High Energy Physics*, 2009(10), 023.

Gausemeier, J., & Moehring, S. (2003). New guideline vdi 2206-a flexible procedure model for the design of mechatronic systems. DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm.

Grinstein, B., O'Connell, D., & Wise, M. B. (2008). The Lee-Wick standard model. *Phys. Rev. D*, 77(2), 025012. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.77.025012>

Jácome, J. J. S. (2023). Demonstrating the feasibility of testing microscopic acausality at the LHC with CMS open data. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 15(1).

Lee, T. D., & Wick, G. C. (1970). Finite Theory of Quantum Electrodynamics. *Phys. Rev. D*, 2(6), 1033-1048. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.2.1033>

Sánchez Jácome, J. J. & others. (2022). Testing the feasibility to measure wrong displaced vertices from Lee-Wick particle decays with CMS experiment open data [Master's Thesis]. Quito.

Unity, T. (2024). Unity - Manual: Prefabs. <https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>