

LA ENSEÑANZA DE LA



Y EL MODELO



César Eduardo Mora Ley  
Carmen del Pilar Suárez Rodríguez  
Julián Félix Valdez  
(coordinadores)



# La enseñanza de la física y el modelo STEM

CÉSAR EDUARDO MORA LEY  
CARMEN DEL PILAR SUÁREZ RODRÍGUEZ  
JULIÁN FÉLIX VALDEZ  
(COORDINADORES)



**Ediciones Comunicación Científica** se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



[www.comunicacion-cientifica.com](http://www.comunicacion-cientifica.com)

[DOI.ORG/10.52501/cc.037](https://doi.org/10.52501/cc.037)



# La enseñanza de la física y el modelo STEM

CÉSAR EDUARDO MORA LEY  
CARMEN DEL PILAR SUÁREZ RODRÍGUEZ  
JULIÁN FÉLIX VALDEZ  
(COORDINADORES)



**COMUNICACIÓN  
CIENTÍFICA**

---

La enseñanza de la física y el modelo STEM / César Eduardo Mora Ley, Carmen del Pilar Suárez Rodríguez, Julián Félix Valdez (coordinadores). — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2023.

326 páginas : ilustraciones. — (Ciencia e investigación).

ISBN 978-607-99636-2-0

DOI 10.52501/cc.037

1. Física — Estudio y enseñanza. 2. Educación — Investigación. 3. Rayos cósmicos I. Mora Ley, César Eduardo, coordinador. II. Suárez Rodríguez, Carmen del Pilar, coordinadora. III. Félix Valdez, Julián, coordinador. IV. Serie.

LC: QC30

Dewey: 530.071

---

La titularidad de los derechos patrimoniales de esta obra pertenece a los autores D.R. César Eduardo Mora Ley, Carmen del Pilar Suárez Rodríguez, Julián Félix Valdez (coordinadores), 2023. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2023

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica S.A. de C.V., 2023

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel. (52) 55 5696-6541 • móvil: (52) 55 4516 2170

[info@comunicacion-cientifica.com](mailto:info@comunicacion-cientifica.com) • [www.comunicacion-cientifica.com](http://www.comunicacion-cientifica.com)

 [comunicacioncientificapublicaciones](#)  [@ComunidadCient2](#)

ISBN 978-607-99636-2-0

DOI 10.52501/cc.037



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.  
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,  
en <https://doi.org/10.52501/cc.037>

# Índice

Agradecimientos. . . . .	11
Introducción . . . . .	14

## Primera Parte

### INVESTIGACIÓN EDUCATIVA EN FÍSICA

1. STEM y su impacto social, <i>Carmen del Pilar Suárez Rodríguez</i> . . . . .	19
2. Importancia de la metodología STEAM para fomentar vocaciones científicas, <i>Magdalena Waleska Aldana Segura, Julián Félix Valdez</i> . . . . .	29
3. Física STEAM en bachillerato, <i>Ramón Fernando Estrada Soto, César Eduardo Mora Ley</i> . . . . .	37
4. Uso de simuladores para enriquecer el aprendizaje funcional en los cursos de física de preparatoria, <i>Alba Margarita Picos Lee, César Eduardo Mora Ley</i> . . . . .	47
5. Análisis del efecto de la aplicación del aprendizaje basado en proyectos y del modelo STEAM en la elaboración de proyectos de aula mediante el principio de Pascal, <i>Eduardo Francisco Baidal Bustamante, César Eduardo Mora Ley, Manuel Sebastián Álvarez Alvarado</i> . . . . .	65

- 
6. Diseñar medición de la gran diagonal de un prisma: Fomento a la creatividad en la educación, *Josip Slisko, Adrián Corona Cruz* . . . . . 79
  7. Promoción de STEM a través de la física del sonido y las matemáticas de la música, *Marcelo Caplan*. . . . . 93
  8. Enfoque STEM para un modelo cinemático de la traslación del huracán Pamela,  
*Alejandro González y Hernández José Roberto Ángeles Camacho* . . 111
  9. Actividad experimental para el estudio de los conceptos básicos de los telescopios refractores, *Juan Carlos Ruiz Mendoza, César Eduardo Mora Ley* . . . . . 133
  10. Metodologías de aprendizaje para enseñar el momento de torsión resultante, *Rubén Sánchez Sánchez, Elvia Rosa Ruiz Ledezma, César Eduardo Mora Ley, Carla Kerlegand Bañales* . . . 145
  11. Estrés en profesores de física al impartir clases en línea por la pandemia de COVID-19, *Flavio Romo, César Eduardo Mora Ley* . 161
  12. Laboratorios remotos: Nuevas perspectivas para su uso en la educación científica, *Ignacio Idoyaga, Nahuel Moya, Gabriel Medina, Eric Montero Miranda, Fiorella Lizano Sánchez, Carlos Arguedas Matarrita* . . . . . 177
  13. Filosofía para niños y modelo STEAM, *Domingo Villamil Hernández, César Eduardo Mora Ley* . . . . . 191
  14. Enseñanza de la física en educación primaria a través de la filosofía para niños, *Juan José del Carmen Cervantes, César Eduardo Mora Ley* . . . . . 207

## Segunda Parte

## DETECCIÓN DE RAYOS CÓSMICOS

15. Las técnicas de detección y estudio de rayos cósmicos,  
*Julián Félix Valdez* . . . . . 221
16. Planeación, diseño, construcción y desarrollo de un sistema experimental para caracterizar fotomultiplicadores tipo EMI 9954B, *Carlos Andrés Cervantes Vera, Luis Jorge Arceo Miquel, Julián Félix Valdez* . . . . . 243
17. Planeación, diseño y construcción de una minicámara multialámbrica de 5 cm × 5 cm,  
*Juan Becerra Zamudio, Julián Félix Valdez* . . . . . 253
18. Diseño y construcción de una cámara multialámbrica compacta para uso académico, médico e industrial,  
*Emmanuel Juda Rodríguez Nachez, Julián Félix Valdez* . . . . . 267
19. El método de coincidencias aplicado en un detector de rayos cósmicos de 32 canales, *Luis Jorge Arceo Miquel, Julián Félix Valdez* . . . . . 283
20. Minidetectors de rayos cósmicos a base de plásticos centelladores, *Omar Alejandro Lezama Gallegos, Julián Félix Valdez* . . . . . 301
21. Planeación, diseño y construcción de una pequeña cámara multialámbrica para docencia e investigación,  
*Juan Becerra Zamudio, Julián Félix Valdez*. . . . . 315



## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por la RIED-OEA mediante el fondo semilla para la realización del proyecto “Formación y actualización de profesores de Física en STEM”. Asimismo, agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo otorgado mediante el proyecto SIP20211347: “Formación de investigadores en educación STEAM para el nivel medio superior”.



## Introducción

La física educativa no fue fácilmente reconocida por la comunidad de físicos como una disciplina científica; afortunadamente, después de algunos años de proponer la creación de la División de Enseñanza en la Sociedad Mexicana de Física, esta fue aceptada para su creación a finales del 2020. Este hecho histórico toma relevancia ya que los profesores de física —que normalmente son egresados de una carrera de física— se preocupan cada vez más por mejorar la calidad del aprendizaje de sus estudiantes, utilizando metodologías que promueven los conocimientos disciplinares y al mismo tiempo desarrollan otras habilidades cognitivas, como el pensamiento crítico, así como habilidades sociales, como la toma de decisiones y el trabajo colaborativo, todas ellas indispensables para la vida en sociedad y el ejercicio profesional, donde eventualmente se integrarán los estudiantes.

En este marco, el aprendizaje activo de la física ha sido popular entre profesores e investigadores en el diseño de estrategias educativas y ha tenido excelentes resultados. Pero en el panorama actual de la educación mundial, desde finales de los años noventa se ha discutido en foros internacionales que, a pesar de ello, existe la necesidad de promover las vocaciones científicas debido a la disminución de estudiantes que desean estudiar carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (carreras STEM, por sus siglas en inglés), entre ellas la física.

Por otro lado, se viven tiempos con marcadas crisis sociales y ambientales que han conminado a los gobiernos a identificar problemas globales e invitado a los países a crear una agenda donde se busquen soluciones, co-

nocida como Objetivos de Desarrollo Sustentable de la UNESCO, de los cuales el Objetivo 4 corresponde a trabajar en mejorar la calidad de la educación y disminuir las brechas de desigualdad. En ese tenor, se espera que los sistemas educativos, los profesores y la investigación educativa no sólo atiendan a mejorar este indicador, sino que se formen profesionales y ciudadanos con las capacidades de contribuir a mejorar las condiciones de vida de los seres humanos y la naturaleza, más allá del sólo ejercicio de la profesión.

La educación basada en el enfoque STEM ha ido ganando terreno, ya que una de sus perspectivas radica precisamente en centrar la enseñanza en la solución de problemas reales de los contextos cercanos a los estudiantes. Desafortunadamente, este enfoque no ha sido utilizado ampliamente en el contexto latinoamericano, y menos aún para promover el aprendizaje de la física. Todavía no existe una teoría bien definida acerca del STEM y existen distintas preguntas al respecto, a saber: ¿cómo se puede llevar a cabo la instrucción en STEM si los modelos educativos están diseñados bajo el enfoque en competencias?, ¿qué cambios deberían realizarse en las prácticas docentes?, ¿qué características debería contener un programa de formación docente en STEM que realmente conduzca a una buena práctica?, y ¿cuáles serían las reglamentaciones y políticas para llevar a cabo esta transición del currículo?

Debido a la experiencia de investigación y a las líneas personales de generación del conocimiento de los coordinadores del presente libro, las cuales están relacionadas directamente con las STEM y la física, y con el resultado de las discusiones del equipo de proyecto de la Red Interamericana de Educación Docente (RIED) en el que participan, en la primera reunión anual de la División de Enseñanza de la Sociedad Mexicana de Física (DE-SMF) se decidió abrir un espacio de discusión para ir reconociendo los intereses de los investigadores en relación a la enseñanza de la física basada en STEM. La reunión fue realizada el 15 y 16 de diciembre de 2021. Cabe señalar que la DE-SMF fue organizada en diciembre de 2020 y comenzó sus actividades en enero de 2021.

Por otro lado, la RIED, dependiente de la Organización de Estados Americanos (OEA), en la fase IV se centra en promover en profesores de todos los niveles educativos de América, la educación STEM con un enfoque de equidad de género. Y para ello conforma equipos de expertos que propon-

gan iniciativas que ayuden a mejorar la calidad de la educación. Asimismo, ofrece financiamiento conocido como los “fondos semilla” para ejecutar un proyecto. Este libro fue concebido precisamente en este escenario de colaboración y recibió el financiamiento de la RIED bajo el proyecto “Formación y actualización de profesores de Física en STEM”. Con la intención de vincular estos escenarios, se propuso que el tema central de la reunión fuera la enseñanza de la física y el modelo STEM, de forma que se identifica a los investigadores que ya trabajaban en el área, así como sus líneas específicas de interés y materiales que hubieran desarrollado hasta el momento, con la intención de trabajar más adelante en un estado del arte de la educación STEM en Latinoamérica.

Durante la reunión anual se propuso a los asistentes la escritura de un libro donde se recuperaran las visiones y las experiencias de quienes ya trabajaban líneas de investigación en STEM. Posteriormente se abrió una convocatoria de participación y se contactó a la editorial, la cual realizó el arbitraje ciego para dar una mayor confiabilidad a las contribuciones enviadas. Una vez que los capítulos fueron aceptados, se procedió a notificar cambios a los autores, tras lo cual se conformaron las pruebas finales.

Aparte del registro académico que significa el libro, entre otras metas se buscó la elaboración de un directorio de profesores-investigadores en educación en física para con base en éste crear una red nacional de enseñanza de la física, además de crear un reservorio de acceso gratuito de materiales sobre la enseñanza de la física en todos los niveles educativos, de forma tal que podamos brindar diferentes recursos para los profesores de física desde la página web de la Sociedad Mexicana de Física. Al producir diversos materiales escritos en forma de libros, manuales, memorias, etc., se busca incentivar a los profesores de física a que escriban sus experiencias docentes, sus investigaciones y reflexiones sobre la enseñanza de la física.

La presente obra colectiva se ha dividido en dos partes. La primera trata sobre la investigación educativa en física, en donde se presentan diversos trabajos de investigación sobre el modelo STEM y STEAM, así como diversas innovaciones en la enseñanza elemental de la física, como el programa de filosofía para niños. Se presentan reflexiones generales sobre la educación STEM y las vocaciones científicas, cómo se definen, cómo se desarrollan y se cultivan en los estudiantes en la actualidad.

Los trabajos seleccionados muestran un recorrido desde el nivel preescolar hasta el nivel superior, en donde se muestran resultados de investigación interesantes y alentadores para impulsar el modelo STEM. Otra vertiente importante en la enseñanza de la física es el trabajo experimental, la cual también es abordada en diversos trabajos de este libro. Una realidad actual es la gran limitación que aqueja al laboratorio tradicional de física y las alternativas a esta problemática, la cual ha sido resarcida mediante simulaciones computacionales, diversos recursos multimedia y una propuesta reciente que es el laboratorio extendido. Éste consiste en un innovador enfoque para llevar el trabajo experimental en física, utilizando el internet, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), las simulaciones y la programación computacional, de forma que se puedan impulsar laboratorios remotos para realizar experimentos totalmente controlados desde cualquier lugar del planeta que tenga conexión a internet.

Si bien es verdad que la experimentación en física no puede ser sustituida por la simulación computacional, también es cierto que los laboratorios simulados ofrecen al estudiante la posibilidad de realizar experimentos límite que nunca sería posible realizar en forma real. La virtualidad, en ese sentido, tiene sus ventajas, así como sus desventajas.

La segunda parte del libro trata sobre la detección de rayos cósmicos mediante dispositivos diseñados y construidos por estudiantes del Laboratorio Internacional de Partículas Elementales de la Universidad de Guanajuato, los cuales significan una innovación tecnológica al utilizar diversos metales y plásticos. En los últimos años, este grupo de investigación ha realizado aportes significativos para la enseñanza experimental de la física en el campo de las partículas elementales. Sus contribuciones a la educación STEM pueden ser implementados desde el nivel medio superior hasta posgrado.

Se espera que este libro invite a otros investigadores y educadores a explorar este enfoque educativo, que se percibe como el modelo de instrucción de las próximas décadas.

CÉSAR EDUARDO MORA LEY  
CARMEN DEL PILAR SUAREZ RODRÍGUEZ  
JULIÁN FÉLIX VALDEZ  
Los coordinadores

**Primera Parte**  
**INVESTIGACIÓN EDUCATIVA EN FÍSICA**



# Capítulo 1. STEM y su impacto social

CARMEN DEL PILAR SUÁREZ RODRÍGUEZ<sup>1\*</sup>

## Resumen

La educación STEM cada vez está siendo más utilizada por los profesores para promover, entre sus estudiantes, el aprendizaje de las ciencias, pero a pesar de su crecimiento no existe un concepto estandarizado de éste, ni siquiera en los Estados Unidos donde tuvo su origen. En el presente capítulo, se discuten diferentes perspectivas de STEM, así como la nuestra, que se centra en un enfoque de enseñanza basado en la solución de problemas de un contexto cercano, con la intención de atender las necesidades no sólo académicas, sino aquellas que tienen influencia en la calidad de vida de las personas. Se considera un enfoque transdisciplinar, integrado y de beneficio social, al tiempo que se reflexiona acerca de las tareas pendientes en los contextos de países latinoamericanos y caribeños.

**Palabras clave:** *STEM, desarrollo local, solución de problemas locales, enseñanza de las ciencias, calidad de vida.*

---

<sup>1</sup> Coordinadora académica región Huasteca Sur, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Miembro de la Red Interamericana de Educación Docente, de la Organización de los Estados Americanos (OEA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4482-8355>

## Antecedentes

La humanidad enfrenta serios problemas globales palpables tanto por gobiernos como por ciudadanos y cuyas consecuencias afectan a un alto porcentaje de los seres humanos, además del entorno natural y social. Hoy en día, como un intento por realizar acciones para minimizarlos, se han puesto en las agendas de los países, a través de la Organización de las Naciones Unidas, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UNESCO, 2015). Si bien es cierto, estos problemas tienen orígenes y causalidades diversas, existe una relación indiscutible en algunos de ellos, como por ejemplo la pobreza (objetivo 1), el acceso a la comida (objetivo 2), a la educación de calidad (objetivo 4), así como las brechas de desigualdad (objetivo 10), entre otros. En este sentido, disminuir el desigual acceso y calidad de la educación es una prioridad, sobre todo porque se considera que las generaciones del conocimiento científico mejoran las condiciones de vida de los pobladores en situaciones adversas.

Pero estas iniciativas tienen sus fundamentos en aquella idea de que la complejidad del mundo moderno, inmerso en productos desarrollados por la ciencia y la tecnología, favorece de algún modo el desarrollo económico de los pueblos. Por tal motivo, el modelo lineal de desarrollo (Bush, 1945) propuso que “a mayor ciencia y tecnología, mayor riqueza y mayor bienestar social”, de tal manera que los gobiernos apostaron a mediados de los años veinte del siglo xx por el desarrollo científico. No obstante, se presentaron problemas de pobreza y de salud, así como ambientales y éticos, que obligaron a replantear la política científico-tecnológica de los países industrializados y su relación con la sociedad, lo cual tiene un fuerte impacto en todos los aspectos, desde los problemas en la gestión pública, el ejercicio de los recursos económicos e incluso en la enseñanza de las ciencias.

Se inició entonces en los Estados Unidos el movimiento de reforma curricular, con propuestas de cambio en la física, la química y la biología, y posteriormente se extendió a otras disciplinas hasta llegar a una reforma completa del sistema educativo (Fernández, 1979). Con dicha reforma entró en marcha el positivismo científico- técnico, pero posteriormente, a mediados de los años ochenta, se presentó una nueva crisis que obligó a replantearse esta tendencia y se buscó contribuir desde las ciencias a la formación

general de todos los ciudadanos (Porlan, 1998, Membiela, 2002). Estas necesidades de aplicación de la ciencia originaron en gran medida los estudios ciencia-tecnología-sociedad (CTS) (García Palacios *et al.*, 2001), los cuales, de acuerdo con la OEI:

buscan comprender la dimensión social de la ciencia y la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus antecedentes sociales como de sus consecuencias sociales y ambientales, es decir, tanto por lo que atañe a los factores de naturaleza social, política o económica que modulan el cambio científico-tecnológico, como por lo que concierne a las repercusiones éticas, ambientales o culturales de ese cambio.

Los estudios CTS se han desarrollado en tres grandes direcciones: la investigación, las políticas públicas y la educación. Con respecto a la educación, este enfoque planteado desde los gobiernos requiere que la ciudadanía cuente con una cultura científica apropiada, la cual le permita entender el mundo que le rodea y los elementos científicos presentes en su vida cotidiana. Igualmente, requiere que posean una formación muy cercana a la que tienen los científicos (García Palacios *et al.*, 2001), de manera que los estudiantes aprendan contenidos conceptuales y de procedimientos; resuelvan problemas, observen y deduzcan; hagan preguntas, predicciones e interpretaciones de su entorno; comparen y contrasten situaciones; clasifiquen, hagan explicaciones y generalizaciones (AAAS Project, 2010); desarrollen modelos, manipulen equipos y materiales durante la experimentación; además de comunicar sus resultados (Radford, 2011). Sin embargo, al mismo tiempo se pretende que adquieran actitudes y valores que favorezcan el trabajo colaborativo, el respeto a sí mismos, a otros y a la naturaleza, esto último de suma importancia para facilitar la toma de decisiones, así como para enfrentar y resolver problemas complejos que afectan a la humanidad moderna.

Por tales razones, a finales de los años noventa del siglo pasado, en los Estados Unidos se propuso incrementar el número de estudiantes de carreras en el área de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés), pero que, sobre todo, contaran con un alto nivel académico y fueran capaces de desarrollar tecnología de punta durante el ejercicio de su profesión, a fin de que pudieran competir con estudiantes de otras regiones del mundo, especialmente del continente asiático, quienes en

las últimas décadas habían ganado terreno y se habían posicionado entre los mejores puntajes de las pruebas internacionales y como países en las mejores economías del mundo (Caprile *et al.*, 2015; Honey, Pearson y Schweingruber, 2014). Pero posteriormente se hizo una transformación del STEM como política pública, al STEM como enfoque de enseñanza, desde entonces se ha ido extendiendo poco a poco en los Estados Unidos y en otros países del mundo.

A partir de este momento, se ha ido construyendo una visión de STEM, pero aún existen dificultades durante el proceso de construcción de este enfoque (STEM Task Force Report, 2014). Una de ellas radica en cómo se debe realizar la integración de todas las disciplinas que lo conforman, si desde un enfoque multi, inter o transdisciplinario. Esto es importante porque determina la forma de instrucción, y hasta aspectos básicos del currículo (English, 2016), por tal motivo surgen una serie de cuestionamientos: ¿se debe enseñar por separado cada disciplina de STEM? ¿Se podría tener una clase donde se atienda un problema en particular y se identifiquen los contenidos disciplinares a medida que se va resolviendo el problema? Si es así, ¿cómo hacer para que estos conocimientos y habilidades se desarrollen durante el proceso? ¿Qué tipo de problemas son susceptibles a promover habilidades cognitivas de orden superior, de colaboración y sociales, necesarias para el ejercicio de la profesión, pero también para enfrentar los problemas del día a día?

Dichos enfoques incluyen conceptos básicos y habilidades que se enseñan por separado en cada disciplina, pero que se encuentran dentro de un tema común, también introducen conceptos y habilidades estrechamente vinculados de dos o más disciplinas con el objetivo de profundizar la comprensión y las habilidades y fomentan la adopción de un enfoque transdisciplinario, donde los conocimientos y habilidades de dos o más disciplinas se aplican a problemas y proyectos del mundo real, con el objetivo de dar forma a la experiencia de aprendizaje total. Asimismo, con estos enfoques se plantean situaciones como los tipos de ejemplos y problemas a desarrollar en el aula, y cómo se vinculan los contenidos con las experiencias personales y del conocimiento popular de estudiantes y profesores.

## El escenario cotidiano y los escenarios STEM

A partir de la segunda mitad del siglo pasado y los inicios de este siglo, la dinámica educativa se ha ido transformando progresivamente de los modelos de escuela tradicional y tecnocrática, hasta la escuela crítica (Pansza González, 2007), que privilegia en algunos momentos la simple transmisión de conocimientos hasta su reflexión reconceptualista del sentido mismo del ser humano (Kemmis, 1993; Freire, 2006, entre otros).

Los cambios sociales, económicos, culturales y tecnológicos plantean nuevas exigencias a las sociedades y, por ende, los sistemas educativos deben responder a ellas, de manera que permitan que sus egresados desarrollen las competencias para enfrentar los retos que se les presenten. Desde una visión global, la educación mexicana actual enfrenta problemas apremiantes en materia de legitimidad y seguridad social; certidumbre laboral y económica; compromiso ambiental y científico; rezago educativo; desigualdad social, entre otros (Torres y Tenti Fanfani, 2000). Estos problemas llevan al cuestionamiento y replanteamiento sobre la manera en que hemos estado haciendo educación y formando ciudadanos, pero también conducen hacia alternativas innovadoras para contribuir a la resolución de dichas preguntas. Con respecto a ello, Marchesi (2009) explica que uno de los retos que enfrentamos como sociedad iberoamericana es el número de centros educativos de alta calidad académica que hagan frente a las demandas de los alumnos y de la sociedad, y no sólo que ofrezcan un currículum que atraiga y mantenga a los alumnos en la escuela.

Lo anterior introduce el cuestionamiento sobre cómo, a través de un modelo de instrucción, se puede mediar el aprendizaje de contenidos científicos en los estudiantes, al tiempo que se modifica la concepción sobre la naturaleza de la ciencia y la disciplina, y se favorece la cultura científica en las primeras etapas de su estancia en la universidad. La educación superior requiere estudiantes universitarios convencidos de la utilidad de la ciencia y con una cultura científica que les permita ser un sujeto socialmente ubicado y con capacidad para responder los retos y el desarrollo económico de su sociedad, no obstante, también exige la sensibilidad de estos ante las necesidades de sus congéneres. La renovación en las prácticas de aprendizaje y enseñanza (Díaz Barriga, 1997; Gimeno Sacristán y Pérez Gómez,

2008) son una necesidad en la actualidad, pues es necesario rescatar los procesos que han funcionado para fusionarlos con nuevas formas de acceso a la información. Asimismo, se vuelve imperioso al manejo de dicha información y no sólo su acumulación.

El enfoque basado en competencias prevalece en los modelos educativos de Latinoamérica, pero desafortunadamente no se han visto avances sustanciales en el desempeño de los estudiantes ni en las condiciones académicas y laborales de los profesores (UNESCO, 2019). Tal es el motivo que invita a hacer un replanteamiento sobre el rumbo de la educación en América y, con base en ello, construir un sistema educativo regional competitivo a nivel mundial. Para tornar nuestra mirada al enfoque STEM, se requiere trabajar en los puntos siguientes:

- Formar acuerdos entre los gobiernos de los 34 Estados miembros de la Organización de los Estados Americanos, para construir una propuesta sobre la educación basada en STEM. Para ello será necesario construir una visión de STEM generalizada o con líneas más definidas, y acorde con el contexto de las Américas y el Caribe, donde se incluyan las voces de los investigadores, profesores, formadores de profesores, asociaciones profesionales, etc., y no sólo de los tomadores de decisiones educativos. Además se deben incluir a otros miembros de la sociedad, como los empresarios, políticos, emprendedores, padres de familia, etc., quienes, con su perspectiva, podrán reconocer las necesidades inmediatas y los posibles espacios de colaboración.
- Promover el conocimiento sobre STEM en los profesores. Este enfoque no ha sido ampliamente difundido y, de acuerdo con las experiencias de colaboración con profesores, hemos podido identificar que existen confusiones entre el enfoque basado en competencias y ciertas metodologías como el aprendizaje basado en proyectos y problemas (así como con el uso de materiales de bajo costo para la realización de actividades experimentales, que incluye el uso de tecnología al alcance de todos, como el celular). Si consideramos los efectos de la enseñanza en ambientes híbridos y presenciales, basados en la experiencia que nos ha dejado la pandemia de COVID-19, en el caso particular de la enseñanza de la física es relevante favore-

cer las habilidades de los profesores especialistas en la materia, para poder identificar situaciones problemáticas y su abordaje, ya que existe tradicionalmente una resistencia a cambiar las actividades que durante años hemos realizado en las aulas y, sobre todo, a asumir roles distintos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, se torna imperioso reconocer, desde los ministerios de educación, que el docente juega un rol importante en la vida de los estudiantes e influye en su comunidad, motivo por el cual se deben acercar oportunidades de desarrollo profesional que identifiquen al profesor como líder en diferentes esferas de su desempeño, desde el aula y la comunidad, hasta a la hora de crear de políticas públicas.

- Integrar en el currículum aspectos que favorezcan la implementación del enfoque STEM en todos los niveles educativos, puesto que, como se mencionó anteriormente en este capítulo, la definición que se considere de este enfoque definirá los espacios y el ambiente de aprendizaje, donde pasamos del aula como el lugar del aprendizaje, a convertir el mundo real en un laboratorio. La discusión de cómo deben ser las asignaturas, los roles de los profesores y los alumnos, así como su interacción con los materiales y recursos, plantean estas situaciones.
- Difundir resultados de la implementación de STEM en escenarios académicos diversos, tanto rurales como urbanos, es de suma importancia para identificar aquellas prácticas que puedan ser sistematizadas para favorecer el aprendizaje, si bien se deben considerar las diferencias entre los contextos y se debe respetar la cosmovisión de los estudiantes en cada región del planeta. Por tal razón, es necesario prestar atención especial a los problemas locales que se resolvieron para, a partir de ellos, ver cómo pueden utilizarse para su reproducibilidad en lugares con condiciones similares, o no, pero que podrían adecuarse a las características propias del centro de enseñanza.
- Diseñar programas de enseñanza en STEM que favorezcan la integración de grupos subrepresentados, especialmente mujeres. Este enfoque promueve no sólo la formación de profesionistas en carreras STEM, sino ciudadanos preocupados por mejorar el entorno, la situación de las mujeres, la exclusión que sufren etnias minoritarias

y pueblos ancestrales, así como las personas ciegas, sordas, con movilidad reducida, o las que presentan bajas tasas de ingresos y egresos de estas carreras, por lo que es importante favorecer esquemas de inclusión durante el aprendizaje.

- Construir escenarios de instrucción no formales, donde aquellos miembros de la sociedad que no tienen acceso a la educación formal puedan apropiarse de ese conocimiento y la visión de colaboración para atender a los problemas desde un frente común.
- Especialmente es importante reconocer los problemas del contexto, para que, desde su abordaje en las instituciones educativas, se desarrollen actividades de aprendizaje que propongan soluciones. También se debe tener un acercamiento con los diferentes actores sociales, a fin de promover el diálogo, las visiones, las posibilidades de colaboración y ayuda, para identificar los aspectos fundamentales de la problemática, los alcances, las limitantes y, en algunos casos, el reconocimiento de una situación determinada como un problema para ese grupo social en particular; todo lo cual requiere máxima atención, además de soluciones sobre el rumbo por el cual se deben llevar estas. Para ello, es importante identificar grupos clave dentro del contexto social: artesanos, emprendedores, profesores, padres de familia, administradores de la educación, servidores públicos, políticos, y conformar con cada grupo una *comunidad de aprendizaje*, donde los miembros de esta comunidad compartan sus experiencias y las situaciones que están enfrentando. Con ello se puede hacer una lista de problemas propios de la comunidad, luego discutir como académicos e investigadores esos problemas y regresar a la comunidad compartiendo posibles propuestas de atención. El objetivo es convertir estos desafíos en situaciones de aprendizaje, diseñar un ambiente propicio para el enfoque STEM y trabajar en la solución de estas problemáticas de la mano de los miembros de la comunidad.

Se espera que, con esta visión, la influencia del STEM no sólo será para mejorar la calidad de la educación, sino que se convierta en una oportunidad para mejorar las condiciones de vida de los territorios.

## Conclusiones

La educación STEM y su adopción en las Américas y el Caribe presenta retos que van desde el convencimiento a quienes toman las decisiones para su implantación, hasta la formación de docentes en STEM y el desarrollo de la infraestructura física y humana para la instrucción en escenarios presenciales, virtuales e híbridos. La propuesta de extender el ambiente de enseñanza a otros miembros de la comunidad parece ser una alternativa que acerca, a través de escenarios no formales, a quienes no hayan tenido oportunidad de asistir a la escuela. Esta vinculación con otros grupos sociales, llamados “comunidades de aprendizaje”, puede crear una alianza que resuelva problemas locales e invite al desarrollo en todos sus componentes: social, económico, ambiental. Durante los últimos cinco años nos hemos dedicado a la construcción de una propuesta de trabajo colaborativo entre diferentes comunidades de aprendizaje en el territorio conocido como la Huasteca potosina, ubicada en San Luis Potosí, México, y esperamos, en un corto plazo, presentar una propuesta para su reproducción en otros contextos.

## Referencias

- Aguilera Morales, D., Lupiáñez, J., Perales, F. y Vílchez-González, J. Ml. (2021). ¿Qué es la educación STEM? Definición basada en la revisión de la literatura. En *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales y 5 Escuelas de Doctorado* (pp. 1148-1456). Universidad de Córdoba.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (2011). *Science for All Americans*. TX: Project 2061. <https://www.aaas.org/programs/project-2061>
- Bush, V. (1945). *Science The Endless Frontier*. United States Government Printing Office. <http://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>
- Caprile, M., Palmén, R., Sanz, P. y Dente, G. (2015). *Encouraging STEM studies: Labour market situation and comparison of practices targeted at young people in different Member States*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/519030>
- Díaz Barriga, A. (1997). *Didáctica y currículum*. Paidós.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Fernández, U. E. (1979). *Estructura y didáctica de las ciencias*. MEC.
- Freire, P. (2006). *Pedagogía de la autonomía*. Siglo XXI.
- García Palacios, E. M., González Galbarte, J. C., López Cerezo, J. A., Luján, J. L., Gordillo,

- M. M., Osorio, C. Valdés, C. (2001). *Ciencia, Tecnología y sociedad: Una aproximación conceptual*. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI).
- Gimeno Sacristán, J. y Pérez Gómez, A. (2008) *Comprender y transformar la enseñanza*. Morata.
- Honey, M., Pearson, G. y Schweingruber, A. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. The National Academies.
- Kemmis, S. (1993) *El currículum: Más allá de la teoría de la reproducción*. Morata.
- Marchesi, A. (2009). Las Metas Educativas 2021: Un proyecto iberoamericano para transformar la educación en la década de los bicentenarios. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 4(12), 60-120. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-00132009000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-00132009000100007&lng=es&tlng=es)
- Membriela, P. (2002). *La Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva ciencia-tecnología-sociedad: formación científica para la ciudadanía*. Narce.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>
- Pansza González, M. (2007). *Fundamentación de la didáctica*. Gernika.
- Porlán Ariza, R., Rivero García, A. y Martín del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(13), 155-171. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21488>
- Radford, L. (2000). Sujeto, objeto, cultura y la formación del conocimiento. *Educación Matemática*, 1(12), 51-69. <http://funes.uniandes.edu.co/10212/1/Sujeto2000Radford.pdf>
- Rentería Salazar, P. (2006). El comienzo de la renovación. En M. A. Flórez Góngora (Ed.), *Renovación urbana, renovación humana* (pp. 80-100). Empresa de Renovación Urbana.
- STEM Task Force Report. (2014). *Innovate: A blueprint for science, technology, engineering, and mathematics in California public education*. Californians Dedicated to Education Foundation.
- Takahashi, K. y Thompson, D. (1999). Measuring air resistance in a computerized laboratory. *American Journal of Physics*, 67, 709. <https://doi.org/10.1119/1.19356>
- Torres, R. M. y Tenti Fanfani, E. (2000). *Políticas educativas y equidad en México: La experiencia de la educación comunitaria, la telesecundaria y los programas compensatorios*. UNESCO.
- UNESCO. (2015) *Objetivos de Desarrollo Sustentable*. UNESCO. <https://es.unesco.org/sdgs>

## Capítulo 2. Importancia de la metodología STEAM para fomentar vocaciones científicas

MAGDALENA WALESKA ALDANA SEGURA<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

### Resumen

En este capítulo se realiza una revisión de la evolución de las vocaciones científicas y su relación con la metodología STEAM. A lo largo de la historia, la vocación científica, que entendemos en el contexto weberiano de integridad de las ciencias, juega un papel central en el desarrollo científico-tecnológico y el avance de la sociedad. En ese sentido, es fundamental proveer a los jóvenes no sólo de contenido apropiado, sino de roles positivos a seguir. Se presenta un modelo de implementación STEAM, multinivel y de implementación regional, que ha alcanzado a más de 890 000 participantes con seminarios gratuitos en línea, 11 500 estudiantes en talleres interactivos y más de 7 000 maestros en servicio. Este modelo ha sido reconocido a nivel internacional con varios premios.

**Palabras clave:** STEAM, vocaciones científicas.

---

<sup>1</sup> Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Educación, Universidad Galileo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0937-2567>

<sup>2</sup> Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

## Generalidades

Durante más de 100 años, los modelos conductistas de aprendizaje se han basado en referencias muy antiguas. El referente de una escuela con bandera, campana y pizarrón, para que el conocimiento sea transmitido por una persona hacia un grupo pasivo, data de siglos atrás. Las referencias encontradas para los inicios de la educación pública bajo este modelo datan al menos de 1748 (Díaz-Barriga Arceo y Hernández Rojas, 1999).

Ahora, en pleno siglo XXI, se habla de innovación educativa y calidad de la educación, queremos transformar la acción educativa y cumplir los objetivos de desarrollo de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (The World Bank Group, 2019), pero utilizamos los mismos elementos que tradicionalmente se usan en los sistemas educativos conductistas. Ante una sociedad cambiante, dinámica y en constante evolución, resulta contradictorio utilizar estas metodologías, pues se trata de una época donde los jóvenes tienen en sus manos (a través de diversos dispositivos móviles) información actualizada, contextualizada y de forma inmediata. Lo que se ha denominado “infodemia” compite con los sistemas educativos para generar conocimiento y promover la adquisición de habilidades y destrezas en los estudiantes.

Durante los últimos 15 años, se ha realizado una investigación educativa para determinar los factores que inciden en el aprendizaje y la motivación para estudiar carreras en ciencias experimentales (Aldana Segura, 2006). Esto ha identificado varios factores para la apatía de los estudiantes, entre los que destacan la mala formación docente, la carencia de experiencias docentes significativas, la falta de motivación con experiencias lúdicas, las deficiencias en los laboratorios, así como la falta de acceso y razones socioeconómicas.

También se han analizado los roles a los que se exponen los jóvenes, a partir de los cuales perfilamos la sociedad que queremos. Es por ello que, diariamente y debido a la saturación de información, los jóvenes ven como roles a seguir los de personas que provienen de “economías emergentes” o estereotipos alejados de los roles necesarios para fomentar una sociedad justa, igualitaria, solidaria y capaz de enfrentar los retos del siglo XXI. Desde los medios de comunicación, redes sociales o los juegos disponibles, vemos que se enfatizan modelos violentos, alejados de la ciencia y la tecno-

logía, que no fomentan los valores de una sociedad que avanza con el desarrollo tecnológico de los tiempos. Por ejemplo, a través de las redes sociales se normalizan actitudes y se fomentan modelos donde se comparten fotografías posando, las cuales perpetúan actitudes de jóvenes mostrándose en actitudes provocativas, mientras invisibilizamos los logros académicos de mujeres y jóvenes por el afán de privilegiar el contenido “popular”.

Una metodología innovadora que utiliza los elementos y el programa STEAM (Segura y Caplan, 2018) fue desarrollada con base en los resultados de esta investigación, y fue apoyada por la Embajada de Estados Unidos en Guatemala a partir de 2017.

## **Sobre las vocaciones científicas y la ocupación laboral**

Actualmente entendemos las vocaciones científicas basándonos en el pensamiento de Max Weber, según el cual “es una actividad de reflexión sobre la naturaleza y la sociedad” (Tribe, 2012). Weber, como padre de la sociología, no hizo una separación abrupta entre las ciencias, sino que desdibujó elegantemente las fronteras que actualmente separan las ciencias y fomentó los abordajes transdisciplinarios, tanto como los contenidos transversales, con el fin último de promover un desarrollo de la sociedad.

De tal suerte, entre los hallazgos por los estudios realizados, la pregunta sobre por qué los jóvenes se interesan en carreras en STEAM presenta respuestas variadas, desde interés particular, desarrollo profesional, interés familiar o reconocimiento, hasta curiosidad. Sin embargo, aunque existen brechas de género que aún persisten en el siglo XXI, es un hecho conocido que a lo largo de las carreras científicas, las mujeres se desmotivan más rápidamente que los varones, aunque presentan mejores tasas de culminación (Keup, 2004). De los datos presentados en estudios de largo alcance, se puede destacar que existen factores detonantes del interés por carreras científicas, factores no vinculados necesariamente a la académica, pero a la actividad de la sociedad, entre ellos el programa espacial, el programa Apolo de la NASA y, en los últimos años, series y dramas de televisión que fomentan interés y actividad social (Henriksen, Dillon y Ryder, 2015).

En la situación laboral para el caso particular de Guatemala, el perfil estadístico elaborado por el Instituto Nacional de Estadísticas de Guatema-

la (2014) refleja las razones de por qué los jóvenes desertan de la escuela: destaca que las niñas lo hacen más por oficios domésticos y situación laboral que por desinterés. Sin embargo, los jóvenes desertan de la escuela con mayor frecuencia por razones económicas, donde deben ocupar puestos de trabajo, así como por desinterés. Estas brechas de género y etarias persisten y se incrementan debido a la desigualdad entre las zonas rurales y urbanas. Aunque ha crecido el índice de ruralidad, persisten estas situaciones y aún no se alcanza la primaria universal ni la alfabetización completa en el país.

Sin embargo, datos del mismo Instituto de Estadística obtenidos de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida, muestran que el ingreso promedio de mujeres en carreras científicas es alrededor de 10 veces el salario promedio de otras actividades, sólo rebasado por ocupaciones de gerentes y puestos de alta dirección. Entonces surgen las interrogantes, si los jóvenes pudieran tener mejores oportunidades con estas carreras, ¿por qué no optan por ellas? Las razones que indican son diversas, pero todas llegan al abordaje de las carreras, dificultades económicas, sociales, ambientes hostiles de aprendizaje, estereotipos caducos y maestros cuya formación no les permite asociar los contenidos con las situaciones cotidianas, por lo que caen en la repetición de libros, descontextualizados y muchas veces con versiones caducas al desarrollo de nuestros tiempos. Los ambientes hostiles de aprendizaje incluyen los elementos del entorno, tanto físicos como sociales, instalaciones inadecuadas y los mismos programas de formación desactualizados o erróneos se constituyen en barreras de aprendizaje (Díaz-Barriga y Hernández Rojas, 1999).

## **Un programa STEAM para fomentar vocaciones**

Derivado de estos hallazgos, se promueve un programa integral y multidimensional que aborde estos aspectos y permita a los jóvenes motivarse a seguir carreras en STEM con enfoques multidisciplinarios. Este programa nace como una estrategia binacional México-Guatemala. Por parte de México, el programa se coordina desde la Universidad de Guanajuato a través del Laboratorio Internacional de Partículas Elementales de la División de Ciencias e Ingenierías del Campus León a cargo del Dr. Julián Félix. En Guatemala el programa se implementa desde la Universidad de San Carlos

de Guatemala y la Universidad Galileo a través del programa STEAM a cargo de la Dra. Magdalena Waleska Aldana Segura.

Con la motivación de mantener a los jóvenes interesados en el programa, este se basa en diversas estrategias que no se presentan en el nivel escolarizado ni formal y hasta ahora ha presentado menos del 25% de deserción en modalidad virtual durante la pandemia 2020.<sup>3</sup> Para ello, se utilizan estrategias de educación extraescolar, actividades motivacionales y programas a lo largo del año, con la intencionalidad de fomentar el interés científico. Además, se busca que los participantes se acerquen a científicos de talla mundial, quienes se encuentran a cargo de los descubrimientos de ciencia de frontera para promover un apropiado abordaje científico (Félix y Aldana-Segura, 2021).

Por todo ello, J. Félix ha diseñado un programa exitoso de formación científica basado en principios científicos y un abordaje experimental apropiado. Los participantes adquieren competencias, habilidades, destreza y conocimiento basados en principios científicos. Más de 1 500 estudiantes han utilizado esta metodología y, a la fecha, exhiben mejores estadísticas educativas y laborales (Félix y Aldana Segura, 2021).

La serie de Seminarios Leon Lederman es parte fundamental del programa, pues permite que los participantes interactúen con expertos internacionales del más alto nivel. Estos seminarios han alcanzado a más de 890 000 personas en sus medios virtuales, en los cuales se han visto involucrados más de 21 instituciones y expertos que desinteresadamente han brindado su tiempo para compartir sus desarrollos con jóvenes de toda América Latina y el mundo.

El programa incluye talleres interactivos en escuelas piloto y conferencias de jóvenes denominadas STEAM Conference Guatemala. Dichas actividades han alcanzado a más de 11 500 participantes de todo el país. Asimismo, se ha llegado a más de 7 000 maestros en servicio con la finalidad de fortalecer el quehacer docente en todos los niveles educativos. El programa presenta datos de retención en carreras STEM y, en particular, retención escolar de los participantes arriba del 80%. Los jóvenes que participan del programa reorientan sus intereses hacia carreras científicas y presentan me-

<sup>3</sup> Datos preliminares del programa STEAM durante la pandemia del año 2020.

jores rendimientos al contar con mejores herramientas para su desarrollo profesional y personal.

La implementación ha sido galardonada por el 80 Faces of Exchange 2020 del Departamento de Estado de Estados Unidos, por el Reimagine Education Awards con el Silver Award de América Latina en 2018 y el Silver Award en educación híbrida en 2021.

## Conclusiones

Diversas barreras de aprendizaje impiden el desarrollo de jóvenes en carreras científicas y, con ello, retrasan el desarrollo de la región. Entre estas barreras hallamos las socioeconómicas, los estereotipos y la presión social, las cuales desmotivan a los jóvenes a continuar con vocaciones científicas.

Un programa multidimensional y transdisciplinario es capaz de motivar a los jóvenes a perseguir vocaciones científicas, pues los acerca a roles positivos que seguir. Un cambio en el enfoque de las actividades provee motivación para que los jóvenes participen inclusive en programas no escolarizados donde el interés y la motivación son fundamentales para continuar el proceso.

En el nivel superior, un abordaje basado en primeros principios permite desarrollar competencias adicionales que les servirán a los participantes a lo largo de su vida profesional y laboral. Este abordaje, con fundamentos científicos y centrando en el proceso de aprendizaje de los individuos genera una cultura de investigación científica.

## Referencias

- Aldana Segura, W. (2006). *Implementación de un abordaje holista de la Física en la Cátedra de Física de EFPEM*. Curso de Física I FM.
- Aldana Segura, W. y Caplan, M. (2019). *Experiencias STEAM en América Latina como metodologías innovadoras de educación*. I Simposio Gordon Institute. [https://www.academia.edu/39519601/Experiencias\\_STEAM\\_en\\_Am%C3%A9rica\\_Latina\\_como\\_metodolog%C3%ADas\\_innovadoras\\_de\\_educaci%C3%B3n](https://www.academia.edu/39519601/Experiencias_STEAM_en_Am%C3%A9rica_Latina_como_metodolog%C3%ADas_innovadoras_de_educaci%C3%B3n)
- Díaz-Barriga, F. y Hernández Rojas, G. (1999). Estrategias de enseñanza para la promoción de aprendizajes significativos. *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: Una interpretación constructivista* (pp. 1-27). McGraw-Hill.

- Félix, J. y Aldana Segura, M. (2021a). Using online seminars as an outreach strategy to promote science. *Bulletin of the American Physical Society*.
- Félix, J. y Aldana Segura, M. (2021b). Aprendizaje por primeros principios. *Virtual Educa Connect 2021*. <https://virtualeduca.org/congresosteam2022/>
- Instituto Nacional Estadístico de Guatemala. (2014). *Perfil Estadístico de Género*. Gobierno de Guatemala.
- Henriksen, E. K., Dillon, J. y Ryder, J. (2015) *Understanding Student Participation and Choice in Science and Technology Education*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7793-4>
- Keup, J. R. (2004). The Cooperative Institutional Research Program Freshman Survey and your first college year: Using longitudinal data to assess the first year of college. *Assessment Update*, 16(2), 8-10.
- The World Bank Group. (2019). *The 2030 Sustainable Development Agenda and the World Bank Group: Closing the SDG's financing gap*. 128. <http://pubdocs.worldbank.org/en/259801562965232326/2030Agenda-2019-final-web.pdf>
- Tribe, K. (2012). Max Weber: The works. *Economy and Society*, 41(2). <https://doi.org/10.1080/03085147.2011.628461>



# Capítulo 3. Física STEAM en bachillerato

RAMÓN FERNANDO ESTRADA SOTO<sup>1\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Este capítulo tiene por objetivo presentar la experiencia de los autores en la aplicación de la educación STEAM, la cual vienen realizando desde 2016 en cursos de física a nivel bachillerato tecnológico en México. Aquí se muestra un caso de la implementación de estrategias STEAM dentro de los cursos de física y se justifica la inclusión de las artes en el modelo. Asimismo, se dan a conocer los resultados en el aprovechamiento del contenido disciplinar y se sostiene que son efecto de la estrategia, así como los efectos en las diferentes áreas de la formación de los estudiantes. Finalmente, se discute la incorporación que en los planes educativos aportan dichas innovaciones STEAM para proporcionar a los estudiantes contenidos que desarrollen habilidades creativas y de trabajo colaborativo para la toma de decisiones y pensamiento crítico.

*Palabras clave: didáctica de la física, estrategia STEM, STEAM, epigenética.*

## Introducción

En este trabajo se hace hincapié a la integración de actividades artísticas en el estilo STEAM (Burnaford, 2007), en el aprendizaje de temas de la física, pues

---

<sup>1</sup> Estudiante asociado al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8433-6537>

<sup>2</sup> Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

los otros componentes del modelo Science-Technology-Engineering-Mathematics son más fáciles de integrar al aprendizaje de la física y es común encontrar en los textos actividades relacionadas con dichos componentes. Nuestro interés primordial es integrar el arte, debido a que se trata de un componente menos utilizado, y existe una tendencia de integración de las artes al marco de las disciplinas científicas (Cilleruelo y Zubiaga, 2014), lo que en nuestro caso promueve a aplicarlo al aprendizaje disciplinar de la física.

Por una parte, el estudio de la física requiere de un pensamiento formal, debido a lo cual el aprendizaje comúnmente va paralelo al desarrollo de ese tipo de pensamiento; por otra parte, el arte produce, en quien lo practica, cambios en sus procesos cognitivos (Brigati, 2012). Esto último se puede aprovechar, pues una nueva plasticidad cerebral provee nuevas redes neuronales que puede guiar al estudiante a cambiar sus modelos mentales hasta alcanzar más naturalmente los modelos científicos (Johnson-Laird, 2010). Tal cosa es posible debido a que, al expresarse mediante actividades artísticas las actividades dirigidas al aprendizaje de la física, se usan otros estadios cognitivos. La respuesta que se propone es que el estudiante tenga un aprendizaje en los contenidos disciplinares y que cambie su estructura cognitiva al usar una metodología cercana al arte (Demarin *et al.*, 2016). El trabajo partirá de la siguiente hipótesis: el bajo rendimiento de los estudiantes en el pensamiento crítico y en la resolución de problemas de cualquier nivel se debe a que no se les involucra en situaciones de la vida real. Más adelante se describen actividades centradas en el estudiante (implementadas cada año escolar desde 2016), desde la metodología STEAM, para el aprendizaje de las leyes de Newton de nivel medio superior. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en su implementación y desarrollo (Estrada y Mora, 2017).

## Desarrollo

Los objetivos en el abordaje de las leyes de Newton son:

- Diseñar y elaborar actividades STEAM para el aprendizaje del contenido disciplinar de la física, en particular las leyes de Newton.
- Aplicar actividades STEAM al aprendizaje de las leyes de Newton en nivel bachillerato.

- Comparar el aprovechamiento de la metodología STEAM frente a la expositiva con libro de texto, mediante el test FCI (*Force Concept Inventory*).

A partir de esto se reportan resultados consistentes que muestran dos vertientes:

- La primera se refiere a las bondades de la metodología STEAM para el aprovechamiento de la asignatura, medido con el FCI, observado en estudiantes de este nivel y con cualquier tipo de aprendizaje.
- La segunda apunta a que la integración de las artes en la didáctica de la ciencia física, vista como una tendencia multidisciplinaria actual, puede ser dimensionada a través de experiencias como la que aquí se reporta: un ambiente *artístico* permite que el estudiante genere nuevas concepciones y modelos mediante el cambio de sus procesos cognitivos, lo cual aprovechamos para su aprendizaje de la dinámica newtoniana.

En la tabla 1 se presenta el análisis de la investigación.

Tabla 1. *Análisis de la investigación para enseñanza de leyes de Newton con STEAM*

Orientación	Cuantitativa
<i>Concepción del mundo</i>	Se realizará un test de inicio y al final.
<i>Objetivo de la investigación</i>	Establecer qué relación existe en el aprendizaje de las leyes de Newton con el método. STEAM
<i>Procesos y métodos de investigación</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El problema son los modelos mentales que tiene un estudiante de las leyes de Newton.</li> <li>2. Se tienen evidencias de sus respuestas a problemas conceptuales.</li> <li>3. Se plantea usar el método STEAM en la elaboración de actividades de aprendizaje activo.</li> <li>4. Se recolectarán las evidencias de respuestas a problemas conceptuales que permitan conocer los cambios en sus modelos mentales.</li> <li>5. Se evalúa el método, sus bondades y deficiencias para plantear si es una estrategia que permite el aprendizaje significativo.</li> </ol>
<i>Estado prototípico</i>	Indagar con dibujos si puede distinguir la ley de la inercia. En caso positivo se plantea la actividad STEAM y se valora el aprendizaje.
<i>Papel del investigador</i>	Es un guía que no incide en el desarrollo y ejecución. Toma nota de posibles fallas metodológicas.
<i>Importancia del contexto</i>	La importancia es tener una estrategia para que los modelos mentales de física sean alcanzados con STEAM.

## Metodología

Se tomaron estudiantes de bachillerato tecnológico de tercer semestre (aún no toman curso de física en bachillerato tecnológico) y se dividieron en dos grupos. Para la comparación de las dos estrategias, después de terminar, se invirtieron los grupos para uniformarlos, debido a que tomarán los siguientes cursos de física (semestres 4, 4 y 6). En la tabla 2 se muestra la metodología empleada.

Tabla 2. Metodología empleada para impartir leyes de Newton con STEAM vs. libro de texto

Grupo	Pretest	Actividades 10 horas	Postest
Uno	FCI	Libro texto de bachillerato (DGETI). Mapa conceptual, preguntas, problemas seleccionados y una práctica de laboratorio	FCI
Dos	FCI	10 actividades STEAM	FCI

A partir del FCI se realiza una matriz para identificar el tipo de reactivos en cuanto al tema y tipo de mecánica, la finalidad es poder establecer las actividades STEAM. En la tabla 3 se muestra esta matriz y, a manera de ejemplo, se puede observar que la pregunta 14 del FCI está relacionada con la tercera ley de Newton.

Tabla 3. Matriz de preguntas del FCI (Force Concept Inventory) con el tema de Mecánica

Fuerzas		22	
Vectores			28
Ley III	14		
Ley II		24	
Ley I			26
Cinemática		21	
			Totales

Una vez terminada la tipificación del FCI se planean las actividades STEAM a realizar. En este primer acercamiento de los estudiantes a la física de bachillerato se plantean dichas actividades centradas en las artes y dedicadas al tipo de contenido del tema de mecánica correspondiente. En la Tabla 4 se muestra parte de la matriz de actividades STEAM con la correspondencia al tema de mecánica que implica la pregunta del FCI. Por ejemplo,

para la mencionada pregunta 14 se plantean dos subactividades, una en rubro de dibujo y otra en el de drama; es decir, que aunque todas sean STEAM se distinguirán por el uso del arte.

Tabla 4. *Matriz de actividades STEAM con temas de Mecánica*

Matriz temática de leyes de Newton y STEAM				
Fuerzas		Dibujo	Drama 22	Animación
Vectores		Dibujo	Drama	Circense Animación 28
Ley III		Dibujo 14	Drama 14	
Ley II			Drama 24	Circense 24
Ley I	Música 26		Drama 26	
Cinemática	Música	Dibujo 21	Drama	Animación
	Música	Dibujo	Drama	Circense Animación

Para las actividades STEAM se eligieron, dentro de las artes, a la música, el dibujo, el drama, lo circense y la animación. Con base en la experiencia y observación del docente, aquellas entre estas que permitan la *vivencia experiencial* de los reactivos del *Force Concept Inventory* otorgarán al estudiante la capacidad de *aprender haciendo*, como una estrategia distinta a la expositiva del libro de texto y ejecución cerrada de práctica y ejercicios.

Mediante la música, por ejemplo, en la actividad de la pregunta 26, el estudiante podrá “escuchar” la inercia: a un vaso de vidrio le vacía agua en su interior, para después golpear el borde superior con una cuchara. Es una actividad libre en la que podrá usar distintos vasos, niveles de agua, diferentes cucharas y varias formas de golpear el vaso. Apreciará que el sonido depende tanto del recipiente como de la columna de aire determinada por la cantidad de agua contenida, porque el golpe se transmite del vaso al interior y el tono de la vibración depende de la masa de aire contenida en la columna.

Con el dibujo, por ejemplo, se responde la pregunta 14. El estudiante dibujará distintas situaciones de un *surfer* sobre su tabla y sobre una ola. Es una actividad dirigida a identificar si logra reconocer las principales fuerzas que actúan sobre un objeto en movimiento. Una relatoría secuencial de sus dibujos hará que sea consciente del tipo de fuerzas involucradas, ya que con trabajo colaborativo podrá identificar las principales. Esto también le permitirá, en posteriores cursos de física, recurrir al dibujo para visualizar un problema dado y reconocer las fuerzas en un *diagrama de cuerpo libre*.

Por otro lado, a través del arte dramático se realizan *juegos de rol*, en los que se le plantea a un estudiante colocarse sobre una silla con ruedas (tipo oficina) y representar qué sucede si otro es quien la jala (y también después la empuja), pero sentado sobre otra silla con ruedas similar. Es notable que los estudiantes que observan de pie, notan que el resultado del movimiento es independiente de quién de los dos realiza el empuje y se les plantea que hagan la actividad con diferentes estudiantes sentados en las sillas o incluso tengan a más de uno sentado sobre ella mientras los demás estudiantes mencionan las diferencias en los movimientos. Forma parte de la actividad para las preguntas 14, 22, 24, 26.

Asimismo, mediante las artes circenses, se realizan *juegos de rol*, donde se les pide a los estudiantes que usen pelotas suaves tipo “antiestrés” (son confortables) para que controlen desde las situaciones más simples como lanzarla directamente hacia arriba y que caiga sobre la mano de lanzamiento pegada al cuerpo, es decir, que una vez lanzada la pelota la mano no debe moverse en busca de la misma cuando caiga; hasta repetir el acto de lanzamiento sentados en una silla con ruedas de tipo oficina, en distintas situaciones, mientras son empujados o jalados —tanto momentánea como constantemente— para observar dónde cae la pelota. Esta actividad puede ser utilizada, por ejemplo, para la pregunta 24.

Finalmente, con el arte de la animación se plantean dos tipos de actividades. La primera es la de productor, en la cual el estudiante genera pictogramas hechos a mano, con *blocks* tipo *post-it*, en donde realice animación a movimientos *cuadro por cuadro*, lo cual debe llevarlo a comprender, después del trabajo colaborativo, que para el movimiento con velocidad constante y el acelerado la separación de sus imágenes son distintas, tal es el caso para un objeto que se “separa más” de su posición del anterior cuando hay aceleración o se “junta más” para cuando frena o desacelera. La segunda actividad es en tanto espectador, donde el estudiante hará capturas de pantalla en su celular de videojuegos seleccionados y podrá apreciar el tipo de movimiento que relata la historia. A pesar de que algunos estudiantes son usuarios de videojuegos no tienen por ello claro que en ocasiones están bien realizados en el sentido que describen situaciones físicas reales.

## Resultados

Es común que para los cursos de física se considere un nivel mínimo de conocimientos y de comprensión de la mecánica, situado en el 60% de respuestas correctas del FCI (18 respuestas correctas de 30 preguntas). Sin embargo, en este trabajo se toma el 50% y, adicionalmente, se distinguen, cuando sea el caso, graduaciones de la respuesta dada en los comentarios. La razón es que en muchas ocasiones la dificultad residía en el vocabulario mismo como *problema de lenguaje*, más que en el contenido, y al permitir expresar en sus términos hace que se validen graduaciones en las respuestas.

Aquí observamos que ambos grupos son muy heterogéneos (estilos de aprendizaje, etc.) y en general así mismo tendrían que ser los resultados finales. Por este motivo se realizan dos pruebas, una antes (preliminar o *pretest*) y otra después (final o *postest*) de que el estudiante afronte el tema con la estrategia elegida. De tal manera, se reportan sus logros como un valor de  $g$  de Hake (número denominado *ganancia normalizada*) y que es la razón del aumento entre ambas pruebas respecto del máximo aumento posible. La ganancia normalizada (factor Hake) permite evaluar el progreso individual de cada estudiante, lo cual es inmejorable para tomar en cuenta sus aprendizajes previos. Puede plantearse, a partir de dicha información, complementos y estrategias para que el estudiante vaya en busca de niveles más altos y siempre se le reconozcan sus logros. Hake considera tres rangos de *ganancia normalizada*:

- $g$  alto:  $0.7 < g < 1.0$
- $g$  medio:  $0.3 < g < 0.7$
- $g$  bajo:  $0.0 < g < 0.3$

Se desprenden tres resultados medibles que están contenidos en la tabla 5.

1. Para el grupo uno (libro de texto con práctica y ejercicios), nunca fueron observados factores  $g$  iguales o mayores a 0,3 y, de hecho, es lo esperado para un curso de ese tipo

2. Para el grupo dos, se observan calificaciones mayores en su primer test comparadas con el segundo test del grupo uno. Es decir, de entrada, las actividades STEAM sitúan en una posición muy cómoda al estudiante y con logros del 50% o más.
3. En estudiantes del grupo dos que fueron medidos con factor  $g$ , reflejaron siempre mayor que 0,3.

Tabla 5. Comparación de factores Hake ( $g$ ) para ambos grupos

Grupo	% Pregrupual		Actividades 10 horas. Todos los estudiantes cumplen con al menos 60% de cada actividad.	% Postgrupual		$g$ (Hake) individual
Uno	10%	16	Libro de texto.	10%	10	$g < 0.3$
	30%	4	Mapa conceptual, preguntas y problemas seleccionados, práctica de laboratorio.	30%	10	
	50%	0		50%	3	
Dos	10%	15	10 actividades STEAM: música, dibujo, drama, circense, animación.	10%	3	$g > 0.3$
	30%	5		30%	9	
	50%	0		50%	8	

## Conclusiones

Aunque no puede demostrarse que las bondades de la integración de la física y STEAM, por sus actividades basadas en el arte, sean la única causa de la mejora del aprovechamiento observado en los estudiantes, si permite reconocer rasgos esperados en los resultados que muestran ante el test FCI sin haber “estudiado” un texto de física previo en un curso de bachillerato.

Se ha reportado en publicaciones recientes, la observación sobre cómo las facultades cognitivas cambian con la práctica artística, por lo que con base en los resultados se puede sugerir que los actuales modelos educativos (al menos en física) deberían considerar la tendencia multidisciplinaria y, en específico, la integración de las artes en todas las disciplinas científicas. Por tal razón, y a partir de los resultados aquí mostrados, se plantean los cursos de bachillerato pero ahora con la integración de disciplinas que poseen la metodología STEAM. Esto es, que en adelante y una vez uniformados los grupos, todos reciban la misma formación de física STEAM. Una propuesta de los estudiantes es tener disponible un repositorio de actividades hechas por generaciones anteriores.

Dado nuestro problema inicial, el curso ayuda a dar la respuesta en cuanto a que el estudiante tenga un aprendizaje de la física en contexto, el cual luego se transforme en una competencia habitual para los cursos de física en nivel medio superior que, en el caso del bachillerato tecnológico, son al menos dos y máximo tres dependiendo de la especialidad que cursen. Estas actividades y estrategias de la física STEAM representan una propuesta en la que el estudiante tiene aprendizaje en los contenidos disciplinares mediante el cambio de su estructura cognitiva al usar una metodología cercana al arte. Los resultados han sido consistentes desde su implementación inicial en 2016 e incluso en confinamiento (2020-2022) se pudo realizar la mayor parte de las actividades vía remota con una adecuación simple de las instrucciones, no obstante que en otras actividades se recurrió al uso de simuladores virtuales no expuestos en este trabajo.

No es nuestra intención apresurar, a partir de un caso particular, una conclusión general, pero sí es posible dimensionar los resultados observados si se repite la experiencia que aquí se muestra, si se controlan cada vez más variables hasta tener aislada la observación de la facultad cognitiva y el modelo mental, así como en qué momento son cambiados, una o lo otro, a través de la experiencia del arte enfocada en la física.

## Referencias

- Brigati, C., Saccuman, M. C., Banelli, B., Di Vinci, A., Casciano, I., Borzi, L. Forlani, A., Allemanni, G. y Romani, M. (2012). Toward an epigenetic view of our musical mind. *Frontiers in Genetics*, 2, 111. <https://doi.org/10.3389/fgene.2011.00111>
- Burnaford, G., Brown, S., Doherty, J. y McLaughlin, H. J. (2007). *Arts integration, frameworks research and practice: A literature review*. Arts Education Partnership.
- Cilleruelo, L. y Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la Educación STEAM: Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. *Jornadas de Psicodidáctica*, 1-18. <https://www.augustozubiaga.com/web/wp-content/uploads/2014/11/STEM-TO-STEAM.pdf>
- Demarin, B., Roje Bedeković, M., Bosnar Purić, M. y Bošnjak Pašić, M. (2016). Arts, brain and cognition. *Psychiatria Danubina*, 28(4), 343-348. [https://www.psychiatria-danubina.com/UserDocsImages/pdf/dnb\\_vol28\\_no4/dnb\\_vol28\\_no4\\_343.pdf](https://www.psychiatria-danubina.com/UserDocsImages/pdf/dnb_vol28_no4/dnb_vol28_no4_343.pdf)
- Estrada, R. y Mora, C. (2017a). *Aprendizaje de las leyes de Newton en Bachillerato usando STEAM*. Congreso AAPT MX, SLP.

- Estrada, R. y Mora, C. (2017b). *Evaluación de la metodología STEAM en el aprendizaje de las leyes de Newton en nivel medio superior*. Congreso TINTEF, Puebla.
- Estrada, R. y Mora, C. (2017c). *Actividades de metodología STEAM para el aprendizaje de las leyes de Newton en nivel medio superior*. Congreso LASERA, México.
- Felder, R. y Brent, R. (2009). Active Learning: An introduction. *ASQ Higher Education Brief*, 2(4). [https://www.engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1XaOo9WCKc-Mq6-fTcQGidOT2SDGqg70I5/2009-ALpaper\(ASQ\).pdf](https://www.engr.ncsu.edu/wp-content/uploads/drive/1XaOo9WCKc-Mq6-fTcQGidOT2SDGqg70I5/2009-ALpaper(ASQ).pdf)
- Halloun, I. A. y Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 106-115. <https://doi.org/10.1119/1.14031>
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-151. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge University.
- Johnson-Laird, P. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18243-18250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>
- Mora, C. y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre el concepto de ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 30(1), 72-86. [http://www.lajpe.org/jan09/13\\_Cesar\\_Mora.pdf](http://www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf)
- NFS. (15 de septiembre de 2012). *National Foundation of Science*. Recuperado el 31 de octubre de 2021 de [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1224020](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1224020)

# Capítulo 4. Uso de simuladores para enriquecer el aprendizaje funcional en los cursos de física de preparatoria

ALBA MARGARITA PICOS LEE<sup>1\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Este capítulo tiene por objetivo presentar un estudio de caso sobre el impacto que tiene, en el aprendizaje, el uso de simuladores interactivos (PhET) sobre tres diferentes fenómenos físicos (presión, flujo de un fluido y ley de Hooke), a fin de dar a conocer una alternativa que favorezca la comprensión de los estudiantes de preparatoria en relación con la representación funcional de las variables críticas que explican el comportamiento de los fenómenos naturales.

***Palabras clave:** enseñanza mediada por simuladores, modelización en la enseñanza de la física, perspectiva estratégica en el aprendizaje de la física, recursos semióticos para el aprendizaje de la física.*

## Introducción

Una de las dificultades que enfrentan los alumnos para desarrollar un entendimiento funcional de los conceptos básicos de la física es su incapacidad para representar correctamente los objetos físicos para su posible entendimiento significativo. En esta disciplina, las representaciones más utilizadas

---

<sup>1</sup> Coordinadora de ciencias para la preparatoria del Colegio Félix de Jesús Rougier (Campus Tampico). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8744-7862>

<sup>2</sup> Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

son la analítica y la verbal. Sin embargo, tanto la representación numérica (tabular) como la gráfica han mostrado su eficacia para promover una mejoría en el aprendizaje de los conceptos físico-matemáticos. Existe evidencia que avala la versatilidad del conocimiento físico-matemático cuando se enriquece mediante el uso de distintas representaciones de los objetos de estudio, al fomentar el desarrollo de nuevas ideas que propician la madurez cognitiva de los núcleos conceptuales.

Los principios físicos, expresados en lenguaje matemático, permiten un acercamiento poderoso e intuitivo al estudio de la física. A través de la comprensión de la relación entre la naturaleza de los fenómenos y su expresión simbólica, los estudiantes pueden comprender la naturaleza predictiva de dichos modelos y los límites bajo los cuales ocurren, por lo que es de gran interés educativo que los profesores de ciencias capitalicen el enorme potencial de las aplicaciones semióticas (Mora, 2019).

Sin embargo, la realidad actual en la didáctica escolar a nivel preparatoria es primordialmente la cátedra magistral, la fragmentación y la descontextualización conceptual; la mecanización de ejercicios y el aprendizaje memorístico de “fórmulas”. Ante la emergencia de recursos digitales, también es frecuente encontrar materiales cuyo enfoque es meramente instrumental, lo cual desvincula al estudiante de la posibilidad de analizar el fenómeno y sin proporcionar una base conceptual que lo conecte con las formas y métodos como se genera la ciencia.

Por tal motivo, en este capítulo se comparten los resultados de un estudio de casos sobre el impacto que tiene, en el aprendizaje de dos equipos de estudiantes de un curso inicial de física de preparatoria, la representación numérica y gráfica de los siguientes fenómenos físicos: presión de un fluido, flujo de fluidos y ley de Hooke. Para ello se utilizaron simuladores interactivos (PhET), a fin de que los estudiantes investigaran el comportamiento de las variables críticas de diferentes fenómenos y desarrollaran, de manera sencilla, los modelos explicativos de estos.

## **Modelación y aprendizaje de la ciencia**

Como Justi y Gilbert lo indican (2002, como se citó en Oliva, 2019), aprender a hacer ciencia implica que los alumnos sean capaces de crear, expresar

y comprobar sus propias representaciones del mundo —en este caso de los fenómenos físicos—. En el campo de la didáctica, Villa (como se citó en Chamizo, 2010), argumenta la importancia de implementar la modelación en el aula de clase, pues promueve la construcción de conceptos de forma significativa y duradera. Adicionalmente, la modelación de fenómenos físicos acerca a los estudiantes a la manera en que trabajan los científicos, puesto que, de esta manera, no sólo se aprende sobre el *concepto*, además se fomenta la habilidad de reflexionar sobre el aprendizaje y la estrategia mediante la que este se adquiere, lo cual se conoce como *aprendizaje estratégico* (Pozo y Monereo, 2001).

La ciencia escolar, al ser una reconstrucción del “saber sabio” que trabajan los científicos (Chevallard, 1997, como se citó en Chamizo, 2010), requiere satisfacer la condición de que el conocimiento debe trabajarse de forma rigurosa y precisa, en un lenguaje que pueda considerarse universal. Entonces, si los científicos construyen modelos sobre una determinada porción del mundo y son dichos modelos, con sus ventajas y desventajas, los que divulgan para generar conocimiento, es importante introducir a los estudiantes en esta forma de trabajo, de la cual el concepto de *función* constituye una de las ideas matemáticas más útiles para modelar el mundo real.

Los modelos matemáticos son, generalmente, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está representando (Malvern, 2000, como se citó en Chamizo, 2010). Estos modelos, además de formularse mediante simbología matemática, pueden representarse a través de diagramas, gráficas u objetos tridimensionales. Las simulaciones y las animaciones también constituyen modelos de carácter material que se podrían considerar como un tipo mixto de modelos, ya que se construyen mediante un desarrollo matemático resuelto y visualizado en una computadora (Perkins *et al.*, 2006).

La investigación que se presenta en este capítulo se centra en el manejo estratégico de modelos matemáticos básicos para introducir a los estudiantes en el estudio de la física, con el propósito de que comprendan los modos de acercamiento de esta disciplina tanto al conocimiento y la naturaleza, como a la metodología experimental y a la construcción de modelos explicativos de los fenómenos (Plan de estudios CCH UNAM, s/f).

## Las funciones matemáticas y sus gráficas como herramienta didáctica en la enseñanza de la física

A partir de conjeturas y ciertas suposiciones iniciales, y luego del resultado obtenido en la búsqueda de regularidades presentes en un fenómeno de interés, es como construimos un modelo matemático. Al desarrollarlo como representación de datos reales, se deben perseguir dos objetivos: precisión y sencillez; esto es, se busca lograr un modelo lo más sencillo posible, pero que refleje la realidad de la mejor manera y produzca resultados significativos. Los procedimientos dentro del modelo matemático proporcionan resultados que permiten predecir lo que sucederá en esa situación tomada de la realidad. El estudio empírico de las relaciones existentes entre las variables de un fenómeno y su posterior formulación matemática es una parte esencial del método científico (Acevedo- Díaz *et al.*, 2017).

En la intervención didáctica que se propone, el análisis de las funciones se enfocó no sólo en su representación simbólica escrita (símbolos matemáticos), sino en su presentación numérica (tabular) y gráfica, dado que, en un sentido instruccional, tanto las funciones como sus correspondientes tablas y gráficas se centran tanto en la *relación* como en la *entidad*, por lo cual resulta una magnífica herramienta para examinar patrones que generan un puente entre el razonamiento de lo concreto a lo abstracto y el razonamiento entre abstracciones.

La literatura analizada sobre enseñanza de las ciencias y las matemáticas se basa, además de en los conocimientos técnicos, en la forma en que aprenden los estudiantes. Obviamente, la selección de la entrada dicta en cierta medida la secuencia de la instrucción y, dependiendo a su vez de esta —durante el proceso de modelado de pensamiento (Eggen, Kauchack y Eggen, 2010)—, el profesor promueve la construcción de nociones que se basan en conocimientos previos. Una característica fundamental del modelado de pensamiento es una aplicación bien construida, esto es, que exprese las características esenciales de lo que se debe conocer pero, a la vez, limite la generalización que pueda conducir a crear conceptos erróneos, ya que posteriormente son muy difíciles de erradicar de la mente de los estudiantes.

En la educación a nivel secundaria y preparatoria (en el contexto mexicano), el concepto de función contribuye a la estructuración del pensamien-

to variacional y de los sistemas analíticos, pues promueve en el estudiante competencias y habilidades para la observación, medición y registro de datos, así como la realización de distintas representaciones gráficas que permiten la identificación de variables y el establecimiento de relaciones funcionales aplicables a los contextos reales (Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990).

El análisis de las funciones matemáticas abarca el análisis de las variables observables que caracterizan los estados de los sistemas, la investigación de relaciones, la evolución de dichas variables y, finalmente, la formulación de modelos para describir y predecir los fenómenos asociados a tales sistemas. Esta secuencia de pasos se hace posible gracias al acercamiento al *pensamiento funcional* (Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990), puesto que el estudiante puede conectar su conocimiento matemático con su experiencia y ver más que un subconjunto de pares ordenados  $x$  o  $y$ , o sea, es capaz de observar una conexión definida entre dos magnitudes que cambian (variables) con una aplicación específica.

Así entonces, el objetivo de la instrucción al utilizar funciones matemáticas como herramienta didáctica en la física debe ser desarrollar las concepciones de los estudiantes, ya que estas funcionan como poderosas herramientas en los esfuerzos continuos del estudiante por llegar a una cognición más profunda e integradora de un fenómeno particular. Por naturaleza, las concepciones están en transición o en proceso de encarnarse a su máxima realización o capacidad, por lo que es fundamental un tratamiento cuidadoso del modelado de pensamiento para evitar una aplicación errónea (Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990).

En ciencias, los objetivos instruccionales, que se relacionan tanto con funciones como con sus gráficas, mayoritariamente tienen que ver con su interpretación (Brasell y Rowe, 1989; McDermott, Rosenquist y vanZee, 1987; McKenzie y Padilla, 1986, como se citaron en Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990). Janvier (como se citó en Chamizo, 2010) argumenta que se debe alentar a los estudiantes para que presten atención a toda la gráfica, como una expresión de la relación entre dos variables que cambian simultáneamente, y que expresen esa relación en palabras, en lugar de números. Este es un enfoque más cualitativo, pero propicio para estudiantes cuya formación matemática aún está en desarrollo, como es el caso que se analiza en el presente capítulo. El enfoque tiene la clara ventaja de captar el

sentido común, las intuiciones y las estrategias de verificación de la realidad (Goldenberg, 1987, como se citó en Leinhardt, Zaslavsky y Stein, 1990). Respecto a las tareas de construcción de gráficas en el ámbito científico, el enfoque generalmente se centra en la naturaleza predictiva de estas representaciones. En la intervención se realizó énfasis especial en la generalización, predicción e identificación de tendencias.

## **Los simuladores computacionales como herramientas pedagógicas en la enseñanza de la física**

La enseñanza de la física tiene como objetivo ayudar a los estudiantes a percibir esta disciplina como un sistema coherente de conceptos y principios relacionados con el mundo natural. En la enseñanza, los profesores emplean con frecuencia representaciones alternativas, que incluyen desde descripciones de texto e imágenes de los fenómenos físicos, hasta representaciones simbólicas y gráficas de conceptos y principios (Amadeu y Leal, 2013). Las simulaciones son de particular utilidad para describir diversos aspectos de un fenómeno físico o un concepto de la física que no es tan accesible por otros medios, los cuales, además, se complementan entre sí de tal manera que el resultado son representaciones más completas. Los medios digitales ofrecen la oportunidad adicional a los profesores de sacar provecho de las representaciones dinámicas utilizadas para caracterizar tanto fenómenos como conceptos de la física que cambian en el tiempo y el espacio (Ainsworth y VanLabeke, 2004, como se citó en Amadeu y Leal, 2013).

La simulación digital de experimentos de física ha sido la más explorada y ha permitido el estudio de condiciones que serían difíciles (e incluso imposibles) de aplicar en la práctica. El uso de programas de simulación posibilita una mejor comprensión de algunos fenómenos físicos, ya que permite incluir elementos gráficos y animaciones en el mismo entorno. Esto, unido al interés de los estudiantes por las nuevas tecnologías, tiene el potencial de hacer que el proceso de aprendizaje sea más eficiente y agradable (Ding y Fang, 2009; Sengel y Ozden, 2010, como se citaron en Amadeu y Leal, 2013; Sokoloff y Thornton, 1997). El uso educativo de este tipo de simulaciones ofrece a los estudiantes la oportunidad de descubrir las propiedades de un modelo, a través de la recopilación y el análisis de datos, o de

la información proporcionada por los programas. Estas actividades tienden a promover en los estudiantes las habilidades para resolver problemas (Roschelle y Teasley, 1995, como se citó en Amadeu y Leal, 2013).

En la presente investigación, se utilizó la tecnología de educación PhET, que provee simulaciones útiles para enseñar y aprender física, además de hacerlas disponibles gratuitamente en su sitio web. Las simulaciones están animadas, manejan entornos interactivos y similares a los juegos mediante los cuales los estudiantes aprenden a través de la exploración. En estas, se enfatizan las conexiones entre los fenómenos cotidianos y la ciencia subyacente, y se procura desarrollar modelos visuales y conceptuales de físicos expertos, accesibles para los estudiantes de diferentes niveles educativos y edades (Perkins *et al.*, 2006).

## Metodología

La intervención se trabajó a la luz del método de casos, en el contexto del nivel medio superior, durante el curso de Física I del ciclo escolar 2020-2021 impartido en la preparatoria del Colegio Félix de Jesús Rougier, en Tampico, Tamaulipas, México. El programa de estudios que se imparte está incorporado al Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México, y la materia se imparte con carácter obligatorio en el tercer semestre. El grupo donde se aplicó fue mixto y las edades de los estudiantes fluctúan entre los 16 y 17 años. El curso de Física I inicia con la unidad de “Introducción a la física”, donde los objetivos de aprendizaje indican que el alumno debe ser capaz de describir diferentes sistemas y fenómenos físicos e identificar las magnitudes físicas que permiten una mejor descripción y estudio.

Una de las actividades donde es más tangible valorar el nivel de aprendizaje de los estudiantes en este sentido, es durante el trabajo experimental, ya que este involucra no sólo el conocimiento de los conceptos, sino el manejo de los mismos para responder una pregunta de investigación concreta. A causa de la pandemia global de COVID-19, desde marzo de 2020, se suspendieron las clases presenciales y todas las actividades académicas debieron migrar al trabajo en línea. De tal manera, y con el fin de desarrollar esta importante faceta del trabajo escolar, se rediseñó la secuencia didáctica

ca para que los estudiantes, a través de la orientación y guía de la profesora-investigadora, pudieran analizar la naturaleza de diferentes fenómenos físicos y, a través de la recopilación de datos de sus variables explicativas y el posterior desarrollo de sus gráficas de comportamiento, fueran capaces de inferir su naturaleza variacional y expresarla en lenguaje simbólico a través de una ecuación matemática.

Adicionalmente, se les solicitó a los estudiantes elaborar la tabla de datos y la gráfica correspondiente que confirmara sus hipótesis en relación con el tipo de vínculo presente entre las variables estudiadas para cada fenómeno simulado. Los recursos de simulación utilizados fueron tres: “bajo presión”, “masas y resortes” y “presión de flujo y fluido”. La estructura de la secuencia didáctica comprendió un cuestionario introductorio al estudio de las variaciones que se estudian en física, la actividad de modelado, la actividad experimental mediada por tres simuladores del proyecto PhET y dos experimentos realizados por los estudiantes en casa, así como la resolución de un ejercicio a manera de evaluación final.

La intervención se realizó en cuatro sesiones de 90 minutos por sesión, en cada una de las cuales trabajaron mediante videoconferencias (Zoom) en el horario de clase asignado. La primera sesión se manejó bajo el formato de aula invertida: de forma previa a la sesión de inicio y como requisito indispensable para efectuar la práctica, cada estudiante tenía que haber completado y verificado la retroalimentación de un cuestionario introductorio, así como revisar un video donde se detalló a los estudiantes la metodología experimental y se dieron las indicaciones para efectuar las mediciones de cada uno de los tres experimentos.

Durante la primera parte de la sesión inicial, se atendieron las dudas en relación con los resultados alcanzados en el cuestionario de introducción, así como de la toma de datos en cada simulación, su registro y su tratamiento. En la segunda parte de la sesión 1, los estudiantes, de forma individual, interactuaron con los tres simuladores para obtener las mediciones solicitadas. Los resultados de esta sesión se colocaron en un archivo de Excel, junto con imágenes que manifestaran la evidencia de la interacción con el simulador. El archivo se enlazó a la asignación correspondiente del aula virtual de la clase (Google Classroom).

Durante la segunda sesión, se solicitó a los estudiantes reunirse con su compañero(a) de equipo y se les concedió tiempo para socializar sus hallazgos, comparar resultados, verificar hipótesis y realizar conclusiones. En un segundo momento de la misma sesión, se solicitó a cada equipo que compartiese sus respuestas para cotejar las conclusiones que obtuvo cada equipo. Asimismo, se asignó como tarea trabajar en el informe de la práctica. Como requisito para la entrega de este informe, se requirió realizar dos experiencias más a fin de verificar si los estudiantes podían obtener resultados similares cuando trabajan actividades vivenciales desde sus hogares. La idea es que estas evidencias, sumadas a las anteriores, facilitasen la triangulación de datos para poder realizar las conclusiones.

En la tercera sesión, se aplicó un examen breve de cierre del tema, donde se les solicitó a los estudiantes aplicar el mismo procedimiento de trabajo realizado durante el tiempo de práctica guiada. Los instrumentos de evaluación de la intervención fueron: *a)* rúbrica para evaluar el informe de práctica y *b)* calificación de la entrega de avances y del ejercicio de evaluación final del tema.

La muestra que se tomó fue a conveniencia: dos equipos de trabajo con dos personas por cada uno. Ambos equipos se conformaron desde el inicio del curso por voluntad e iniciativa de los estudiantes, y de forma independiente a la intervención; en cada grupo, uno de los estudiantes tiene un historial de alto desempeño académico, en tanto que el otro compañero(a) tiene un historial de desempeño académico de regular a bajo.

Por otro lado, en todos los experimentos realizados en la intervención se solicitó hipotetizar y comprobar la relación causal de cada fenómeno. Se dieron las indicaciones para reportar las mediciones, realizar la tabla de datos y las gráficas para análisis de tendencias.

- En el primer experimento (“bajo presión”), se pidió a los estudiantes analizar la relación entre la presión absoluta de un fluido, reportada en kilopascales, y la profundidad de un depósito, reportada en metros.
- En el segundo experimento (“masas y resortes”), se pidió a los estudiantes analizar la relación entre el estiramiento de un resorte, reportado en centímetros, y la masa que se coloca en un extremo de este, en gramos.

- En el tercer experimento (“flujo de un fluido”), se solicitó a los estudiantes analizar la relación entre el área de una tubería ( $m^2$ ) y la velocidad del fluido ( $m/s$ ).

En las actividades experimentales que se trabajaron desde casa, se les solicitó a los estudiantes realizar dos experimentos (Alvarenga y Máximo, 2007) para hipotetizar y demostrar: *a*) la relación causal entre el volumen de un líquido y su nivel, realizando cinco mediciones y reportando los resultados de volumen ( $cm^3$ ) versus la altura del nivel ( $cm$ ), en forma tabular y gráfica; y *b*) La relación causal ente el tiempo de vaciado de un recipiente ( $s$ ) y el área de salida del fluido ( $cm^2$ ).

Igualmente se requirieron cinco mediciones, así como la tabulación y graficación de datos experimentales. El objetivo de ambas experiencias fue similar al que se procuró con las simulaciones: hipotetizar sobre la relación funcional y desarrollar el modelo matemático que explicase y pudiese predecir el comportamiento del fenómeno.

## Resultados y discusión

En relación con los resultados de los cuestionarios iniciales, fue posible detectar algunos conceptos erróneos de los estudiantes, tales como: confundir coeficientes de la variable con sus exponentes; la falta de comprensión de la actividad; y la sobregeneralización de la respuesta. A continuación se detallan los hallazgos más destacados.

Al preguntar: ¿qué es una función no lineal (cuadrática o cúbica) y cómo se expresa en esta situación la relación entre las variables implicadas? los estudiantes compartieron:

— “Cuando una variable aumenta y así la otra variable incrementa al doble o triple o cual sea el nivel”.

— “Una función es cúbica cuando una variante aumenta y la otra aumenta tres veces más:  $y = ax^2 + bx$ ”.

— “Maestra, la verdad, lo leí e investigué un poco más del tema, pero no logro entender bien”.

A partir de las preguntas: ¿qué forma tiene la gráfica de la variación? ¿Qué diferencias tiene este tipo de gráfica en relación con las funciones de proporción directa y las funciones lineales? ¿Cómo explicas estas diferencias?, se hizo el siguiente hallazgo sobre conceptos erróneos:

— “Tiene una forma curva; se diferencia de las demás porque una de las variables contiene un exponente <sup>(2,3)</sup> y se diferencia por su curva y [...] porque empieza por el lugar de origen y llega a terminar en el mismo número”.

Un tercer hallazgo, respecto a la valoración inicial de la comprensión de la covariación de las relaciones inversas, fue la confusión entre la forma gráfica, al entender una variación lineal con pendiente negativa como una variación inversa. En relación con los resultados de los experimentos, se solicitó que cada estudiante reportara individualmente su trabajo y subiera evidencias al Google Classroom de la asignatura. Las instrucciones para los estudiantes fueron:

1. Establecer las condiciones de operación para cada simulador. En el caso del experimento 1, se solicitó que realizaran la medición de presión absoluta *versus* profundidad del tanque como mínimo, para uno de los fluidos indicados en el simulador. En el caso del experimento 2, se pidió que realizaran las mediciones para determinar la constante del resorte.
2. Identificar la variable dependiente e independiente en cada experimento, así como la hipótesis de la relación causal (funcional) presente, incluyendo el modelo matemático que la expresa. Durante el curso se analizaron fenómenos físicos que presentaran variaciones de proporción directa ( $y = kx$ ; variaciones lineales ( $y = kx + b$ ); variaciones no lineales ( $y = kx^n$ ) y variaciones inversas ( $y = k/x$ ).
3. Registrar las mediciones en una tabla de datos.
4. Trazar la gráfica del comportamiento de datos.
5. Calcular la constante  $k$ .
6. Desarrollar el modelo propio del fenómeno.
7. Comparar si las mediciones efectuadas en diferentes condiciones manifiestan la misma tendencia, apreciar las diferencias encontradas y

comentar con su compañero de equipo para confirmar si las tendencias detectadas fueron similares.

Los resultados se reportaron en hojas de cálculo. En todos los casos, con ligeras variaciones, los estudiantes fueron capaces de identificar correctamente la relación causal y expresar cada fenómeno en lenguaje matemático. Otro hallazgo fue que solo los estudiantes tipificados como de alto desempeño fueron quienes realizaron inferencias en relación con los cambios de condiciones que se requirieron en el experimento “bajo presión” y “masas y resortes”:

- a) “La miel es más pesada que el agua y por eso hay más presión”.
- b) “El tipo de líquido tiene que ver con los valores de la constante *del modelo*”.
- c) “Si cambias de un resorte suave a otro más duro, cambia la constante”.
- d) “La condición del resorte influye en el estiramiento”.

En relación con los resultados de los experimentos adicionales efectuados en casa, donde se solicitó identificar y expresar el modelo de la relación causal entre el volumen de un líquido y la altura en el nivel del recipiente (variación directa), así como la relación entre el tiempo de vaciado de un recipiente y su área de salida (variación inversa), se aprecia que todos los estudiantes fueron igualmente capaces de identificar correctamente la relación funcional y de desarrollar el modelo explicativo en lenguaje matemático.

Los resultados alcanzados en el ejercicio de evaluación final fueron de satisfactorios en tres de las cuatro situaciones presentadas. En una entrevista con los estudiantes, se les preguntó de qué forma les era más sencillo identificar la naturaleza y tipo de relación funcional de las variables. Al respecto, hubo consenso en que, al analizar la relación de forma bilateral y compararla con sus experiencias previas, se facilitó la comprensión de la naturaleza de las variables. Para ejemplificar su respuesta, uno de los estudiantes respondió: “Yo lo que hago es preguntarme si la presión absoluta depende de la profundidad del agua o la profundidad del agua depende de la presión absoluta y, entonces me acordé que, al ir a la alberca, mientras más hondo me sumerjo, más me duelen los oídos”. Otro más argumentó:

“Un resorte se estira más si lo jalas más fuerte; entonces la variable que manda es la fuerza”. En relación con su experiencia en el tercer experimento, otro alumno indicó: “Si tapas la salida de la manguera con el dedo, el agua sale con más fuerza y pues yo creo que eso se relaciona con la velocidad”. Respecto al papel de la gráfica en el proceso, el comentario fue que resultó más sencillo construir la gráfica en la hoja de cálculo, y ya con conocimiento sobre la naturaleza de la relación, la forma de la gráfica muestra la tendencia. Uno de los estudiantes, lo expresó de la siguiente manera: “Al ver la gráfica, ya te das una idea de cómo cambian las variables y así te queda más claro todo”.

Cuando se les preguntó cómo sabían si los resultados que obtenían eran confiables, dos de los estudiantes explicaron que si los resultados de la constante eran muy similares para cada variación medida, se podía interpretar como un “buen resultado”. Esta inferencia genera entonces una aproximación intuitiva hacia el error de medición y manejo de incertidumbre. En el caso 1, el estudiante con menor desempeño fue capaz de identificar la relación causal e incluso presentar un avance en el desarrollo del modelo, sin embargo, no logró concretar el cálculo de la constante y, por lo tanto, no pudo obtener las predicciones solicitadas.

La comparación de las cuatro evidencias de aprendizaje (actividad de introducción; reporte de resultados experimentales en hoja de cálculo; informe de práctica; y evaluación de cierre en Google Forms) permitió establecer cuánto nos acercamos al cumplimiento de los objetivos en la intervención didáctica propuesta., donde se hizo evidente una evolución favorable, aunque a diferentes niveles, en el desempeño de los estudiantes. En resumen: el trabajo experimental con los recursos digitales utilizados (simuladores, video y hojas de cálculo para la representación numérica y gráfica de los valores) contribuyeron a lograr los objetivos de aprendizaje solicitados por el programa de estudios que priva en el contexto actual, es decir, de trabajo escolarizado en línea. Los estudiantes fueron capaces, primero, de interactuar con los simuladores y, posteriormente, de hacerlo con objetos reales y replicar resultados satisfactorios. De igual manera, se apreció que el uso de los simuladores y de video facilitó el trabajo de modelado de pensamiento. Asimismo, el análisis de datos para poder desarrollar los procesos de cognición necesarios para completar la tarea, se vio facilitado

por el manejo de las diferentes representaciones semióticas (imágenes, simbología matemática, tablas, gráficas) de manera casi simultánea. En la entrevista, los comentarios de los estudiantes señalan:

— “Se me hizo mejor trabajar en Excel la tabla con los valores y hacer la gráfica, porque te tardas menos y puedes ver rápidamente la forma que toma la función”.

— “Me ayudó trabajar en Excel porque ya lo sabía usar y trabajas más rápido de lo que te piden hacer. Tardas mucho en hacer las gráficas a mano”.

— “Fue más fácil trabajar con el PhET y con la explicación del video. Nosotros la revisamos varias veces y así ya no batallamos para presentar los avances y hacer los experimentos en la casa”.

— “Me gusta más trabajar presencial, pero está bien que podamos hacer esto: igual hacemos mediciones y obtenemos resultados”.

Inicialmente, los fenómenos donde se presentan variaciones no lineales y variaciones inversas presentaron mayor dificultad para los estudiantes. No obstante, durante el progreso de la intervención se apreció un mejor manejo de las variaciones inversas, tal como lo constatan los resultados del ejercicio de cierre. Los tres simuladores funcionaron como verdaderos laboratorios de pensamiento, pues los estudiantes manifestaron un avance en las habilidades para manejar las variaciones entre las magnitudes de un fenómeno, lo que sin duda es una habilidad de gran valor para el aprendizaje de la física y otras ciencias.

## Conclusiones

El pensamiento tiene un importante componente de conocimiento constituido por información acerca de su naturaleza y de los procesos que conducen a su construcción (Pozo y Monereo, 2001; Amestoy de Sánchez, 2002). Aprender física incluye, además de conocer fuentes confiables sobre este campo de conocimiento, heurísticas especiales para manejar los datos del dominio de interés, así como estrategias útiles para organizar y darle sentido a la información analizada. El aprendizaje de la física involucra el uso consciente de los procesos de pensamiento que constituyen elementos

básicos para construir, organizar y usar los conocimientos. Su ejercitación deliberada, sistemática, voluntaria, gradual y controlada dan lugar al desarrollo de las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes, para que estos puedan adquirir conocimientos y transferirlos a nuevos ámbitos, generar productos o establecer generalizaciones.

La formación de imágenes o representaciones mentales a través de diferentes recursos semióticos (lenguaje simbólico, numérico y gráfico), o de una mediación pedagógica debidamente planificada y estructurada, es capaz de facilitar la activación mental del pensamiento de los estudiantes de forma consciente, intencional, sistemática y gradual, aun cuando estos se encuentren en diferentes niveles de desarrollo de su pensamiento abstracto. El modelado del pensamiento implica, de manera muy particular, que el docente preste atención específica a la manera en que los estudiantes procesan la información y los haga conscientes de ello, a fin de fomentar las prácticas que lo estimulen de forma positiva y pongan a prueba ideas que pueden conducir al error. Así, el profesor no sólo media entre el estudiante y el conocimiento, sino entre aquél, el conocimiento y el proceso de aprendizaje en sí, con lo cual desarrolla un proceso riguroso de control y seguimiento de los logros alcanzados y de las limitaciones detectadas con la finalidad de, progresivamente, lograr la formación de las imágenes y de los hábitos deseados, incluyendo todos los niveles de comprensión, abstracción y generalización.

Toda esta metodología genera la necesidad de diversificar los recursos pedagógicos en la enseñanza de la física y promueve un uso extensivo de herramientas multimedia. El uso de simulaciones por computadora es, sin duda, un excelente complemento para su enseñanza, así como para otras ciencias, puesto que acercan a los estudiantes a oportunidades de aprendizaje que, de otro modo, no podrían ser implementadas por su costo, riesgo o tiempo de aplicación (Fiolhais y Trindade, 2003; Sokoloff y Thornton, 1997). Sin embargo, es importante señalar que, aunque el balance de la utilización de estas herramientas en la educación en ciencias es claramente positivo, su uso por sí mismo no garantiza el éxito en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Sobre la base de los resultados obtenidos, el uso de simulaciones por computadora, así como de otros recursos semióticos facilitados por la tecnología computacional, como hojas de cálculo, se consideran altamente

recomendables para la introducción al aprendizaje de la física a nivel preparatoria, puesto que sirven como un andamiaje entre el pensamiento concreto y abstracto en el que se ubican los estudiantes de este nivel de estudios, en función de su edad cronológica, ya que: *a)* facilita el proceso de “traducción” mental entre el lenguaje matemático simbólico y la representación gráfica de un fenómeno; *b)* mejora la comprensión de la naturaleza; *c)* permite introducir la naturaleza predictiva de los modelos físicos como uno de los grandes beneficios del aprendizaje de las ciencias; *d)* promueve una disposición favorable al aprendizaje pues utiliza variados y atractivos recursos digitales; y *e)* el tiempo de enseñanza se hace más eficiente a través del manejo eficaz de las herramientas computacionales.

Es importante reconocer que la naturaleza de esta investigación limita la generalización de los resultados, pero también es necesario poner de manifiesto que existen muchas vertientes que explorar en el campo de la modelización de la física, en el manejo de los recursos semióticos que la tecnología va desarrollando y en el aprendizaje de las ciencias para las nuevas generaciones de estudiantes. Sin embargo, se espera que estudios como los de este capítulo generen un referente positivo para continuar profundizando en este campo de trabajo de la enseñanza de la física.

## Referencias

- Alvarenga B. y Máximo A. (2007). *Física general con experimentos sencillos*. Oxford.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. D. M. y Oliva-Martínez, J. M. (2017). Modelos científicos: Significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30, 155-166. <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Amadeu, R. y Leal, J. P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 31(3)177-188. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/285788>
- Amestoy de Sánchez, M. (2002). La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 4(1), 1-32. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-40412002000100010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412002000100010)
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2010.v7.i1.02](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.02)

- Eggen, P. D., Kauchak, D. P. y Eggen, K. P. (2009). *Estrategias docentes: Enseñanza de contenidos curriculares y desarrollo de habilidades de pensamiento*. Fondo de Cultura Económica.
- Friel, S. N., Curcio, F. R. y Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(2), 124-158. <https://doi.org/10.2307/749671>
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O. y Stein, M. K. (1990). Functions, graphs, and graphing: Tasks, learning, and teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1-64. <http://www.jstor.org/stable/1170224>
- Mora, C. (2019). La semiótica en la enseñanza de la física. *REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 7(3), 126-134. <https://doi.org/10.26571/reamec.v7i3.9278>
- Oliva Martínez, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C. y LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Plan de estudios del CCH. (s/f). Portal de la Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades [En línea]. Recuperado el 3 de enero del 2020 de <https://www.dgire.unam.mx/webdgire/planes-de-estudio-y-programas-operativos/plan-y-programas-indicativos-colegio-de-ciencias-y-humanidades/>
- Pozo, J. I. y Monereo, C. (2001). El aprendizaje estratégico: enseñar a aprender desde el currículo. *Docencia Universitaria*, 2(2), 105-109. [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/sadpro/Documentos/docencia\\_vol2\\_n2\\_2001/11\\_rese%C3%B1a\\_4Juan\\_Pozo.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/sadpro/Documentos/docencia_vol2_n2_2001/11_rese%C3%B1a_4Juan_Pozo.pdf)
- Sokoloff, D. y R. Thornton (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *Physics Teacher*, 35(6), 340-346. <https://doi.org/10.1119/1.2344715>
- Stake, R. (2013). Estudios de casos cualitativos. *Las estrategias de investigación cualitativa*. University of Colorado Boulder. (2015). *PhET Interactive Simulations*. Universidad de Colorado. <http://phet.colorado.edu>
- Zollman, A., Tahernezehadi, M. y Billman, P. (2012). Science, technology, engineering and mathematics education in the United States: Areas of current successes and future needs. *The International Journal of Science in Society*, 3(2), 103-112. <https://doi.org/10.18848/1836-6236/CGP/v03i02/51327>



# Capítulo 5. Análisis del efecto de la aplicación del aprendizaje basado en proyectos y del modelo STEAM en la elaboración de proyectos de aula mediante el principio de Pascal

EDUARDO FRANCISCO BAIDAL BUSTAMANTE<sup>1</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2</sup>

MANUEL SEBASTIÁN ÁLVAREZ ALVARADO<sup>3</sup>

## Resumen

Este capítulo tiene por objetivo demostrar el rendimiento alcanzado con la aplicación del modelo STEAM, junto con el *aprendizaje basado en proyectos*, en la elaboración de proyectos de aula que utilizan el principio de Pascal. Para este trabajo se escogió a dos paralelos que cursan la asignatura de física aplicada en la carrera de Ingeniería Industrial en un instituto de educación superior ecuatoriano. A un paralelo se le denominó grupo de control y desarrolló los proyectos de aula basados en las tres fases tradicionales del aprendizaje basado en proyectos (planificación, implementación y evaluación). A otro paralelo se le denominó grupo experimental y desarrolló los proyectos de aula basados en dos fases tradicionales del aprendizaje basado en proyectos (planificación y evaluación), en tanto que la fase de implementación la desarrolló a través de una secuencia de actividades que utilizaron las fases del STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas). Se plantearon dos hipótesis (de investigación y nula), las cuales fueron contrastadas con la técnica *t* de *students* para dos muestras relacionadas. Además, se midió la ganancia del aprendizaje alcanzado en los gru-

---

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. Facultad de Ingeniería Industrial, de la Universidad de Guayaquil (Ecuador). orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8680-0003>

<sup>2</sup> Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

<sup>3</sup> Escuela Superior Politécnica del Litoral (Ecuador). orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0398-9235>

pos de investigación utilizando la técnica del factor de Hake y el cálculo de los componentes normalizados de Dellwo.

**Palabras clave:** STEAM, aprendizaje basado en proyectos.

## Antecedentes

En la educación actual van apareciendo nuevas políticas y leyes que motivan a los centros educativos a crear estrategias que fomenten en sus estudiantes una actitud tendiente a resolver problemáticas de su entorno social, a través de soluciones relacionadas con sus competencias para, de esta manera, aportar a la sociedad del buen vivir, según se estipula en el Art. 9 de la Ley Orgánica de Educación Superior de la República del Ecuador. Basado en esto, la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación tiene como objetivo “impulsar el desarrollo científico y tecnológico del país, a través del financiamiento de proyectos y programas de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica (i+D+i), en concordancia con el Plan Nacional para el buen vivir” (Secretaría de Educación Superior, s/f).

En el presente trabajo se desea mostrar la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos y el Modelo STEAM para medir y cuantificar el aprendizaje en los estudiantes universitarios por medio de proyectos de aula, tomando como unidad de estudio la Mecánica de fluidos, de manera específica “El Principio de Pascal”, la cual forma parte del currículo de Física Aplicada del Segundo Semestre de la Carrera de Ingeniería Industrial.

## Metodología

### Participantes de la investigación

Este trabajo se desarrolló en un instituto de educación superior pública del Ecuador, cuyos estudiantes seleccionados corresponden a dos grupos de la asignatura de Física Aplicada del segundo nivel de la carrera de Ingeniería Industrial, quienes cuentan con edades entre los 18 y los 34 años. Los paralelos utilizados fueron el IND-S-NO-2-10 de Física Aplicada denominado “grupo de control” y el IND-S-NO-2-11 de Física Aplicada denominado

“grupo experimental”. El grupo de control desarrolló los proyectos de aula utilizando las tres fases tradicionales del aprendizaje basado en proyectos, mientras que el grupo experimental desarrolló los proyectos de aula a través de sólo dos fases del aprendizaje basado en proyectos (planificación y evaluación) y el modelo STEAM (aplicado en la fase implementación). No se realizó una selección aleatoria de estudiantes, pues los participantes son estudiantes inscritos en los paralelos seleccionados, por lo tanto, son considerados como grupos intactos.

## Instrumentos

Se elaboró una prueba de 10 ítems basada en el principio de Pascal, la cual fue ajustada del trabajo original (Baidal y López, 2019). Esta prueba fue diseñada para medir el rendimiento y a la vez las habilidades que promueven el aprendizaje basado en proyectos y el modelo STEAM, tales como el pensamiento crítico, tomado del modelo de prueba de Watson Glaser (*assessment-training*), la creatividad y la solución de problemas. Dicha prueba fue aplicada para los grupos de “control” y “experimental”, como ensayo de entrada (pretest) y prueba de salida (postest). (Baidal, Álvarez y Bravo, 2019).

## Variables e hipótesis

Las variables que trabajaremos son dos: variable independiente es el método para el desarrollo de proyectos de aula que se emplea en dos niveles (utilizando el modelo el STEAM y el otro nivel es el modelo que no utiliza el STEAM); y la variable dependiente que es el aprendizaje de los estudiantes sobre el principio de Pascal, el cual fue medido por medio del rendimiento académico.

Por otro lado, las hipótesis también son dos: en primer lugar, se encuentra la hipótesis de investigación, cuyo planteamiento establece que con la aplicación del modelo STEAM se obtiene mayor rendimiento académico en la elaboración de proyectos de aula, en comparación con aquellos que no lo utilizan; por su parte, la hipótesis nula sugiere que con la aplicación del modelo STEAM se obtiene el mismo rendimiento académico en la elaboración de proyectos de aula en relación con aquellos que no lo utilizan.

## Diseño de la investigación

Este trabajo fue desarrollado bajo un modelo cuantitativo con dos grupos de investigación que no fueron alterados aleatoriamente, pues no se realizaron procedimientos para la selección de participantes, lo cual hace que consideremos a los grupos intervenidos como intactos. Este diseño se presenta bajo el siguiente esquema:

$$\frac{GE}{GC} = \frac{O_1XO_2}{O_3O_4}$$

En este diseño se definieron *GC* para el grupo de control y *GE* para el grupo experimental. En el grupo experimental se realizaron las mediciones  $O_1$ , que corresponden a la aplicación de la prueba de entrada, y  $O_2$ , que corresponden a la aplicación de la prueba de salida; *X* representa el tratamiento aplicado por la aplicación del modelo STEAM. En el grupo de control se realizaron las mediciones  $O_3$ , que significan la aplicación de la prueba de entrada, y  $O_4$ , que simbolizan la aplicación de la prueba de salida.

## Procedimiento

Luego de la asignación como docente del grupo IND-S-NO-2-11 de Física Aplicada, se realizó la planificación del curso, incluyendo las actividades para el desarrollo de los proyectos de aula y los recursos que se van a desarrollar en este mismo proyecto. Luego se diseñó el curso en la plataforma Moodle, incluyendo los recursos y actividades planificadas. En la fecha correspondiente para el inicio de los proyectos de aula se explicó a los estudiantes sobre la metodología ABP y el modelo STEAM. Después de ello, se procedió a la aplicación de la prueba de entrada de manera individual. Para esta actividad se destinó un tiempo de 45 minutos. Luego los estudiantes se organizaron en grupos de trabajos de entre cinco y siete integrantes. Para permitir que exista diversidad de perfiles, se solicitó anticipadamente que los estudiantes se organicen con base en las habilidades y conocimientos relacionados con el desarrollo del proyecto. Los estudiantes eligieron al líder del grupo.

En la siguiente sesión, los estudiantes definieron el prototipo a realizar (basado en el funcionamiento del principio de Pascal), tras lo cual fue presentado y expuesto en clase. Cada propuesta fue revisada y aprobada por el docente. Luego, los estudiantes realizaron la planificación de las actividades para el desarrollo del proyecto. Como producto de esta actividad, definieron un cronograma de trabajo en el que se indicaban las actividades del proyecto, los responsables, las fechas de entrega y los entregables. Previo al desarrollo de la primera fase de implementación del proyecto de aula, se proporcionó a los alumnos un enlace con el video de la clase donde se detallaba el principio de Pascal; estos tuvieron que revisar el video en casa, antes de la clase (tal actividad formó parte de la metodología de clase invertida).

La fase *science* también se desarrolló bajo la metodología de la clase invertida. Después de que los estudiantes revisaran la lección en sus hogares, en la clase se planteó un debate sobre el principio de Pascal y luego se desarrolló un taller grupal. El entregable para esta fase consistió en desarrollar un ensayo explicando el principio de Pascal en el funcionamiento de su prototipo. Posteriormente, se realizó la retroalimentación respectiva con base en el contenido del ensayo elaborado por cada grupo.

Después, en la fase *technology*, los estudiantes realizaron una investigación sobre los prototipos que hay, para conocer sus tipos y definir cuál de ellos van a realizar. Adicionalmente, los grupos desarrollarán el diagrama de conexiones del prototipo y definirán el tipo de funcionamiento que tendrá. En una sesión se revisaron los diagramas de conexiones y se realizó la respectiva retroalimentación.

Por su parte, la fase *engineering* se desarrolló en tres partes. En la primera, se les pidió a los estudiantes definir el tipo de material con el cual desarrollarían su prototipo (indicando el porqué se escogió ese material) y el procedimiento para su construcción. En la segunda parte, se les solicitó realizar los planos del prototipo, para lo cual se les demandó que consideraran las normas de dibujo técnico y las respectivas líneas de cota. En la tercera parte, los estudiantes desarrollaron el prototipo, tomando como base los planos y el diagrama de conexiones realizado; como entregable de esta parte, los estudiantes presentaron un video que mostraba el funcionamiento del prototipo, no obstante, se pidió que no se consideraran aún los aca-

bados y que el prototipo se mostrara funcionando en su estado natural. Para cada parte de esta fase se realizó la retroalimentación respectiva.

En la fase *art* se solicitó a los alumnos que realizaran los acabados del prototipo. Los entregables fueron fotografías que mostraban dichos acabados acompañados con la explicación de sus significados. Al final de la fase se realizó la respectiva retroalimentación.

En la fase *mathematics* se desarrolló una experimentación con el prototipo realizado. Para esta actividad los estudiantes se reunieron en el laboratorio de física y realizaron un experimento con la finalidad de calcular las variables que intervienen en el principio de Pascal. Como entregable de la fase *mathematics* se desarrolló un reporte de laboratorio basado en el formato definido en la asignatura. Este reporte contiene: objetivos, descripción de materiales, procedimiento, tabla de datos, cálculo y operaciones matemáticas, gráficos y conclusiones. Finalmente, se realizó la retroalimentación respectiva.

Una vez que el prototipo fue desarrollado, se realizó su exposición, durante la cual los estudiantes explicaron el procedimiento de implementación y el funcionamiento del prototipo. En la exposición los estudiantes hicieron énfasis en cada una de las fases del STEAM y mostraron la evolución del prototipo elaborado. Finalmente, en una sesión de clase se realizó la prueba de salida de manera individual. Para el desarrollo de esta prueba se dio un tiempo de 45 minutos.

## Análisis de datos

Inicialmente, para el análisis de datos, se realizó un análisis estadístico descriptivo de los resultados de calificaciones que se obtuvieron en las pruebas aplicadas. Adicionalmente, se realizaron unas gráficas conocidas como PP Plot, con la finalidad de conocer si los datos seguían una distribución normal. Estas técnicas estadísticas fueron realizadas por medio del programa Microsoft Excel (Baidal, Cevallos y Bravo, 2017).

Con la finalidad de contrastar las hipótesis de esta investigación, se utilizó la prueba *t* de *student* para dos muestras emparejadas y se aplicó un nivel de significancia del 5% (o lo que corresponde al 95% de confianza para  $n-1$  grados de libertad), cuya finalidad es conocer cuál de las hipótesis plan-

teadas se cumple. Para realizar esta técnica se utilizó la opción de análisis de datos, obtenida de los complementos de Microsoft Excel. Asimismo, con el fin de analizar la ganancia de aprendizaje se realizó, por medio del cálculo del factor de Hake (Dellwo, 2010), las calificaciones en la entrada y salida de cada grupo de investigación. También se analizó la ganancia del cambio normalizado por medio del factor de Dellwo y se comparó con el obtenido en el factor de Hake (Álvarez, 2018).

## Resultados

Un primer análisis consiste en verificar si los datos siguen una distribución normal. A continuación se muestra la siguiente tabla:

Tabla 1. *Análisis estadístico descriptivo del grupo de control y experimental*

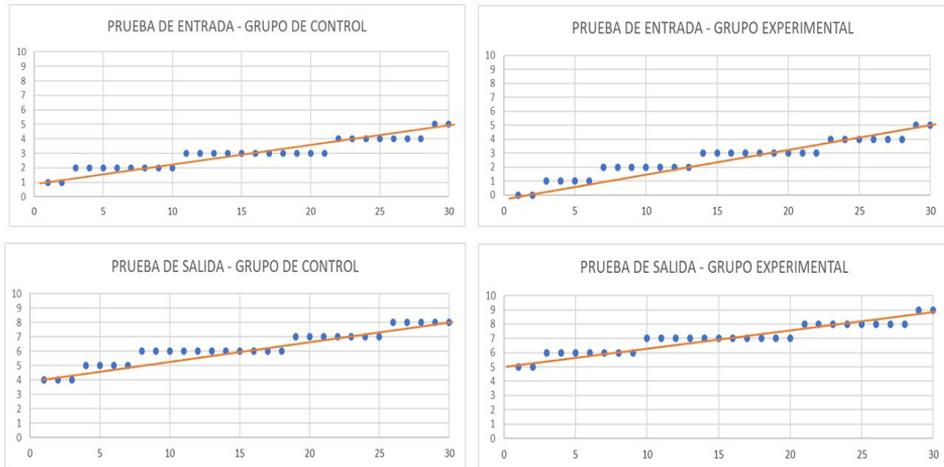
	Grupo de control		Grupo experimental	
	Prueba de entrada	Prueba de salida	Prueba de entrada	Prueba de salida
Media	3	6.24	2.72	7.03
Mediana	3	6	3	7
Moda	3	6	3	7
Desviación estándar	1.035098339	1.214647874	1.250615612	1.051623188
Varianza de la muestra	1.071428571	1.475369458	1.564039409	1.10591133
Curtosis	-0.343019943	-0.597369487	-0.42017961	-0.48844309
Coefficiente de asimetría	-6.81407E-17	-0.242357911	-0.140193423	-0.072712567
Rango	4	4	5	4
Mínimo	1	4	0	5
Máximo	5	8	5	9
Suma	87	181	79	204

En la tabla 1 se tiene un resumen estadístico de las calificaciones obtenidas en las pruebas realizadas. Un primer análisis consiste en verificar los valores de las medidas de tendencia central: cuando estos valores son iguales o aproximados significa que la distribución de las variables es simétrica. Podemos observar que los valores de tendencia central son iguales en la prueba de entrada del grupo de control, pero en las demás pruebas hay una ligera variación con respecto a la media, aunque no tan significativa como para descartar una distribución normal. Además, es necesario considerar

que la media es muy sensible a las variaciones de los puntajes y a los valores extremos.

Otra técnica para comprobar la distribución de los datos es la elaboración de gráficos de dispersión de datos o PP Plot, como a continuación se muestra:

Figura 1. Gráfico de dispersión de los datos de la prueba de entrada del grupo de control



Por medio de estas graficas se puede observar cómo los datos están muy próximos a la línea de tendencia. Una vez comprobada la distribución de los datos se procede con el análisis de datos por medio de la prueba *t* de student (véase tabla 2):

Tabla 2. Prueba *t* de student para las pruebas de entrada de los grupos de investigación

	Prueba de entrada		Prueba de salida	
	Grupo de control	Grupo experimental	Grupo de control	Grupo experimental
Media	2.97	2.63	6.23	7.03
Observaciones	30	30	30	30
Grados de libertad	29		29	
Estadístico <i>t</i>	1.169583057		-3.377844885	
P(T ≤ t) una cola	0.125846046		0.00104904	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.699127027		1.699127027	
P(T ≤ t) dos colas	0.251692092		0.002098081	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.045229642		2.045229642	

Al verificar los valores obtenidos en la tabla 2 se evidencia que no existe una diferencia significativa entre las medias de calificaciones con respecto a las pruebas de entrada. Este argumento es válido debido a que ambos grupos parten con conocimientos deficientes sobre el principio de Pascal, lo cual marca una homogeneidad en sus resultados. Otro dato para analizar es la variable “ $P(T \leq t)$  dos colas”, cuyo valor es de 0.251692092, es decir, un valor superior al nivel de significancia de 0.05, lo cual indica inicialmente que la hipótesis nula se tomaría como valedera. Aunado a ello, el valor del “estadístico  $t$ ” se encuentra dentro de la zona de aceptación de la hipótesis nula (1.169583057). Con estos resultados podemos verificar que no existe alguna ventaja con respecto a conocimientos previos para los estudiantes de ambos grupos.

En esta investigación fue necesario analizar los datos obtenidos en las pruebas de salida para verificar las hipótesis que se cumplen. Las hipótesis que fueron planteadas describen lo siguiente:

$\mu_1$ : Media del grupo experimental,

$\mu_2$ : Media del grupo de control,

$H_0$ :  $\mu_1 = \mu_2$ ,

$H_1$ :  $\mu_1 > \mu_2$ .

En la tabla 2 se evidencia que existen diferencias entre las medias de calificaciones, con respecto a las pruebas de salida, entre el grupo de control y el experimental. Al analizar la variable “ $P(T \leq t)$  dos colas”, cuyo valor es de 0.002098081 (lo cual es un valor inferior al nivel de significancia de 0.05), se indica el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Asimismo, el valor del “estadístico  $t$ ” se halla dentro de la alternativa y comprueba que el rendimiento es superior con la aplicación del modelo STEAM.

Para calcular la ganancia del aprendizaje de Hake para el grupo experimental, se detallan los valores de  $\theta_{pre}$  y  $\theta_{post}$ :

$$\theta_{pre} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en la prueba de entrada} \end{array} \right\}}{N * M} = \frac{79}{30 * 10} = 0.26$$

$$\theta_{post} = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron} \\ \text{correctamente en la prueba de salida} \end{array} \right\}}{N * M} = \frac{211}{30 * 10} = 0.70$$

$$h = \frac{\theta_{post} - \theta_{pre}}{1 - \theta_{pre}} = \frac{0.70 - 0.26}{1 - 0.70} = 0.59$$

Según los valores obtenidos en el cálculo del factor de Hake, en el grupo experimental se obtuvo una ganancia media de 0.59, pues en ambos grupos de investigación los valores se ubican en el rango  $0.3 < h \leq 0.7$ . Por lo tanto, observamos mayor ganancia en el grupo experimental.

Ahora bien, según el modelo de Dellwo se obtienen los siguientes valores:

$$G = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron correctamente} \\ \text{en la prueba de salida e incorrectamente en la prueba de entrada} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron incorrectamente} \\ \text{en la prueba de entrada} \end{array} \right\}} = \frac{152}{211} = 0.72$$

$$L = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron incorrectamente} \\ \text{en la prueba de salida y correctamente en la prueba de entrada} \end{array} \right\}}{\left\{ \begin{array}{l} \text{Número de preguntas que los estudiantes contestaron correctamente} \\ \text{en la prueba de entrada} \end{array} \right\}} = \frac{15}{79} = 0.19$$

$$\gamma = \frac{\theta_{pre}}{1 - \theta_{pre}} = \frac{0.26}{1 - 0.26} = 0.36$$

Para el grupo experimental el valor es de:

$$g = G - \gamma L = 0.72 - (0.36 * 0.19) = 0.65$$

La ganancia de aprendizaje según el modelo de Dellwo para el grupo experimental se ubica en “ganancia media”, o sea, un valor de 0.65 que se instala en el rango  $0.3 < g \leq 0.7$ . Por medio del análisis de Dellwo también podemos medir la efectividad del curso, para lo cual se compararon los valores de los componentes de cambio normalizado.

El curso A (grupo experimental) maneja los siguientes valores de cambio normalizado:

$$G_A = 0.72$$

$$\gamma_A L_A = 0.36 * 0.19 = 0.0684$$

El curso B (grupo de control) maneja los siguientes valores de cambio normalizado:

$$G_B = 0.57$$

$$\gamma_B L_B = 0.43 * 0.28 = 0.1204$$

Si comparamos con el siguiente criterio podemos definir lo siguiente:

$$A \text{ es más efectivo que } B \text{ si: } \begin{cases} G_A > G_B, \text{ y } \gamma_A L_A \leq \gamma_B L_B, \\ G_A \geq G_B, \text{ y } \gamma_A L_A < \gamma_B L_B. \end{cases}$$

Se cumple que  $G_A > G_B$ , y  $\gamma_A L_A \leq \gamma_B L_B = 0.72 > 0.57$  y  $0.0684 \leq 0.1204$ . Por lo tanto, el grupo experimental es más efectivo que el grupo de control.

## Conclusiones

De los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- El aprendizaje basado en proyectos es una metodología óptima para el desarrollo de proyectos de aula; con una correcta implementación se pueden obtener buenos resultados. Su aplicación promovió en los estudiantes el desarrollo de habilidades esenciales para su formación académica y profesional.
- El modelo STEAM fue considerado por los estudiantes como una metodología novedosa, la integración de todas las áreas permitió desarrollar conocimiento científico y este fue aplicado para el desarrollo de los prototipos. Se podría considerar que una fortaleza para el buen desarrollo de este modelo fueron los conocimientos que los estudiantes han adquirido en las otras asignaturas que componen la malla académica y que son el eje multidisciplinario del STEAM. Por ejemplo, el buen manejo de las normas de dibujo técnico les permitió desarrollar los planos del prototipo; los conocimientos sobre tecnología de los materiales les facilitaron la correcta elección del ma-

terial a utilizar, y los conocimientos sobre programación les ayudaron al desarrollo de la parte automática del prototipo.

- Tomar como tema de estudio el principio de Pascal causó asombro a los estudiantes, pues el estudio de la mecánica de fluidos se ha venido dando de manera teórica y con pocos componentes prácticos. Se pudo verificar que el conocimiento fue evolucionando, hasta el grado de que desarrollaron habilidades no sólo de pensamiento crítico, sino también de solución de problemas.
- Con respecto al análisis de hipótesis, en la tabla 2 se nos muestra que el valor del estadístico  $t$  es de  $-0.377844885$ , lo cual se encuentra fuera del intervalo de confianza  $-2.045229642$  y  $2.045229642$ , por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Adicionalmente, se puede verificar cómo el valor del  $p$  *value* es igual a  $0.002098081$ , es decir, menor al valor de  $0.05$ , lo cual indica el rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ). Con estos dos argumentos se puede validar que mediante la aplicación del modelo STEAM se produjo un mayor rendimiento académico en el grupo que lo aplico que en el que no.
- Para conocer la implementación de esta estrategia de aprendizaje, se utilizó el factor de Hake con un valor de  $0.59$  y se ubicó al grupo experimental en el rango de ganancia media. Al realizar un análisis más detallado de la ganancia mediante los componentes de cambio normalizado del Dellwo, se pudo verificar que el valor de ganancia es de  $0.65$ , lo cual se ubica también en el rango de ganancia media. Finalmente, con el cálculo del valor agregado de aprendizaje se puede evidenciar que el grupo experimental es más efectivo que el grupo de control.

## Referencias

- Álvarez, M. (2018). *Peer instruction as a methodology to address the alternative conceptions in Einstein's relativity* [Tesis de doctorado no publicada]. CICATA, IPN.
- Baidal, E. y López, M. (2019). Análisis del efecto de la aplicación de estrategias de aprendizaje activo para mejorar las habilidades STEAM. *Latin American Journal of Science Education*, 13(3), 3306. [http://www.lajpe.org/sep19/13\\_3\\_06.pdf](http://www.lajpe.org/sep19/13_3_06.pdf)
- Baidal, E., Álvarez, M. y Bravo, F. (2019). Análisis del efecto de la aplicación del modelo

- STEAM en una clase del Principio de Pascal. *Latin American Journal of Science Education*, 6(1), 12050. [http://www.lajse.org/may19/2019\\_12050.pdf](http://www.lajse.org/may19/2019_12050.pdf)
- Baidal, E., Cevallos, C. y Bravo, F. (2017). Análisis del efecto de la aplicación de la Metodología de la Evaluación Formativa en la enseñanza de la Primera Ley de la Termodinámica. *Latin American Journal of Science Education*, 6(1), 12058. [http://www.lajse.org/may19/2019\\_12058.pdf](http://www.lajse.org/may19/2019_12058.pdf)
- Dellwo, D. (2010). Course assessment using multi-stage pre/post testing and the components of normalized change. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 10(1), 55-67. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ882126.pdf>
- Secretaría de Educación Superior, C. T. (s/f). Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación [Sitio oficial]. Recuperado el 8 de marzo de 2020 de <https://www.educacionsuperior.gob.ec/objetivos/>



# Capítulo 6. Diseñar medición de la gran diagonal de un prisma: Fomento a la creatividad en la educación

JOSIP SLISKO<sup>1\*</sup>

ADRIÁN CORONA CRUZ<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Este capítulo describe la importancia del proceso de diseño en la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemática. Se destacan sus posibilidades para fomentar creatividad en los estudiantes al resolver problemas abiertos. El problema abierto usado en la investigación fue el acertijo de los “tres ladrillos” formulado por Talwalker: “¿Cómo puedes medir la diagonal de un ladrillo sin usar formula alguna, si tienes tres ladrillos y una regla?”. El acertijo se implementó con los alumnos de física en tres diferentes variantes. Los resultados demuestran que este tipo de actividad puede servir para conozcan las tareas sencillas en que se exige su pensamiento creativo. El desempeño de los estudiantes, sin embargo, no fue uniforme, iba desde los que no sabían cómo salir de las trampas del “pensamiento rápido” y crear un “prisma hueco”, hasta los que revelaron una creatividad sorprendentemente grande.

**Palabras clave:** *proceso de diseño en STEM, fomento de creatividad, aprendizaje basado en acertijos, acertijo “tres ladrillos”.*

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5805-4808>

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-074X>

## Introducción

Los objetivos, las prácticas y los resultados de la educación STEM (en adelante *E-STEM*) son temas actuales, tanto en las discusiones internacionales sobre la *E-STEM* integrada (Anderson y Li, 2020) como en la investigación educativa (Johnson *et al.*, 2020). Se perfila claramente que tal educación debe estar centrada en los estudiantes, a quienes debe ayudar a adquirir y mejorar sus habilidades de resolución de problemas, comunicación, pensamiento creativo y crítico, trabajo eficiente en equipo y aprendizaje auto-dirigido (Felder y Brent, 2016). A manera de aclaración sobre el significado esencial de la educación *E-STEM*, Beybee dijo lo siguiente: “Para la mayoría, significa solo ciencia y matemáticas, a pesar de que los productos de la tecnología y la ingeniería han influido enormemente en la vida cotidiana. Una verdadera educación STEM debería aumentar la comprensión de los estudiantes sobre cómo funcionan las cosas y mejorar el uso de las tecnologías. La educación STEM también debería introducir más ingeniería durante la educación preuniversitaria. La ingeniería está directamente involucrada en la resolución de problemas y la innovación, dos temas con altas prioridades en la agenda de cada nación. Dada su importancia económica para la sociedad, los estudiantes deben aprender sobre ingeniería y desarrollar algunas de las habilidades y destrezas asociadas con el *proceso de diseño*” (Beybee, 2010).

White (2014) también destaca la importancia de promover el “proceso de diseño” en la *E-STEM* (actividades basadas en abiertos problemas de diseño). Tal enfoque es la idea principal de un nuevo tipo de aprendizaje basado en proyectos (ABP), muy característico para la *E-STEM*: STEM ABP (Capraro, Capraro y Morgan, 2013). Se trata de tareas abiertas (*ill-defined tasks*) con resultados bien definidos contextos que exigen que los estudiantes resuelvan varios problemas, los cuales, tomados en su totalidad, demuestran que dominan diferentes conceptos de varios elementos de STEM. Aparte de eso, aprender en los proyectos que incluyen algún aspecto del proceso de diseño fomenta las habilidades creativas de los estudiantes (Doppelt, 2009; Bozkurt Altan y Tan, 2021; Chen y Chen, 2021) y les aclara las ideas sobre cómo se obtiene el conocimiento científico: desde idear y llevar a cabo los experimentos, hasta analizar, entender y presentar sus resultados (Harland, 2011).

Últimamente, la E-STEM se extiende hacia los estudiantes jóvenes en los entornos informales. En su libro sobre 25 posibles proyectos en los “laboratorios” caseros STEM, Challoner (2019) subraya cuatro procesos que se deben propiciar: construir, inventar, crear y descubrir. Lamentablemente, tales procesos no se mencionan ni practican en la enseñanza tradicional de la física, que esconde a los estudiantes cómo funcionan esta y otras ciencias.

Las mediciones experimentales, sean directas o indirectas, son esenciales en el desarrollo de física. Sirven para conocer las características cuantitativas que describen, de manera precisa, los sistemas y fenómenos físicos. En cada caso, se tiene que diseñar y construir un instrumento e inventar su uso experimental para crear la posibilidad de descubrir los secretos del mundo físico. La historia de la física es una colección impresionante de tales logros experimentales. Medir la presión atmosférica, la velocidad del sonido en el agua o la distancia entre la Tierra y la Luna son solamente unos ejemplos de la creatividad científica y tecnológica en su máxima expresión. En este capítulo describimos las tres actividades que posibilitan a los estudiantes las primeras exploraciones de sus potenciales creativos, al tratar de diseñar diferentes posibilidades de medición que a primera vista pueden parecer imposibles. Tales actividades de “diseñar medición” fueron inspiradas por un acertijo matemático que se presenta en seguida.

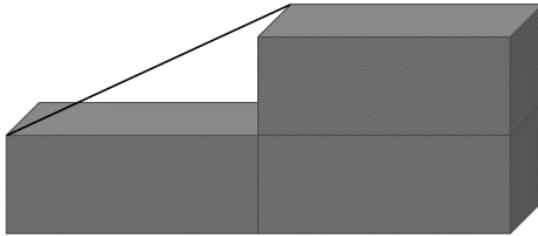
## El acertijo matemático de tres ladrillos

En su libro sobre acertijos matemáticos, Talwalker, un reconocido promotor de esas tareas mentales, presentó el problema de tres ladrillos: ¿Cómo puedes medir la diagonal de un ladrillo sin usar fórmula alguna, si tienes tres ladrillos y una regla? (Talwalker, 2015, p. 17). La respuesta dada por Talwalker fue la siguiente:

Existe una manera muy fácil de encontrar la diagonal. Pega dos ladrillos, uno encima del otro, y luego coloca el tercer ladrillo al lado del ladrillo inferior. Hay un “espacio vacío” donde se podría colocar un cuarto ladrillo. Aquí hay un diagrama para ilustrarlo [figura 1]: De esta manera, se puede obtener la longitud de la diagonal midiendo el espacio vacío con una regla. “¡No se requieren fórmulas de geometría o teorema de Pitágoras! (Talwalker, 2015, p. 18).

Este acertijo es muy desafiante para las personas que acuden al “pensamiento rápido” (Kahneman, 2011). Al enfrentarlo, llegan a la conclusión de que la medición es imposible o proponen soluciones donde se violan las restricciones (*¡solamente se dispone de tres ladrillos y una regla!*). Una “solución” encontrada con frecuencia consiste en cortar el ladrillo y así poder medir directamente la gran diagonal usando la regla.

Figura 1. El dibujo similar al diagrama ilustrativo de Talwalker



## La primera variante de la implementación del acertijo

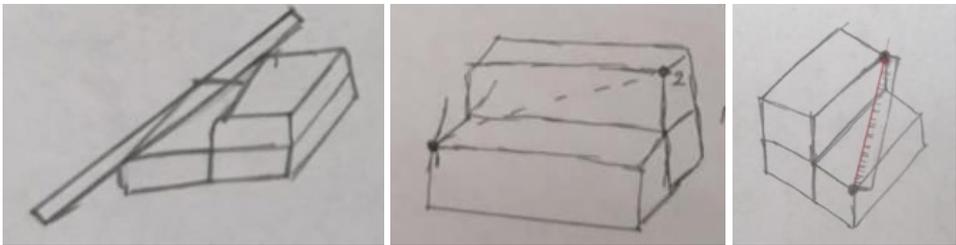
En la primera variante de la implementación del acertijo no se usaba al pie de la letra la descripción verbal de Talwalker. La tarea se introdujo de manera concreta: a los estudiantes se les presentaron, en la mesa del salón de clase, tres prismas de madera maciza y una regla de aluminio (véase figura 2).

Figura 2. La presentación concreta de los artefactos que sustituyen los ladrillos mencionados en el acertijo de Talwalker



Se les anunció a los alumnos que su tarea creativa radicaba en diseñar la medición de la gran diagonal de tales prismas. El diseño se debía verbalizar y visualizar por medio de un dibujo, al cual se le debía tomar una foto que luego se publicaría en el muro del grupo secreto y cerrado de Facebook que se usaba en el curso. El tiempo disponible era de 20 minutos. El acertijo no resultó sencillo para los estudiantes. Solamente tres de 34 estudiantes fueron capaces de proponer un dibujo de la configuración de los prismas que permitió realizar la medición requerida. Sus dibujos pueden observarse en la figura 3.

Figura 3. Los tres dibujos estudiantiles de la configuración correcta de los prismas



En el comentario experto del docente se describieron dos elementos básicos: 1) el obstáculo mental que está de tras del acertijo (no se puede medir directamente la distancia entre dos vértices de un prisma sólido); y 2) el camino creativo hacia la solución es crear un “prisma imaginario” en que la medición de la gran diagonal es posible. En el final del comentario se demostró, usando tres prismas y la regla, que los diseños de los tres estudiantes eran correctos (véase figura 4).

Figura 4. La demostración de que los diseños de los tres estudiantes eran correctos



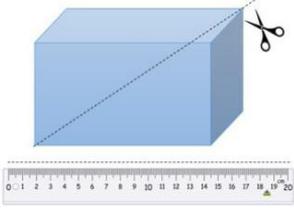
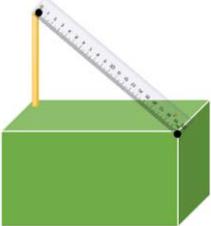
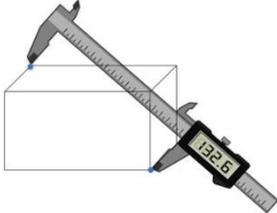
## La segunda variante de la implementación del acertijo

En la segunda variante de la implementación se quiso explorar la creatividad de los estudiantes con un problema de diseño abierto que los liberara de las restricciones impuestas en el acertijo (tres prismas y el uso de la regla). La tarea dada a los 17 estudiantes era: “haciendo uso de cualquier material (instrumento, prismas, etc.), debes proponer *tres métodos* para medir (no calcular) la gran diagonal de un prisma. *Debes excluir la propuesta de cortar el prisma.*”

La idea de solicitar las propuestas de tres métodos fue inspirada por las tareas con soluciones múltiples (*multiple-solution tasks*) que se usan a menudo en la educación matemática para desarrollar y evaluar la creatividad de los estudiantes (Levav-Waynberg y Leikin). Los estudiantes proporcionaron, en total, 56 propuestas: 14 estudiantes presentaron solamente tres propuestas solicitadas, dos estudiantes presentaron cuatro propuestas y un estudiante fue capaz de generar seis propuestas. Solamente siete estudiantes ilustraron sus propuestas con recursos visuales (dibujos o fotos). Como el complemento visual no fue solicitado explícitamente, este resultado muestra que su uso no es una actitud rutinaria para la mayoría de los estudiantes. Por eso es importante que los docentes soliciten, cuando sea posible, el empleo de recursos visuales para hacer más claros los argumentos verbales. Fue muy grato encontrar que hay estudiantes altamente creativos que ofrecieron tres diferentes diseños para medir la gran diagonal del prisma. En la tabla 1 se presenta un ejemplo de tal tipo de desempeño creativo de un mismo estudiante.

El segundo método, que agrega un palito de longitud adecuada, fue uno de los diseños más creativos, pues ningún otro estudiante lo propuso. Otros dos métodos se repetían, aunque con diferentes frecuencias. Por su parte, el tercer método se basó en la idea de usar un calibrador Vernier. Aunque su empleo permite realizar la medición directa de gran diagonal para los prismas de ciertos tamaños, tal posibilidad fue expresada por muy pocos estudiantes y con un nombre más coloquial (el pie de rey). Esto se debe, probablemente, al hecho de que tal instrumento no es de uso cotidiano. En tanto que el primer método contiene dos elementos que se deben destacar porque se repiten mucho en otras propuestas, tanto juntos como separados: “Hacer una réplica del prisma” y “perforar el prisma”: perforar el prisma de

Tabla 1. Tres diseños diferentes de un mismo estudiante de medición de gran diagonal

Descripción verbal del método	Visualización
<p><i>Método 1.</i></p> <p>Crear una réplica de plastilina y perforar de la esquina superior a la esquina inferior opuesta. Posteriormente introducir un hilo y cortar hasta donde el hilo atravesase todo el hoyo. Medir el hilo y obtendremos la distancia diagonal del prisma.</p>	
<p><i>Método 2.</i></p> <p>Medir la altura del prisma y poner un palito de la misma medida arriba de una de sus esquinas superiores. Medir la distancia de una esquina a la esquina contraria inferior.</p>	
<p><i>Método 3.</i></p> <p>Usando un Vernier de medición muy grande, sólo se necesitan poner el pie fijo y el pie móvil de esquina a esquina opuesta.</p>	

un vértice al otro, usando agujas para los prismas blandos o un taladro para los sólidos de madera, fue una idea bastante popular. Se puede considerar como un intento de seguir con el “pensamiento rápido”, que en algún sentido daba vuelta a la restricción de que no es permitido “cortar el prisma” (¡perforar no es cortar!). Es importante mencionar que varios estudiantes, a pesar de tal advertencia, proponían un método que implicaba, de una u otra manera, un prisma cortado.

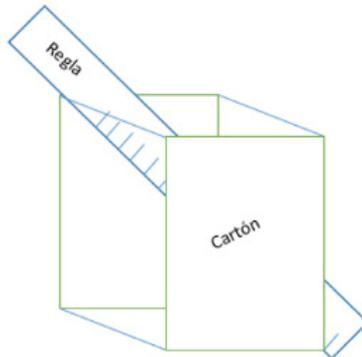
Otra idea popular fue basar el diseño de medición en crear un “prisma hueco”, con dimensiones adecuadas y usando palitos, popotes o cartón. Un ejemplo del último diseño es el siguiente:

Cubrir el prisma con cartón, de tal forma que quede una especie de caja con las mismas dimensiones, sólo que sin fondo ni tapa. Luego usar un hilo para

unir los vértices opuestos y finalmente medir el hilo. Si es un prisma de tamaño considerable, por dar un ejemplo, de  $20\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ , podría hacerse también con el cartón pero podríamos cortar alguna parte de una de las aristas de los vértices opuestos y colocar la regla directamente sobre la diagonal que se quiere medir.

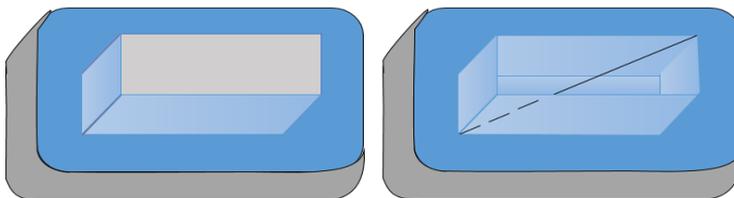
El diseño fue visualizado con un dibujo (véase figura 5).

Figura 5. El diseño de medición basado en un prisma hueco de cartón



La idea de crear un prisma hueco fue original por la manera extravagante de proponerlo: “colocar el prisma en un recipiente con agua de tal forma que el nivel del agua esté justo antes de sobrepasar el prisma. Luego meterlo al congelador para hacer un molde aproximado de hielo. Finalmente sacarlo del congelador y verter algo de agua caliente para que salga el prisma. Luego usar un hilo para aproximar la diagonal y medir ese hilo con la regla”. La idea fue ilustrada con dos dibujos (véase figura 6).

Figura 6. El “prisma hueco” hecho en un bloque de hielo

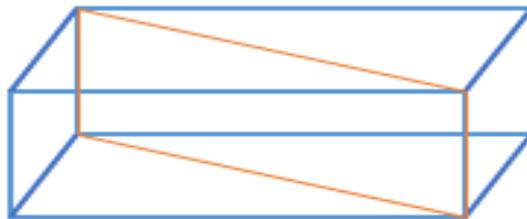


Aunque la manera de crear un prisma hueco no fue verbalmente expresada, ni tampoco ilustrada visualmente, merece ser mencionada:

Colocar el prisma en cualquier esquina de una habitación donde las paredes sean completamente planas y lisas. Se debe colocar la esquina del prisma en la esquina de las paredes y después de esto marcar la altura a la que ha llegado aquel; asimismo, se debe señalar la cara que esté en contacto con el suelo, para finalmente medir, con ayuda de una cinta métrica o cualquier material con el que se pueda, la altura marcada en la esquina de la pared y la contraesquina marcada en el suelo a fin de que podamos medir la diagonal del prisma rectangular.

Ya se dijo que el uso del “pensamiento rápido” sugiere que el camino más corto para medir la gran diagonal con una regla sería cortar el prisma para obtener dos prismas triangulares irregulares cuyas bases son triángulos rectángulos. La diagonal de la cara rectangular sobre la hipotenusa es la gran diagonal inaccesible para el prisma sólido y entero. Sin embargo, un estudiante encontró una manera muy original de recrear tal rectángulo: rodearía el prisma con un alambre como se muestra con la línea roja. De esta manera quedaría plasmado el contorno de la figura donde se encuentran los vértices opuestos y esa distancia sería la diagonal.

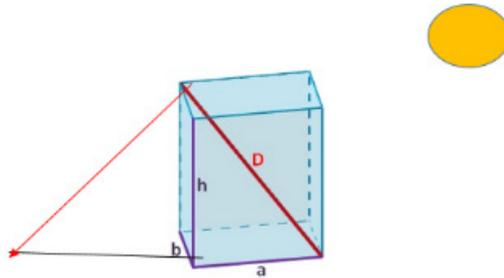
Figura 7. Usando alambre sería posible crear el rectángulo cuya diagonal se puede medir directamente con la regla



Probablemente, al recordar que Tales usaba el método de sombra para medir la altura de la gran pirámide de Guiza, varios estudiantes pensaban que el mismo método sería idóneo para diseñar la medida de la gran diagonal de un prisma. Sin embargo, ni a través de formulaciones verbales ni por medio de las complementadas con un dibujo se muestra la viabilidad

de tal diseño de medición: con ayuda de una lámpara se puede proyectar su sombra en una hoja y calcar dicha sombra. Después, con ayuda de una regla, se mediría de extremo a extremo para saber la longitud de la diagonal. Luego se colocaría el prisma en una de sus aristas y se proyectaría una luz de forma perpendicular a este, de forma que se marque su sombra y, con la ayuda de otra persona, se pueda medir la diagonal. Podríamos poner el prisma a contraluz para que proyecte una sombra, después medir desde la punta derecha de la sombra hasta la punta superior izquierda del rectángulo y así habremos obtenido  $D$  (véase la figura 8).

Figura 8. Dibujo de un diseño de medir la gran diagonal basado en el método de sombra



### La tercera variante de la implementación del acertijo

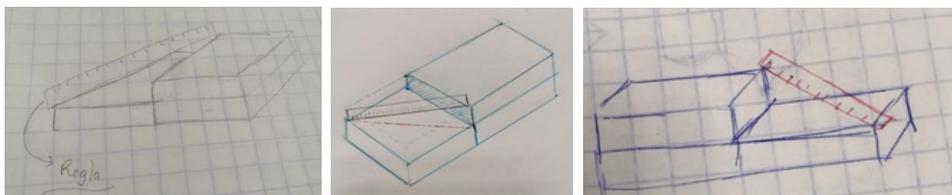
La tercera variante de la implementación de acertijo fue la más estructurada y presentaba nuevos elementos. El inicio fue tal como lo planteaba Talwalker, solamente en lugar de tres ladrillos se usaban tres cajas de cereales (véase figura 9). La razón de usarlas se aclarará pronto.

Figura 9. Las tres cajas de cereales y una regla de plástico usadas en la implementación



La tarea inicial de manera individual fue la siguiente: “Diseña un método de medir la gran diagonal de la caja de cereales disponiendo solamente de tres cajas de cereales y una regla de plástico”. De los 29 estudiantes, sólo 10 (34%) tenían una idea clara sobre el diseño de la configuración de las cajas que permite medir la gran diagonal con una regla. Después se hicieron nueve equipos de estudiantes (siete equipos de tres y dos equipos de cuatro integrantes) para discutir las propuestas personales y llegar a una propuesta grupal. El resultado fue que todos los equipos lograron proponer un diseño de la configuración de las cajas idónea para la medición requerida. Los tres dibujos representativos de los equipos se presentan en la figura 10.

Figura 10. Los tres dibujos representativos generados en los equipos para la configuración idónea de las cajas



La siguiente fase de la tercera implementación fue otra vez personal, pero ahora la tarea era más exigente: diseñar un método para medir la gran diagonal de la caja de cereal con la regla, pero disponiendo únicamente de una caja y ya no de tres. Además, esta fase se llevó a cabo como una competencia en la que los tres primeros en presentar un diseño aceptable iban a recibir como premios las tres cajas de cereales empleadas en la implementación (artefactos para hacer física que se pueden comer).

De las ideas viables la más exitosa fue usar la mesa rectangular del salón de clase como un artefacto auxiliar. Dicha idea la presentaron dos de los tres ganadores. El diseño exitoso consistió en tres pasos: 1) se coloca la caja del cereal en la esquina de la mesa, de tal manera que las dos aristas de la base de la caja coincidan con las dos aristas de la mesa. Se marca en la arista de la mesa la posición del vértice de la base más alejada de la esquina de la mesa; 2) se mueve la base de la caja a lo largo de la arista de la mesa hasta que el vértice, antes coincidente con la esquina, se encuentre en la

marca; y 3) se mide con la regla la gran diagonal de la “caja imaginaria” que dejó la esta después de su movimiento (véase figura 11).

Figura 11. Uno de los tres estudiantes ganadores demuestra que su diseño de medición fue exitoso



## Conclusiones

Los resultados obtenidos en las diferentes implementaciones a la hora de diseñar la medición de la gran diagonal de un prisma, tanto con la regla como en formato libre sin restricciones, demuestran que tal tipo de actividad sencilla puede servir para que los estudiantes conozcan las tareas simples en que se exige su pensamiento creativo. El desempeño de los estudiantes no es uniforme y varía desde los que no sabían cómo salir de las trampas del “pensamiento rápido” y crear un “prisma hueco”, hasta los que revelaron una creatividad sorprendentemente rica. Es deseable que los primeros se enfrenten a las tareas de diseño con mayor frecuencia, especialmente si después de los intentos personales sigue el trabajo grupal en que se comparan, discuten y mejoran las propuestas individuales. Sin embargo, las tareas de diseño no deben ser solamente relacionadas con las mediciones, los estudiantes demuestran, por ejemplo, una gran creatividad a la hora de diseñar y realizar diferentes demostraciones de ingravidez en caída libre (Alaya, Sliško y Corona, 2011; Sliško, 2017).

## Referencias

- Anderson, J. y Li, Y. (2020). *Integrated approaches to STEM education: An international perspective*. Springer.
- Ayala, H., Sliško, J. y Corona, A. (2011). Magnetic demonstration of weightlessness: A spark of student creativity. *The Physics Teacher*, 49(8), 524-525. <https://doi.org/10.1119/1.3651745>
- Bozkurt Altan, E. y Tan, S. (2021). Concepts of creativity in design-based learning in STEM education. *International Journal of Technology and Design Education*, 31, 503-529. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09569-y>
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996. <https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Capraro, R. M., Capraro, M. M. y Morgan, J. R. (Eds.) (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Sense.
- Challoner, J. (2019). *STEM lab. 25 super-cool projects*. DK.
- Chen, K. y Chen, C. (2021). Effects of STEM Inquiry Method on Learning Attitude and Creativity. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(11), em2031. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11254>
- Doppelt, Y. (2009). Assessing creative thinking in design-based learning. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(1), 55-65. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9008-y>
- Felder, R. M y Brent, R. (2016). *Teaching and learning STEM: A practical guide*. Jossey-Bass.
- Harland, D. J. (2011). *STEM. Student Research Handbook*. NSTA.
- Johnson, C. C., Mohr-Schroeder, M. J., Moore, T. J. y English, L. D. (Eds.). (2020). *Handbook of research on STEM education*. Routledge.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. McMillan.
- Levav-Waynberg, A. y Leikin, R. (2012). The role of multiple solution tasks in developing knowledge and creativity in geometry. *The Journal of Mathematical Behavior*, 31(1), 73-90. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2011.11.001>
- Sliško, J. (2017). Active physics learning: making possible students' cognitive growth, positive emotions and amazing creativity. *Scientia in Education*, 8, 79-100. <https://doi.org/10.14712/18047106.733>
- Talwalker, P. (2015). *Math puzzles, 1: Classic riddles and brain teasers in counting, geometry, probability, and game theory*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- White, D. W. (2014). What is STEM education and why is it important. *Florida Association of Teacher Educators Journal*, 1(14), 1-9. <http://www.fate1.org/journals/2014/white.pdf>



# Capítulo 7. Promoción de STEM a través de la física del sonido y las matemáticas de la música

MARCELO CAPLAN<sup>1</sup>

## Resumen

Este capítulo describe el desarrollo e implementación de un módulo educativo —física del sonido y las matemáticas de la música— diseñado por los miembros del programa “Los científicos para el mañana” del Departamento de Ciencias y Matemáticas del Columbia College Chicago. Después de ver y analizar las propuestas educativas de los sistemas formales en las grandes ciudades de los Estados Unidos, se puede identificar una población de ciudadanos que viven en situaciones de pobreza, cuyas escuelas (el sistema de educación formal) no les proporciona una educación STEM de calidad. Para tener acceso a esa población se desarrollaron módulos educativos en STEM que pueden ser implementados afuera del horario escolar en centros comunitarios. El tópico del módulo presentado en este capítulo —la física del sonido y las matemáticas de la música— fue elegido por los estudiantes, ya que cuando se les preguntó qué les gustaría hacer que sea de su interés, muchos respondieron con algo que tenga que ver con la música. Durante la implementación del módulo, los estudiantes desarrollaran habilidades y aptitudes tanto científicas como de ingeniería, ya que tuvieron que diseñar experimentos para poder construir tres instrumentos musicales: un mono-

---

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias y Matemáticas del Columbia College Chicago. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9493-1652>

cordio, una flauta de Pan, y un xilófono bien afinado. Este capítulo incluye algunos ejemplos de actividades.

**Palabras clave:** educación STEM, aprendizaje basado en proyectos, experimentos de bajo costo.

## Introducción

Siguiendo los lineamientos de SfT, se diseñó un módulo cuya meta es que los estudiantes, a través de la investigación de contenidos científicos y el diseño de ingeniería, puedan desarrollar prototipos de instrumentos musicales. A través del aprendizaje basado en proyectos (ABP), los alumnos desarrollaron su pregunta guía y, siguiendo el desarrollo del proyecto, descubrieron qué contenidos necesitan conocer para poder, efectivamente, desarrollar un prototipo de un instrumento musical que suene “a tono” con instrumentos usados en orquestas y bandas contemporáneas. Durante el módulo los estudiantes generaron tres prototipos de instrumentos basados en tres principios de generación de sonido: 1) cordófonos, que generan sonido a través de las vibraciones generadas por una cuerda; 2) aerófonos, que producen sonido por medio de la resonancia en una columna de aire; y 3) idiófonos, que hacen sonido mediante las vibraciones de un cuerpo sólido.

Durante el módulo los estudiantes debían construir un monocordio con la escala pitagórica, una flauta de pan o siku, y un xilófono. Todos los instrumentos debían una octava en la escala diatónica (do, re, mi, fa, sol, la, si, do).

## Implementación del módulo

Al comenzar la implementación del módulo, el instructor explora los conocimientos previos de los estudiantes, a través de una discusión, sobre lo que estos saben o piensan que tienen que saber para poder construir sus instrumentos. El producto de esta actividad es la generación de una lista de conceptos que los estudiantes piensan que tienen que saber para dicho fin. De la discusión emergen los conceptos que se explorarán y desarrollarán durante el proceso.

Después de ello, resulta una serie de tópicos emergentes en esta discusión: ¿qué es el sonido? ¿Cómo se genera el sonido? ¿Cómo puedo medir el

sonido? ¿Cómo puedo hacer para que una cuerda, una flauta o una tecla de un xilófono produzcan distintos sonidos? ¿Qué sonidos suena bien y cuáles suenan mal? ¿Qué son las escalas musicales y de dónde vienen? Además de otras preguntas.

Usando la lista generada por los estudiantes, el instructor desarrolla una serie de actividades *hands-on* para que los estudiantes puedan explorar y descubrir los conceptos que necesitan para poder completar sus objetivos. Seguidamente se describirán algunas de las actividades de exploración y descubrimiento de la física del sonido.

### Actividad 1: cómo diferenciar distintos sonidos

Mediante un osciloscopio y un micrófono, los participantes hicieron un muestreo de su propia voz. Guiados por el instructor, observaron que el tamaño de la imagen variaba con respecto a la intensidad del sonido que produjeron. Asimismo, a través de un muestreo, los estudiantes aprendieron a medir la intensidad del sonido al observar la amplitud de la imagen presentada en la pantalla del osciloscopio. El voltaje registrado es una medición *indirecta* de la intensidad del sonido. Si el instructor no cuenta con el equipo necesario puede usar un osciloscopio virtual como el de esta página: <https://academo.org/demos/virtual-oscilloscope/>

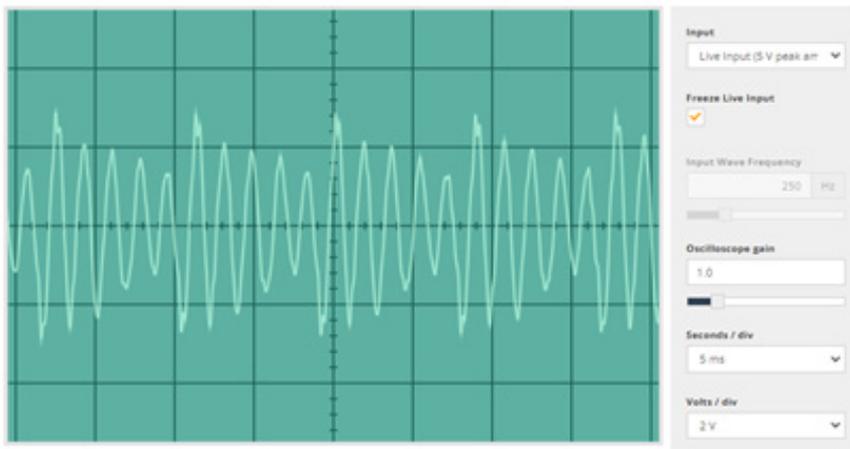
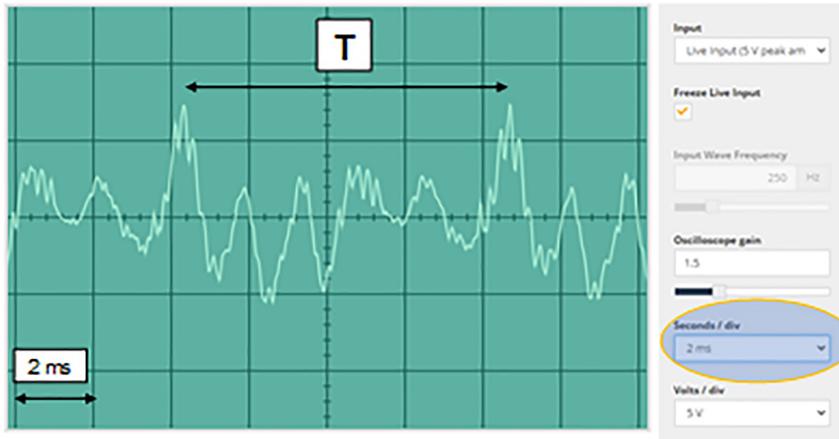


Figura 1. Pantalla del osciloscopio mostrando el patrón de un sonido



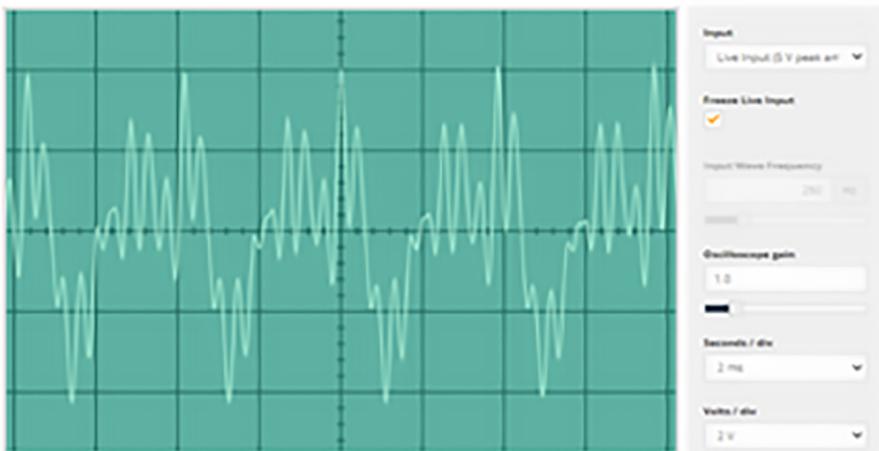
Tras esto, el instructor hizo un muestreo del sonido producido por un alumno, una vocal, por ejemplo: la letra *a*, después de lo cual preguntó a los alumnos qué es lo que más les llama la atención de la imagen mostrada en el osciloscopio y guio la discusión para que estos pudieran distinguir el patrón que se repite en la imagen. Repitiendo la actividad con otros estudiantes, se puede observar que todos los sonidos presentados tienen una imagen compuesta por un patrón que se repite. Entonces el instructor introdujo el sonido de un diapasón, que a su vez también produjo la imagen de un patrón que se repite. Cuando se explicó que el eje horizontal del osciloscopio representa el tiempo, los estudiantes exploraron cómo pueden, en forma cuantitativa, identificar dos sonidos distintos, pues bien, llegaron a la conclusión de que distintos sonidos tienen distintos patrones, además de que esos patrones toman distintos tiempos para completarse y volver a repetirse. En este momento los estudiantes definieron el concepto de *periodo*, que es inherente y particular de cada sonido, y se puede utilizar para cuantificarlos.

Dado que el tiempo en los periodos de los sonidos que usamos generalmente es del orden de los milisegundos (con números que no son de fácil empleo, por ejemplo, la nota *la* en la cuarta octava del piano tiene un periodo de 2.3 milisegundos), los estudiantes exploraron otra forma de cuantificar el

sonido. Esto lo hicieron contando cuántos patrones del sonido están contenidos en un segundo. De esa forma, los estudiantes exploraron el concepto de *frecuencia*, como la relación del número de eventos que se repiten en cierta unidad de tiempo. A través del uso del *segundo* como unidad de tiempo, los estudiantes fueron introducidos a la unidad de frecuencia de los ciclos/segundo —Hertz—, así como al significado de los sonidos que queremos medir y usar en los instrumentos musicales. Después de la actividad los estudiantes pudieron explicar los conceptos de *intensidad* y *frecuencia* como características cuantitativas del sonido y las pudieron utilizar en las siguientes actividades.

## Actividad 2: por qué distintos instrumentos pueden producir la misma frecuencia, con la misma intensidad y, sin embargo, suenan distintos

En esta actividad el instructor presentó sonidos de distintos instrumentos musicales, pero todos ejecutando la misma nota y con la misma intensidad, tras lo cual les solicitó a los estudiantes que trataran de identificar qué instrumento era. Sin problema, los estudiantes pudieron distinguir entre un diapasón, una guitarra y una flauta. Tras ello usaron el osciloscopio y se dieron cuenta que las imágenes mostraban la misma frecuencia, pero de distintas formas.



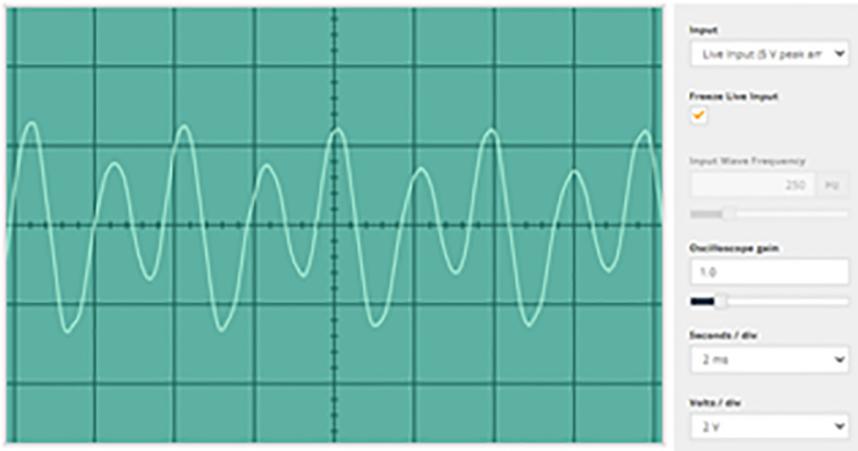


Figura 3. Pantalla del osciloscopio mostrando el patrón generado por una flauta (izquierda) y el patrón generado por un violín (derecha)

Esto produjo la siguiente pregunta: ¿qué tienen de diferente los sonidos que, al ser generados producen la misma frecuencia, pero a nuestros oídos suenan diferente? Para responder dicho cuestionamiento, el instructor presentó otro instrumento de medición: el analizador de espectro, el cual es un instrumento que permite visualizar los componentes (armónicos) de una señal. En el eje horizontal muestra la frecuencia y en el eje vertical la intensidad. El instrumento utilizado se llama VA (Visual Analyzer) y puede usarse sin costo (<https://www.sillanumsoft.org/>).

Seguidamente se pueden ver las pantallas del analizador de espectro de la flauta y el violín tocando la misma nota C<sub>4</sub>–261 Hertz

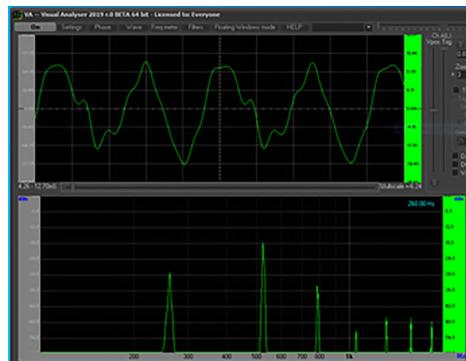
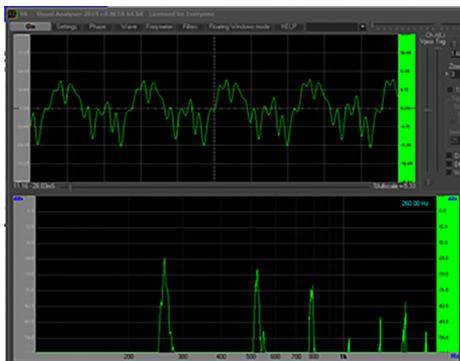


Figura 4. Pantalla del osciloscopio y analizador de espectro muestran el patrón generado por una flauta (izquierda) y el patrón generado por un violín (derecha)

La parte superior muestra la pantalla del osciloscopio mientras que la parte inferior muestra la pantalla del analizador de espectro. De las imágenes presentadas es posible entender que un sonido no es sólo una onda sonora, sino que está compuesto por múltiples ondas que interactúan en nuestro sistema auditivo. Cada sonido (y sus componentes armónicos) hace que el tímpano vibre de acuerdo con las intensidades de dichos componentes al mismo tiempo. Este fenómeno es llamado interferencia. Podemos observar que, si bien los componentes armónicos de los dos sonidos tienen las mismas frecuencias, se puede distinguir las distintas intensidades. La frecuencia que podemos medir con el osciloscopio recibe el nombre de *frecuencia fundamental* y el resto *armónicos*. Depende la física del instrumento en cuestión la relación entre las frecuencias de los armónicos que el instrumento genera. Este es otro tópico de investigación que el instructor/los estudiantes se pueden embarcar.

### Actividad 3: exploración del cordófono

Como introducción a la actividad, el instructor mostró distintos instrumentos de cuerdas (desde un contrabajo a un violín) y el registro de sonidos de los instrumentos. Siguiendo la discusión pudieron llegar a la conclusión de que el registro del instrumento depende del tamaño. El contrabajo tiene cuerdas largas y produce sonidos de baja frecuencia, mientras que el violín tiene cuerdas cortas y produce sonidos de más alta frecuencia. También pudieron observar que las cuerdas de los instrumentos son distintas, tras lo cual se solicitó a los estudiantes que describieran lo que un músico, en general, hace *antes* de empezar a ejecutar una pieza musical con el instrumento y lo que hace *cuando* está ejecutando la pieza. En resumen, antes de ejecutar, el músico afina su instrumento, cambiándole la *tensión* de las cuerdas hasta que produzcan una frecuencia específica.

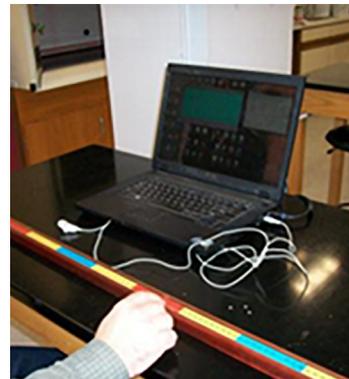
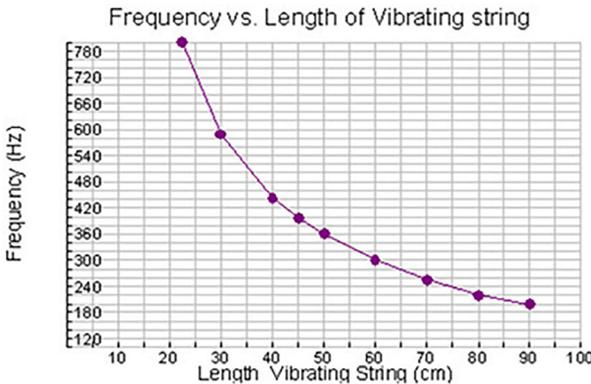
El material de las cuerdas (definido como *densidad*) permanece constante *antes* y *durante* la ejecución de la pieza musical. Durante la ejecución de la pieza musical el músico cambia la *longitud* de la cuerda para producir distintos sonidos. La discusión llevó a plantear la siguiente pregunta de

investigación que requirió el diseño de un experimento para poder contestarla: ¿cuál es la relación entre la longitud de la cuerda y la frecuencia que esta produce cuando la tensión y la densidad de la cuerda permanecen constantes? Los estudiantes pudieron definir entonces cuál era la variable independiente del experimento —longitud—, la variable dependiente del experimento —frecuencia— y los parámetros del experimento —tensión y densidad—. Seguidamente, propusieron sus hipótesis y diseñaron su experimento usando las herramientas que había utilizado anteriormente.

Para la implementación del experimento se usó un listón de madera de un metro aproximadamente, lo suficientemente duro para que no se arquee por la tensión de la cuerda (como cuerda se puede usar un hilo de plástico, por ejemplo, un hilo de pescar). Por tal razón debía soportar una tensión de más de 20 kg para que se pudiera colocar sobre el listón e incrementara la tensión hasta que produjera la frecuencia deseada. Enseguida, se cambió la longitud de la cuerda colocando un objeto similar a un “traste de guitarra” a cierta distancia del origen de la cuerda, se le aplicó energía a la cuerda y se midió la frecuencia que esta produjo.

Figura 5. Implementación del experimento con el cordófono

Longitud (cm)	Frecuencia (Hz)	$f \times L$
90	200	18 000
80	219	17 520
70	255	17 850
60	300	18 000
50	360	18 000
45	396	17 820



40	443	17 720
30	588	17 640
22.5	799	17 978

Del gráfico obtenido se puede observar que la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de la cuerda, como lo demuestra la tercera columna de la tabla, donde la frecuencia multiplicada por la longitud produce un valor constante, lo que permite inferir el siguiente modelo matemático:

$$f_0 \cdot L_0 = f_1 \cdot L_1 = f_2 \cdot L_2 = \dots = f_n \cdot L_n$$

De ahí que

$$L_n = \frac{f_0 \cdot L_0}{f_n}$$

En otras palabras, si sabemos la longitud original de la cuerda y la frecuencia que esta produce (se puede establecer a través de la tensión), y la frecuencia que se quiere producir, podemos calcular la longitud de la cuerda para producir dicha frecuencia. Finalizada esta actividad, los estudiantes descubrieron, a través de la implementación de una investigación, la información necesaria para producir un instrumento musical basado en cuerdas, que produjo las frecuencias específicas. Esto los va a llevó a generar una nueva pregunta: ¿qué frecuencias quiero producir?

#### Actividad 4: exploración de las escalas musicales

Siguiendo la pregunta de la actividad 3 (¿qué frecuencias necesito generar?), el instructor introdujo la necesidad de que los músicos tocan ciertas frecuencias al mismo tiempo para que el sonido generado no fuera algo parecido a ruido, sino que resultara agradable. Es en este punto donde se tuvo que definir qué sonidos se se iban a usar en la producción de la música. Para sorpresa de muchos estudiantes la decisión de los sonidos que se utilizan en la música del mundo occidental tiene sus orígenes en un matemático: Pitágoras, el cual experimentó con cuerdas y llegó a la conclusión de que

teniendo dos cuerdas de la misma longitud, densidad y tensión (cuando se tocaban al mismo tiempo) daban un sonido “consonante”, dado que tienen la misma frecuencia y componentes armónicos  $f_1, f_2 = 2f_1, f_3 = 3f_1$ , etc., y el mismo fenómeno de consonancia se repetía cuando la longitud de una de las cuerdas se reducía a la mitad (véase tabla 1).

Tabla 1. Las frecuencias de los armónicos generadas por una cuerda de longitud  $L$  y una cuerda de longitud  $L/2$

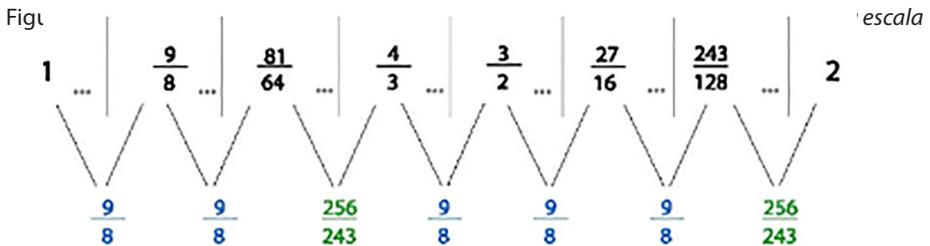
	Frecuencia fundamental	2º armónico	3º armónico	4º armónico	5º armónico	6º armónico
Cuerda #1 Longitud $L$	$f_1$	$2*f_1$	$3*f_1$	$4*f_1$	$5*f_1$	$6*f_1$
Cuerda #2 Longitud $L/2$	$f'_1 = 2*f_1$	$2*f'_1 = 4*f_1$	$3*f'_1 = 6*f_1$	$4*f'_1 = 8*f_1$	$5*f'_1 = 10*f_1$	$6*f'_1 = 12*f_1$

Esto llevó a definición de las dos primeras notas musicales y pudo determinar que el mismo fenómeno sucedía cuando cortábamos la cuerda otra vez por la mitad  $L/4$ . Esto generó el concepto de *intervalo* entre la longitud  $L$  y la longitud  $L/2$ , que es donde cierta longitud de la cuerda proporciona sonidos distintos. Si cambiamos la longitud más allá del intervalo estaremos repitiendo una nota que ya ha sido generada dentro de este. Tal es la razón por la que las notas musicales, si bien tienen frecuencias distintas, tienen el mismo nombre. Después de descubrir este hecho, la pregunta que nos hicimos fue cómo dividir el intervalo para generar  $n$  notas. Pitágoras encontró otra longitud de la cuerda interesante, la longitud  $2L/3$  que produce una frecuencia de  $3f_1/2$  (musicalmente llamada la quinta). En este caso no está en consonancia como cuando la cuerda tenía la longitud  $L/2$ , pero la mitad de los armónicos de la cuerda  $2L/3$  coinciden con los armónicos de la cuerda  $L$ , lo cual hace que suene distinto pero agradable.

A través de esta nueva longitud, Pitágoras halló otra nota que, ejecutándola con las dos anteriores, suena agradable. Todavía no se ha dado respuesta a la pregunta: ¿cuántas notas musicales se incluyen en el intervalo? Y es aquí donde la decisión del número de siete notas musicales es arbitraria. Otras culturas han desarrollado el mismo concepto del intervalo, pero han incluido un número distinto de notas musicales, por ejemplo, en el lejano Oriente, en tiempos similares desarrollaron la escala pentatónica (de cinco notas). Pitágoras, por su parte, desarrolló una escala musical de siete notas

basada en su teoría de “la música de las esferas”, la cual seguía la creencia de que los cuerpos celestes que se movían alrededor de la Tierra (en ese tiempo se creía que la Tierra era el centro del universo) producían sonidos que hacían que el universo estuviera en armonía.

De tal suerte, la escala pitagórica está compuesta por siete notas distintas que hoy llamamos do, re, mi, fa, sol, la, si, además de la nota que nos muestra que llegamos al intervalo, la cual recibe el mismo nombre que la primera nota, es decir, do. A continuación se presentan las relaciones para generar las siete diferentes notas musicales en la escala pitagórica.



Do	Longitud de la cuerda L	
Re	$\frac{8}{9} L$	
Mi	$\frac{64}{81} L$	
Fa	$\frac{3}{4} L$	
Sol	$\frac{2}{3} L$	
La	$\frac{16}{27} L$	
Ti	$\frac{128}{243} L$	
Do	$\frac{1}{1} L$	

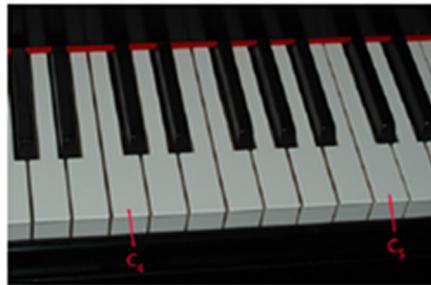
Usando las relaciones presentadas, los estudiantes construyeron un monocordio, cuya cuerda tenía una longitud L (depende de los materiales que tengan al alcance) y colocaron “trastes” en las longitudes calculadas. A continuación, pudieron medir las frecuencias de la cuerda producida con las distintas longitudes. Fue recomendable ajustar la tensión de la cuerda L (cuer-

da abierta) para que produjera la frecuencia de una nota conocida, por ejemplo el do 4 (también llamado C4), que produce una frecuencia de 261 Hertz.

Las escalas musicales han seguido progresando con la música y el diseño de instrumentos musicales. En el siglo XVII, con la intención de resolver problemas técnicos que no permitían el diseño de instrumentos estándar con muchas octavas, se inventó lo que hoy conocemos como la escala bien temperada, la cual provee la solución al problema de los instrumentos con muchas escalas, pues las frecuencias que produce no son idénticas a las de las escalas anteriores, aunque las diferencias sean mínimas, hasta despreciables, y el oído humano no las pueda diferenciar. Esta escala musical está basada en el siguiente modelo matemático:

$$f_n = f_0 \cdot 2^{n/12}$$

Donde  $n$  es el número del semitono y  $f_0$  es la frecuencia del semitono  $n = 0$ . La escala bien temperada dividió el intervalo en 12 semitonos. Las teclas blancas del piano representan las notas de la escala diatónica y, cuando se incluyen los cinco semitonos de las teclas negras, todas conforman la escala cromática, que es la que se usa en la cultura occidental actualmente.



	<b>DO#</b>		<b>RE#</b>			<b>FA#</b>		<b>SOL#</b>		<b>LA#</b>		
	Semi Tone #1		Semi Tone #3			Semi Tone #6		Semi Tone #8		Semi Tone #10		
DO	RE	MI	FA	SOL	LA	TI	DO					
Semitone #0	Semitone #2	Semitone #4	Semitone #5	Semitone #7	Semitone #9	Semitone #11	Semitone #12					

Con el entendimiento de la escala musical bien temperada, el instructor expuso que en los instrumentos modernos como la guitarra, que usa la escala bien temperada, la distancia entre los trastes *no* depende de la frecuencia de la cuerda abierta, y es por eso que a las guitarras se les puede cambiar las cuerdas (densidad), se les puede afinar (tensión) y se les puede tocar juntas sin ningún problema.

De la ecuación (1) vemos que la longitud de la nota  $n$  depende de la frecuencia de la cuerda abierta  $f_0$ , la longitud de la cuerda abierta  $L_0$  y la frecuencia que queremos producir  $f_n$ ; por su parte, en la ecuación (2) vemos que la frecuencia del semitono  $n$  depende de la frecuencia  $f_0$  y el número del semitono ( $n$ ):

$$L_n = \frac{f_0 \cdot L_0}{f_n} \quad (1)$$

$$f_n = f_0 \cdot 2^{n/12} \quad (2)$$

$$L_n = \frac{L_0}{2^{n/12}}$$

Esto permite explicar la razón por la cual todos los instrumentos de cuerdas se pueden ajustar para que suenen con las mismas frecuencias/notas sin importar su tamaño. La única información necesaria para el cálculo de los trastes en el instrumento de cuerdas es la longitud de la cuerda abierta  $L_0$ . Con el objetivo de diseñar un instrumento que produzca la escala diatónica, los alumnos siguieron el mapa presentado en la figura 9 y calcularon dónde poner los trastes para producir los semitonos 2, 4, 5, 7, 9, 11 y 12.

## Otros tipos de instrumentos

De forma similar, los estudiantes investigaron los principios físicos y encontraron las relaciones matemáticas entre longitud y frecuencia de otros dos tipos de instrumentos musicales: los aerófonos e idiófonos.

Para estudiar los aerófonos usamos un tubo cerrado en un extremo. Cuando se sopló en forma perpendicular a la apertura del tubo se generó “ruido blanco” —una combinación de todas las frecuencias con similar intensidad—, pero solamente algunas frecuencias resonaron. Las frecuencias que resuenan con el tubo de longitud  $L$  tendrán una longitud de onda

$$L = \frac{\lambda}{4}, \text{ o } L = \frac{\lambda \cdot 3}{4}, \text{ o } L = \frac{\lambda \cdot 5}{4}, \dots$$

Usando tubos de distintas longitudes los estudiantes midieron la frecuencia que los tubos de distintas longitudes producen. A partir de ello definieron la pregunta de investigación y las variables: variable independiente, la longitud  $L$  del tubo, variable dependiente, la frecuencia que produce al ser soplado y los parámetros del experimento, la temperatura y el diámetro del tubo. En forma similar a la cuerda, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud del tubo, por ello la longitud por la frecuencia proporciona un valor “constante” dentro del margen de error de las mediciones. De ahí obtenemos lo siguiente:

$$L = \frac{\lambda}{4}, \text{ y } \lambda = \frac{v}{f}; \text{ entonces } f = \frac{v}{4L}, L = \frac{\lambda}{4}, \text{ y } \lambda = \frac{v}{f}; \text{ entonces } f = \frac{v}{4L},$$

$$\text{de ahí } Ln = \frac{L_0 \cdot f_0}{f_n} \quad Ln = \frac{L_0 \cdot f_0}{f_n}$$

Donde  $L$  = longitud del tubo;  $\lambda$  es la longitud de onda, y  $v$  es la velocidad del sonido en el aire.

Similar con la cuerda, la longitud de un tubo  $L_n$  que produzca la frecuencia  $f_n$  será un idiófono. Para estudiar los principios físicos de los idiófonos usamos tubos de cobre, similares a los usados en el estudio de los aerófonos de distintas longitudes. Para producir el sonido se golpeó el sólido en el centro  $L/2$  y se apoyó en los nodos (nodo: parte del tubo que no vibra cuando se le da energía). Dada la simetría del tubo, los nodos se encuentran en la *distancia*  $L/4$  de los extremos.

Mediante tubos de distintas longitudes, los estudiantes midieron las diferentes frecuencias que estos producen. Luego definieron la pregunta de investigación y las variables: variable independiente, la longitud  $L$  del tubo, variable dependiente, la frecuencia que produce al ser golpeado. Asimismo, se midieron los parámetros del experimento, la temperatura y el diámetro del tubo.

$$f_0 \cdot L_0^2 = f_n \cdot L_n^2 \quad f_0 \cdot L_0^2 = f_n \cdot L_n^2,$$

$$L_n^2 = \frac{f_0 \cdot L_0^2}{f_n} \quad L_n^2 = \frac{f_0 \cdot L_0^2}{f_n} \quad (3)$$

$$f_n = f_0 \cdot 2^{n/12} \quad f_n = f_0 \cdot 2^{n/12} \quad (4)$$

$$\text{entonces } L_n = \frac{L_0}{\sqrt{2^{n/12}}} \quad L_n = \frac{L_0}{\sqrt{2^{n/12}}}$$

Con base en la relación hallada en el experimento, los estudiantes pudieron calcular las longitudes de los tubos necesarios para la construcción del xilófono.

## Conclusiones

Después de haber implementado con jóvenes desde cuarto grado hasta universitarios el módulo la física del sonido y las matemáticas de la música, es sorprendente el nivel de interés y “enganche” que los estudiantes han mostrado cuando están desarrollando el módulo y cuando pueden construir sus propios instrumentos musicales. ¡Muchos no pueden creer que sus diseños suenan a la par de instrumentos comprados en casas de música!

Por otro lado, la evaluación externa del proyecto ha mostrado dos cosas muy importantes: 1) una ganancia significativa en el entendimiento de los contenidos presentados y 2) una ganancia significativa con respecto a la actitud de los participantes en relación con los contenidos STEM, en general, y con la ciencia y las matemáticas, en particular (Caplan, 2017). Se pudo observar un fenómeno similar con los instructores que participaron como facilitadores en la implementación de este módulo. Muchos profesores es-

taban amedrentados ante la necesidad de desarrollar nuevas habilidades, tanto de contenidos como en técnicas. Fue interesante advertir que, después de la capacitación, los facilitadores no sólo dominaban los contenidos, sino su actitud con respecto a la educación STEM cambió en forma positiva (Caplan, 2020). Para finalizar, es hora de promover soluciones transformadoras y no parches sinsentido. La brecha de conocimientos/habilidades del contenido entre los jóvenes privilegiados y no privilegiados es significativa y está creciendo continuamente. Sería irresponsable de nuestra parte no buscar formas de brindar educación STEM de alta calidad para *todos*.

## Referencias

- Caplan, M. (24 de junio de 2017). *Scientists for tomorrow: A self-sustained initiative to promote STEM in out-of-school time frameworks in under-served community-based organizations: Evaluation and lessons learned*. Conferencia presentada en la 2017 ASEE Annual Conference & Exposition, Columbus, Ohio. <https://doi.org/10.18260/1-2--28812>
- Caplan, M. (junio de 2020). *WIP: Building capacity to promote STEAM in communities: The impact of professional development for teachers, instructors, and staff members*. Conferencia presentada en la 2020 ASEE Virtual Annual Conference Content Access. <https://doi.org/10.18260/1-2--35525>
- Committee on STEM Education National Science and Technology Council. (2013). *Federal science, technology, engineering, and mathematics 5-years strategic plan*. Casa Blanca. [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem\\_stratplan\\_2013.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem_stratplan_2013.pdf)
- Duncan, G. J. y Murnane, R. J. (2016). Rising inequality in family incomes and children's educational outcomes. *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, 2(2), 142-158. <https://doi.org/10.7758/rsf.2016.2.2.06>
- Duncan, G. J. y Murnane, R. J. (2014). Growing income inequality threatens American education. *PhiDeltaKappan*, 95(6), 8-14. <https://doi.org/10.1177/003172171409500603>
- Ejiwale, J. (2013). Barriers to successful implementation of STEM education. *Journal of Education and Learning*, 7(2) pp. 63-74. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v7i2.220>
- Ganimian, A. J. y Murnane, R. J. (2016). Improving education in developing countries: Lessons from rigorous impact evaluations. *Review of Educational Research*, 86(3), 719-755. <https://doi.org/10.3102/0034654315627499>
- Grossman, J. B., Lind, C., Hayes, C., McMaken, J. y Gersick, A. (2009). *The cost of quality out-of-school-time programs*. Public/Private Ventures.
- Kraft, M. A., Blazar, D. y Hogan, D. (2018). The effect of teacher coaching on instruction

- and achievement: A meta-analysis of the causal evidence. *Review of Educational Research*, 88(4), 547-588. <https://doi.org/10.3102/0034654318759268>
- Mulvaney Hoyer, K. y Sparks, D. (2017). *Instructional time for third- and eighth-graders in public and private schools: School year 2011-12*. Institute of Education Sciences. <https://nces.ed.gov/pubs2017/2017076.pdf>
- National Science Board (NSB). (2010). *Preparing the next generation of STEM innovators: Identifying and developing our nation's human capital*. National Science Foundation. <https://www.nsf.gov/nsb/publications/2010/nsb1033.pdf>
- Perez de Arce, J. (2013) Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: Una revisión y aplicación desde la perspectiva americana. *Revista Musical Chilena*, 67(219), 42-80.
- Sargent Jr., John F. (2017). *The U.S. Science and Engineering Workforce: Recent, Current, and Projected Employment, Wages, and Unemployment*. Congressional Research Service. <https://fas.org/sgp/crs/misc/R43061.pdf>
- President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST). (2010). *Prepare and inspire: K-12 education in science, technology, engineering, and math (STEM) education for America's future*. Casa Blanca. [https://nsf.gov/attachments/117803/public/2a--Prepare\\_and\\_Inspire--PCAST.pdf](https://nsf.gov/attachments/117803/public/2a--Prepare_and_Inspire--PCAST.pdf)
- STEM Ecosystems. (2019). *STEM Ecosystems*. <https://stemecosystems.org>
- Tomassini, M. (2014). El fundamento matemático de la escala musical y sus raíces pitagóricas. *Revista Ciencia y Tecnología*. <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2003.pdf>
- Traill, S., Traphagen, K. y Devaney, E. (2015). *Assessing the impacts of STEM learning ecosystems: Logic model template and recommendations for next steps*. Noyce Foundation. [http://stemecosystems.org/wp-content/uploads/2015/11/Assessing\\_Impact\\_Logic\\_Model\\_Template\\_STEM\\_Ecosystems\\_Final.pdf](http://stemecosystems.org/wp-content/uploads/2015/11/Assessing_Impact_Logic_Model_Template_STEM_Ecosystems_Final.pdf)
- US Department of Education. (7 de diciembre de 2010). *Secretary Arne Duncan's remarks at OECD's release of the Program for International Student Assessment (PISA) 2009 results*. <http://www.ed.gov/news/speeches/secretary-arne-duncans-remarks-oecd-release-program-international-student-assessment>
- Wright, B. L. (2013). *What do international tests really show about U.S. student performance*. Thomas B. Fordham Institute. <https://fordhaminstitute.org/ohio/commentary/what-do-international-tests-really-show-about-us-student-performance>



# Capítulo 8. Enfoque STEM para un modelo cinemático de la traslación del huracán Pamela

ALEJANDRO GONZÁLEZ Y HERNÁNDEZ<sup>1</sup>

JOSÉ ROBERTO ÁNGELES CAMACHO<sup>2</sup>

## Resumen

El presente capítulo tiene por objetivo proponer un enfoque STEM para la investigación cinemática del movimiento de los huracanes, los cuales pueden ser observados en tiempo real desde algunos sitios de internet especializados en el seguimiento de estos fenómenos naturales. Los propósitos de este estudio son educativos y dirigidos a estudiantes universitarios de Ciencias de la Tierra y carreras afines que estudien técnicas experimentales con base en la física para la modelación de fenómenos de la naturaleza de interés científico. La trayectoria del huracán Pamela, que azotó la costa oeste mexicana en el mes de octubre de 2021, se ha analizado con estudiantes a través de herramientas digitales de internet, así como por medio del análisis gráfico y numérico, para establecer ecuaciones matemáticas que modelan su movimiento.

**Palabras claves:** *fenómeno natural, huracán Pamela, movimiento, trayectoria, modelo cinemático.*

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6410-4472>

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7832-8319>

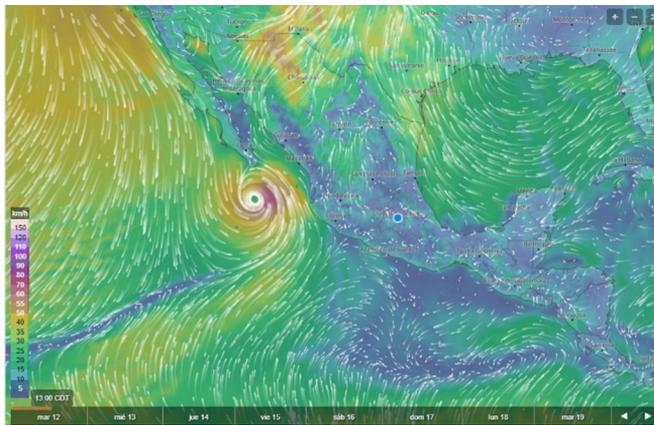
## Introducción

En la madrugada del martes 12 de octubre de 2021, la agencia de noticias EFE reportó que el ciclón Pamela se había convertido en huracán categoría 2 en la escala Saffir-Simpson y preveía que en las próximas horas se intensificaría a categoría 3 (EFE, 2021). En ese momento el huracán Pamela estaba a 365 kilómetros de las costas de Jalisco, México, y registraba vientos de hasta 150 km/h. Este fenómeno natural, que ocurría a la par de nuestras clases en línea del curso introductorio de Técnicas Experimentales para la carrera de Ciencias de la Tierras en la FC-UNAM, nos motivó a estudiar la cinemática del movimiento del huracán en su trayectoria del mar a tierra firme. Esta propuesta de estudio se hizo extensiva a los estudiantes, quienes en ese momento estudiaban experimentalmente la cinemática de movimientos de objetos medidos con sensores GPS al aire libre y analizaban en una hoja de cálculo (González y H., A, 2021). La propuesta fue aceptada por ellos, pues les pareció atractivo estudiar cinemáticamente un fenómeno que está relacionado con su carrera y que se manifestaba en el mismo momento en que se tocaba dicho tema en clase. Con tal fin se implementó el siguiente proyecto para una modelación sencilla de la cinemática del huracán Pamela.

## Proyecto STEM de la cinemática de un huracán

Para el desarrollo del proyecto “Modelo cinemático del huracán Pamela” se propuso un enfoque STEM en donde se involucrarían tanto las tecnologías digitales que ofrece el internet, tales como los sitios web para la recolección de datos del huracán en tiempo real, Google Earth para su seguimiento y calculadoras en línea para la conversión de coordenadas geográficas a UTM (Universal Transversal de Mercator); como disciplinas académicas indispensables del corte de la geografía, para la localización del huracán en su itinerario por mar y tierra firme con sus posibles efectos destructivos, o la física y las matemáticas como ciencias de estudio y modelación de la cinemática del fenómeno. Para la realización de este proyecto, se hizo en internet una búsqueda de sitios web que reportaran científicamente, y en tiempo real, el itinerario seguido por el huracán Pamela, desde su origen en el océa-

no hasta su disipación en tierra firme. Se localizaron diferentes sitios con los datos del huracán Pamela, como MeteoBlue Weather, el cual presenta un mapa de los fenómenos meteorológicos de todo el mundo con animación en tiempo real de las corrientes de vientos que dan lugar a tormentas tropicales y huracanes (MeteoBlue, 2007). En este sitio se puede observar cómo los vientos forman las tormentas tropicales que luego evolucionan a huracanes, con su formación en el océano y trayectorias que intersecan tierra firme, como el huracán Pamela.



En la figura 1, se muestra el sitio MeteoBlue con la fotografía del paso de Pamela de tormenta tropical a huracán. Los vientos que van en la dirección nordeste se enfrentaron a los vientos que van en dirección sudeste y crearon la rotación de vientos que alimentaron la formación de Pamela como huracán categoría 2 en la escala Saffir-Simpson, a 365 km de las costas de Jalisco, México, y vientos de 150 km por hora, como fue reportado el 12 de octubre por la agencia de noticias EFE. En el sitio MeteoBlue fue posible seguir en tiempo real la evolución del huracán Pamela hasta su disipación dentro de tierra firme, pues se siguió la trayectoria de su composición, el ojo del huracán (centro oscuro) y la banda nubosa que lo envuelve. Cabe decir que la dinámica de un huracán queda determinada por los mecanismos del medio circundante y los mecanismos de propagación propios. Por otra parte, la cinemática de los vientos alrededor de un huracán es comple-

ja, pues se compone de movimientos de traslación y rotación, sin embargo, la trayectoria del primer tipo de movimiento, representada por el ojo del huracán, se puede seguir localizando sus coordenadas geográficas de latitud y longitud conforme se mueve, por medio de satélites que lo siguen todo.

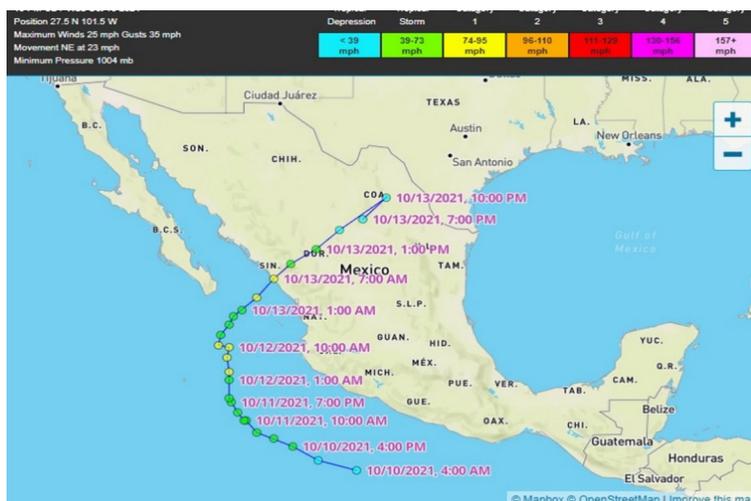
Weather Underground fue otro de los sitios que nos mostraron el itinerario de Pamela, desde su formación como tormenta tropical hasta su disipación en tierra firme como huracán (Weather Underground, 2021). En la figura 2, se muestra el seguimiento que hizo el sitio anterior de la trayectoria e itinerario seguidos por el huracán Pamela al aproximarse a la costa mexicana. Es de interés público determinar el punto de contacto del huracán con tierra firme para tomar las medidas de prevención previas a su llegada y a su paso posterior dentro de tierra firme. Por ello es necesaria la predicción de los modelos que explican este tipo de fenómenos naturales. La proyección, según el modelo matemático seguido por este sitio, pronostica con una línea azul la trayectoria que el huracán seguiría en los días subsecuentes, envuelta en una banda azul claro para considerar las posibles desviaciones que pudiera seguir el huracán en su movimiento dentro de tierra firme.



En la figura 3, se muestra la trayectoria completa y el itinerario del huracán Pamela, desde su formación hasta su disipación. Su camino, a partir

del 10 de octubre, sigue un rumbo inicial hacia el noroeste, para luego continuar hacia el norte y después de tener una ligera desviación hacia el oeste. Finalmente adquiere un trayecto nordeste casi rectilíneo (véase figura 3).

Figura 3. Trayectoria e itinerario del huracán Pamela desde su formación hasta su destrucción



Según el sitio Weather Underground (2021), el huracán Pamela entró a tierra el 13 de octubre a las 7 am y siguió su trayecto dentro de tierra firme en línea recta. Como se puede observar en la comparación de la figura 1 con la figura 2, la proyección hecha por el sitio en días anteriores fue precisa dentro del cono de incertidumbre dado en la segunda. El rumbo seguido finalmente por el huracán Pamela varió del predicho por el sitio Weather Underground por algunos grados respecto de la dirección este. Sin embargo, se puede considerar que la exactitud con la que se hizo fue satisfactoria.

En este sitio se daba una tabla con las coordenadas geográficas (latitud y longitud) del itinerario de Pamela (tabla 1, columnas, tiempo, latitud y longitud). Los datos se copiaron en una hoja de cálculo para su estudio. Ahora bien, con el objetivo de realizar el análisis cinemático del itinerario del huracán fue necesario convertir las coordenadas geográficas, de latitud y longitud en grados decimales, a coordenadas UTM en metros. Esta conversión de unidades fue hecha con el conversor de unidades, una calculadora en línea

que transforma las coordenadas latitud y longitud en grados decimales a coordenadas este y norte en metros (Convertor de coordenadas UTM, s/f).

### Coordenadas geográficas a coordenadas UTM

Las coordenadas geográficas de latitud y longitud fueron establecidas para el globo terráqueo en tres dimensiones, pero para su análisis cinemático en el plano es necesario proyectar estas coordenadas a coordenadas UTM (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator). Esto es, la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas UTM es una proyección matemática que va de la esfera al plano. Dicha traslación, de coordenadas latitud y longitud, en grados decimales, a coordenadas este y norte, en metros, permitió aplicar los modelos de la mecánica clásica para el análisis cinemático de los datos del huracán Pamela. Los datos en coordenadas geográficas de la trayectoria del huracán, junto con sus valores convertidos, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Estadística del itinerario del huracán Pamela en coordenadas geográficas (*Weather Underground*) y su conversión a coordenadas UTM (obtenidas con el convertor de coordenadas)

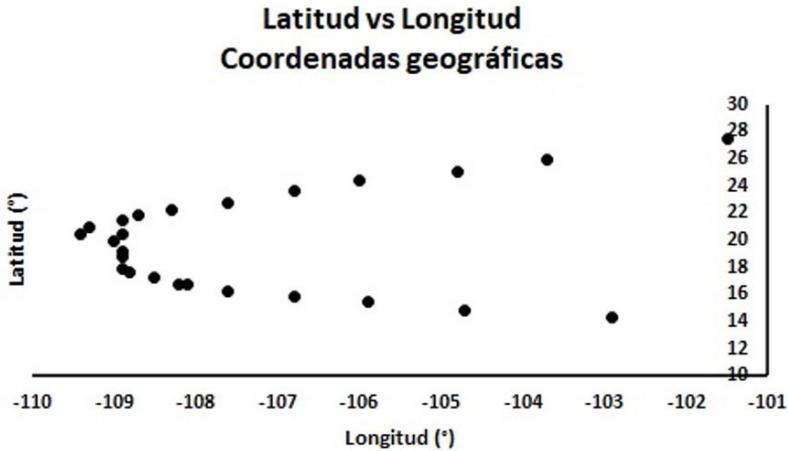
Nº	Hora (GMT)	Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM (sin corrección)		
		Lat	Lon	Este (m)	Norte (m)	Zona
1	09:00	14.3	-102.9	726 528	1 581 931	13P
2	15:00	14.8	-104.7	532 282	1 636 227	13Q
3	21:00	15.5	-105.9	403 468	1 713 832	13Q
4	03:00	15.9	-106.8	307 293	1 758 703	13Q
5	09:00	16.2	-107.6	222 019	1 792 819	13Q
6	15:00	16.8	-108.1	809 122	1 859 693	12Q
7	18:00	16.8	-108.2	798 455	1 859 539	12Q
8	21:00	17.2	-108.5	765 894	1 903 396	12Q
9	00:00	17.7	-108.8	733 335	1 958 358	12Q
10	03:00	17.9	-108.9	722 477	1 980 376	12Q
11	06:00	18.8	-108.9	721 327	2 080 006	12Q
12	09:00	19.2	-108.9	720 798	2 124 288	12Q
13	12:00	19.9	-109.0	709 375	2 201 660	12Q
14	15:00	20.4	-108.9	719 148	2 257 147	12Q
15	18:00	20.5	-109.4	666 850	2 267 629	12Q
16	21:00	21.0	-109.3	676 698	2 323 087	12Q
17	00:00	21.5	-108.9	717 551	2 378 947	12Q
18	03:00	21.9	-108.7	737 620	2 423 538	12Q
19	06:00	22.2	-108.3	778 378	2 457 444	12Q
20	09:00	22.8	-107.6	233 093	2 523 728	13Q

Las fórmulas para realizar esta transformación son de cierta complejidad, sin embargo, en internet hay calculadoras que permiten hacerlas con facilidad. Para comprender las coordenadas UTM este y norte en unidades de metros, hay que considerar lo siguiente: el plano se divide en 60 husos de seis grados de longitud cada uno; existen paralelos a los meridianos de la Tierra, empezando en el meridiano de 180° y en 20 bandas paralelas a los paralelos terrestres, con origen en el Ecuador; hay, además, 10 bandas de ocho grados para el hemisferio sur (C a M) y 10 bandas de ocho grados para el hemisferio norte (N a X) (R. Franco, 1999). Así, el planisferio queda dividido en zonas que se componen de husos y bandas, y que se refieren a ellos con un número y una letra, como se indica en las localizaciones UTM del huracán Pamela. La trayectoria de este ocupó cuatro zonas en el planisferio, 13P, 13Q, 12Q y 14R, como se ve en la tabla 1.

El huracán se originó en la zona 13P, siguió en su paso por la zona 13Q, luego por la 12Q, para regresar a la 13Q y finalmente disiparse en la zona 14R. La proyección de la esfera al plano en el planisferio con coordenadas UTM es una transformación no lineal, las zonas no son rectángulos propiamente y sus dimensiones van cambiando según avanzan hacia el norte o hacia el sur del Ecuador (Franco, 1999). Por ello, al graficar coordenadas UTM, hay que tener cuidado de tomar en cuenta las zonas en que se encuentren estas coordenadas. En este sistema UTM las coordenadas se designan como coordenadas este y norte para el hemisferio norte, y este y sur para el hemisferio sur.

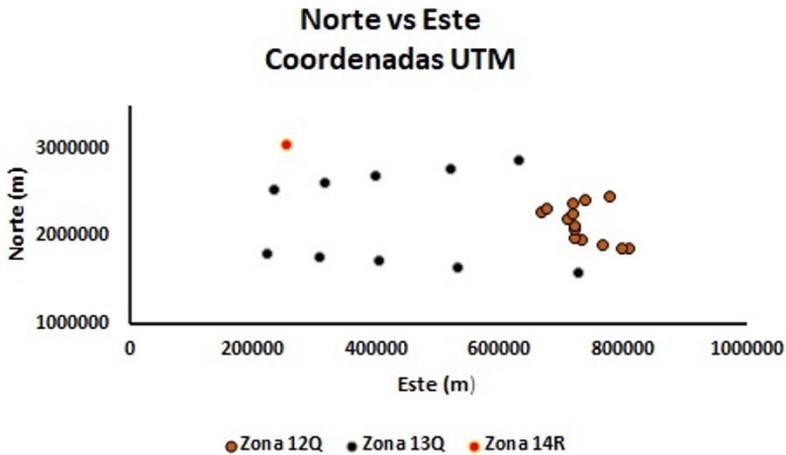
Una característica importante de este sistema de coordenadas consiste en saber que todas las zonas de una misma banda son copia de otras. La gráfica de los datos del huracán Pamela de la tabla 1 se da en las gráficas de las figuras 4 y 5. De inmediato, se observa que la gráfica de la figura 5, en coordenadas este y oeste, no corresponde con la gráfica de la figura 4, en coordenadas longitud y latitud, ya que los puntos centrales de la primera, así como el último punto de la gráfica de la figura 4, aparecen corridos en la gráfica de la figura 5. Los puntos corridos en la figura 5 corresponden con los puntos de la zona 12Q, desplazados a la derecha de su posición original en la figura 4 y a un punto de la zona 14R, desplazado a la izquierda de su posición original en la figura 4.

Figura 4. Trayectoria del huracán en coordenadas geográficas (latitud, longitud)



Las diferencias entre las gráficas de las figuras 4 y 5 se deben a que se graficaron datos de diferentes zonas, pero que son copia unos de los otros en la misma zona.

Figura 5. Trayectoria del huracán en coordenadas UTM después de convertir las coordenadas



Los datos de las coordenadas UTM, determinados por el conversor de unidades, están en diferentes zonas (12Q, 13Q y 14R) y al poner todos estos

puntos en la misma gráfica se empalman las zonas de manera indebida. Por ello, hay que entender un poco más cómo se construyen las coordenadas UTM a partir de las coordenadas geográficas. Ya se mencionó que, en la proyección UTM, el planisferio se divide en 60 husos paralelos al meridiano de  $180^\circ$ , separados cada seis grados y con 20 bandas paralelas al Ecuador. En cada banda hay 60 husos, por ejemplo, en la banda N (la primera por encima del Ecuador), los husos se encuentran en las zonas 1N, 2N, ..., 60N. La principal característica de las zonas que se encuentran en una misma banda es que todas son iguales y no se distinguen unas de otras. Ahora bien, si nos enfocamos en la zona N31, el huso 31 tiene su origen en el meridiano  $0^\circ$  de Greenwich y su frontera final inmediatamente antes del meridiano  $6^\circ$  al este del meridiano de Greenwich. El origen de este huso se especifica en su meridiano central, esto es, en el meridiano  $3^\circ$  al este del meridiano de Greenwich, por lo cual el valor designado para este meridiano es de 500 000 m. Sin embargo, para saber las fronteras en unidades UTM de este huso (meridianos  $0^\circ$  y  $6^\circ$ ), es necesario utilizar el conversor de unidades, a fin de determinar los valores correspondientes a la coordenada este en el sistema UTM, para una latitud determinada. En la figura 6 se establecen las coordenadas este y norte para la longitud  $0^\circ$  y la latitud  $0^\circ$ ; la longitud  $3^\circ$  y latitud  $0^\circ$ ; la longitud  $5.999999999999999^\circ$  y la latitud  $0^\circ$ ; así como la longitud  $6^\circ$  y latitud  $0^\circ$ .

Figura 6. Coordenadas UTM para la frontera entre el huso 31 y su vecino huso 32 a la latitud de  $0^\circ$

The figure consists of four sub-panels, each showing a 'Geográficas' (Geographic) section on the left and a 'UTM' section on the right. Each panel has a 'Longitud' (Longitude) and 'Latitud' (Latitude) input field in the geographic section, and 'X', 'Y', 'Zona' (Zone), and 'Hemisferio' (Hemisphere) output fields in the UTM section. The 'Hemisferio' section has radio buttons for 'N' (North) and 'S' (South), with 'N' selected in all panels.

Panel	Geográficas Longitud	Geográficas Latitud	UTM X	UTM Y	UTM Zona
(a)	0	0	166021.4430966554	0	31
(b)	3	0	500000	0	31
(c)	5.999999999999999	0	833978.556903823	0	31
(d)	6	0	166021.4430966543	0	32

Fuente: Conversor de coordenadas UTM (2015).

En la figura 6 se observan las coordenadas este para el límite inferior, el meridiano central y el límite superior del huso 31, así como la frontera con el

huso 32, en la latitud  $0^\circ$ . Límite inferior zona 31: Longitud  $0^\circ$  - este 166 021.44309606543 m. Meridiano central, zona 31: longitud  $3^\circ$  - este 500 000 m. Límite superior, zona 31: longitud  $5.999999999999^\circ$  - este 833 978.556903823 m. Límite inferior, zona 32: longitud  $6^\circ$  - este 166 021.44309606543 m. Las coordenadas norte correspondientes a la latitud  $0^\circ$  no cambian para ninguna de estas posiciones. La coordenada este para el meridiano central del huso 31 es de 500 000 m como se ha designado para cualquier meridiano central de cualquier otro huso, pero para sus límites extremos son 166 021.44309606543 m y 833 978.556903823 m, lo que da un ancho del huso de 667 957.1 metros.

Lo notable en la figura 6 es que la coordenada este, igual a 166 021.44309606543 m del límite inferior del huso 32, es la misma que la coordenada este del límite inferior de su vecino, el huso 31. Esto se debe a que el huso 31 es copia completa del huso 30 en todos sus valores, con un meridiano central igual a 500 000 m y un límite superior igual a 833 978.556903823 m como el del huso 30. Esta copia de coordenadas este, ocurre para los 60 husos que se localizan en la latitud  $0^\circ$ . Hay que tener cuidado al cambiar de latitud, pues los valores de los límites inferior y superior cambian para el huso 30, estrechándose el huso conforme avanza hacia el norte o hacia el sur, ya que un huso es el resultado de la proyección de un gajo en la esfera que está limitado por sus meridianos extremos, el cual, al proyectarse al plano, debe indicar el estrechamiento de este gajo. El resto de los husos que son copia del huso 31 repiten los mismos límites inferior y superior del huso 30 para todas las latitudes, de suerte que mantienen siempre el meridiano central en 500 000 m, como puede comprobarse con la calculadora del conversor de unidades.

En la dirección norte o sur no existen estos problemas de repetición, ya que la coordenada norte o sur aumenta progresivamente en las bandas desde cero en el Ecuador para el hemisferio norte, y cero a partir del polo sur (en el mismo hemisferio) hasta un valor máximo positivo cercano a 10 000 000 m, en ambos casos. El corrimiento de los datos del huracán Pamela de la figura 5, respecto de la trayectoria seguida por este huracán en la figura 4, se debe a la repetición de coordenadas este que se tienen para cada zona de una misma banda. Este es el caso de los datos en la zona 13Q y la zona vecina 12Q a su izquierda: debido a la repetición de coordenadas, los puntos que en la zona 12Q están en su extremo derecho y a la izquierda de los datos de la zona 13Q, al trazarlos en la misma gráfica, aparecen a la

Figura 7. Coordenadas UTM para el punto P6 de la tabla 1

Geográficas		UTM	
Longitud:	<input type="text" value="-108.1"/>	X:	<input type="text" value="809121.6144660763"/>
Latitud:	<input type="text" value="16.8"/>	Y:	<input type="text" value="1859692.7448111058"/>
		Zona:	<input type="text" value="12"/>
		Hemisferio:	<input checked="" type="radio"/> N <input type="radio"/> S

Fuente: Conversor de coordenadas UTM (2015).

derecha de los puntos de la zona 13Q, como se observa en la figura 5. Para desplazar los puntos de la zona 12Q a su posición correcta en la gráfica de la figura 5, es necesario hacer la traslación de los puntos referidos de la zona 12Q a posiciones referidas a la zona 13Q. El siguiente procedimiento para esta traslación se ejemplificará con el primer punto de la zona 12Q, el punto P6 de la tabla 1, que se trasladará a la zona 13Q. Para esta traslación se siguen los siguientes pasos:

1. Para el punto P6, sus coordenadas UTM se determinan con el conversor de unidades en: longitud  $-108.1$ , latitud  $16.8^\circ$ . Zona 12, este<sub>XP</sub> = 809 121.6144660763 m; norte<sub>YP</sub> = 1 859 692.7448111058 m (véase figura 7).
2. Con el conversor de unidades, se determinó la coordenada este del extremo superior del huso 12 y la coordenada Este para el extremo inferior del huso 13, para la latitud  $16.8^\circ$  del punto P6 (véase figura 8).
3. Se determinó la distancia B restando de la coordenada  $x_I$  del límite inferior del huso 13 la distancia  $B = x_I - A = 180\,210.9825426874 - 10\,667.403 = 169\,543.6$  m. El valor de  $B = 169\,543.6$  m es el valor de la coordenada este del punto P6 referido a la zona 13Q (véase tabla 2).

Figura 8. Coordenadas UTM para la frontera de las zonas 12Q y su vecino 13Q, a la altura de la latitud 16.8° del punto P6



Fuente: Conversor de coordenadas UTM (2015).

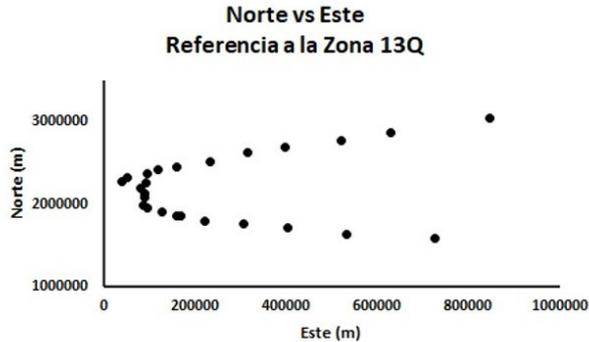
Tabla 2. Estadística del itinerario del huracán Pamela en coordenadas UTM con corrimiento a la zona 13Q

Nº	Hora (GMT)	T (h)	Este (m)	Norte (m)	Zona
1	0.375	9	726 528.0	1 581 930.934	13P
2	0.625	15	532 282.0	1 636 226.881	13Q
3	0.875	21	403 468.0	1 713 832.049	13Q
4	0.125	27	307 293.0	1 758 703.459	13Q
5	0.375	33	222 019.0	1 792 818.974	13Q
6	0.625	39	169 543.6	1 859 692.728	12Q
7	0.750	42	158 877.0	1 859 539.247	12Q
8	0.875	45	127 673.9	1 903 396.395	12Q
9	0	48	96 855.7	1 958 357.667	12Q
10	0.125	51	86 707.1	1 980 375.502	12Q
11	0.250	54	88 846.5	2 080 005.653	12Q
12	0.375	57	89 829.8	2 124 288.366	12Q
13	0.500	60	81 126.3	2 201 659.556	12Q
14	0.625	63	92 899.3	2 257 146.640	12Q
15	0.750	66	41 006.9	2 267 628.885	12Q
16	0.875	69	52 912.2	2 323 087.235	12Q
17	0	72	95 869.5	2 378 947.263	12Q
18	0.125	75	117 656.2	2 423 537.980	12Q
19	0.250	78	159 721.7	2 457 443.974	12Q
20	0.375	81	233 093.0	2 523 727.955	13Q

En la tabla 2 se reportan los datos del huracán Pamela con las modificaciones realizadas en las zonas 12Q y 14R, mientras que en la figura 9 se muestra la gráfica de la traslación del huracán, ya con las modificaciones implementadas. En la tabla 2, por cierto, se ha añadido la columna de tiempos en unidades de horas corridas a partir del inicio del huracán Pamela hasta su disipación, esto con el fin de poder hacer el estudio cinemático de

la traslación del huracán desde su formación en el océano, hasta su disipación en tierra firme.

Figura 9. Trayectoria del huracán en coordenadas UTM con corrimiento a la zona Q13



Sin embargo, tanto la coordenada de tiempo  $T$ , como las coordenadas espaciales (este, norte) no son las más adecuadas para este análisis, ya que parten de un origen arbitrario, tanto en el tiempo como en el espacio. Por ello, lo conveniente es hacer una traslación de las coordenadas (este, norte;  $T$ ) a coordenadas locales ( $x$ ,  $y$ ;  $t$ ) que partan desde cero en el tiempo y desde la posición (0,0) referida al punto inicial del huracán Pamela. Por otra parte, las unidades de las coordenadas (este, norte;  $T$ ) están en metros y en horas, sin embargo, para una mejor concordancia entre estas, las unidades locales ( $x$ ,  $y$ ;  $t$ ) se dan en kilómetros y en horas (véase tabla 3).

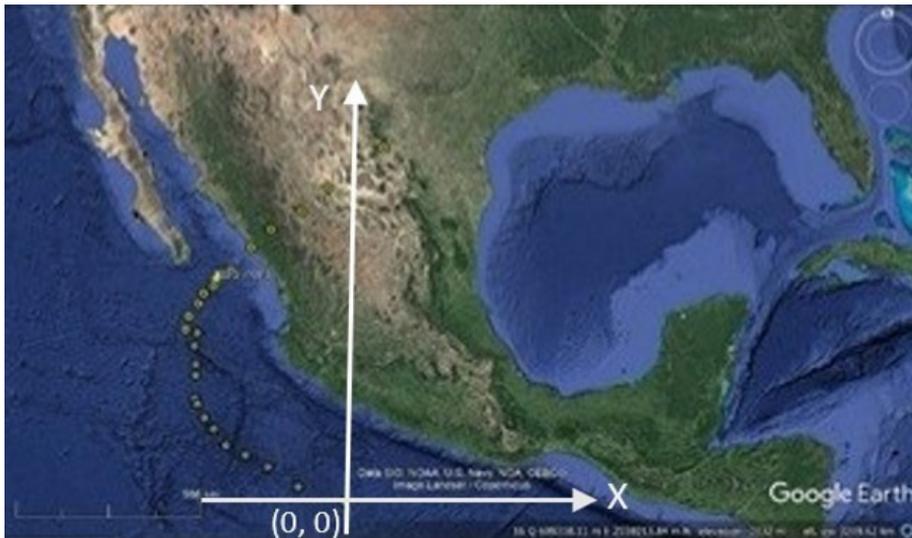
Tabla 3. Estadística del itinerario del huracán Pamela en coordenadas locales

Nº	$t$ (h)	$x$ (km)	$y$ (km)
1	0	0	0
2	6	-194.2	54.3
3	12	-323.1	131.9
4	18	-419.2	176.8
5	24	-504.5	210.9
6	30	-557.0	277.8
7	33	-567.7	277.6
8	36	-598.9	321.5
9	39	-629.7	376.4
10	42	-639.8	398.4

11	45	-637.7	498.1
12	48	-636.7	542.4
13	51	-645.4	619.7
14	54	-633.6	675.2
15	57	-685.5	685.7
16	60	-673.6	741.2
17	63	-630.7	797.0
18	66	-608.9	841.6
19	69	-566.8	875.5
20	72	-493.4	941.8

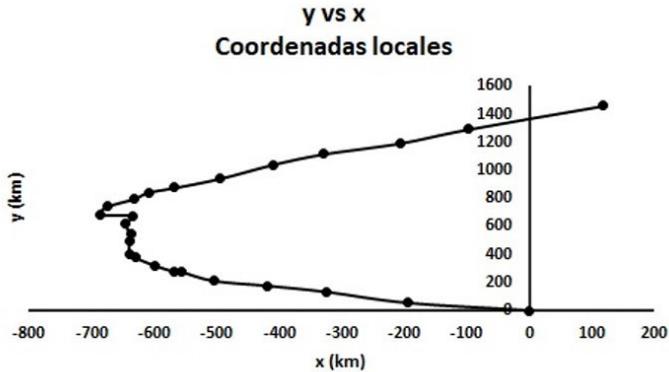
En Google Earth, se descargaron los datos originales del huracán Pamela, por medio del archivo Excel en formato csv (MS-DOS), compatible con Google Earth (Jones, 2005), para tener una fotografía propia de la trayectoria del huracán y poder señalar el sistema de referencia local bajo la cual se hace el análisis cinemático (figura 10).

Figura 10. Trayectoria del huracán en Google Earth con un sistema local de referencia



Asimismo, en la figura 11, se grafican coordenadas locales ( $x, y$ ), obteniéndose la trayectoria del huracán Pamela en el sistema de coordenadas local.

Figura 11. Trayectoria del huracán en coordenadas en locales

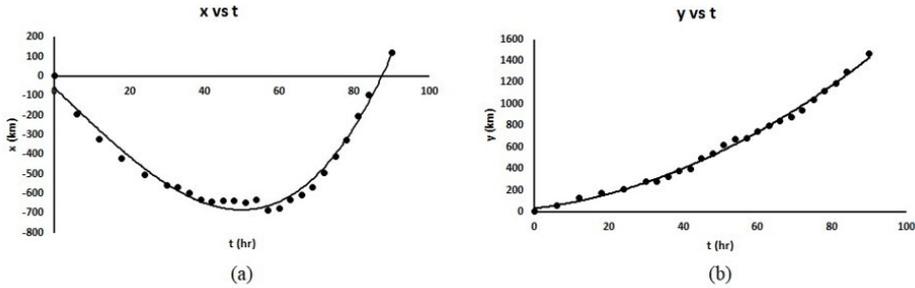


### Cinemática de la traslación del huracán Pamela

Las gráficas de  $x$  vs.  $t$  (figura 12.a) y la gráfica de  $y$  vs.  $t$  (figura 12.b) se ajustan por mínimos cuadrados. En la gráfica de la trayectoria del huracán en la figura 11, se observa que los puntos P1 a P9 siguen una trayectoria que *no* va en una curva suave, sin embargo, en los siguientes cinco puntos, de P10 a P14, la trayectoria cambia abruptamente hacia el norte y, de repente, del punto P14 al punto P15, el huracán se dirige súbitamente al oeste. A partir del punto P15, la trayectoria del huracán es una curva suave con dirección NE, que parece recuperar su trayectoria inicial. Estos cambios súbitos de la dirección del huracán se pueden deber a variables meteorológicas, como gradientes de presión y temperatura, que alteran la trayectoria del huracán.

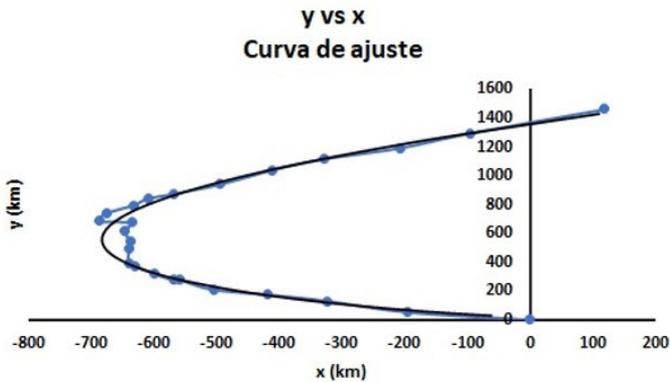
Sin embargo, su movimiento de circulación del NO al NE no parece alterarse significativamente, ya que, si no consideráramos estas alteraciones, la trayectoria del huracán trazaría una curva que iría en dirección NO y luego, en un cambio suave, seguiría una curva en dirección NE. Estas consideraciones se apoyan, al ajustar las curvas  $x$  vs.  $t$  y  $y$  vs.  $t$  en las figuras 12a y 12b, por mínimos cuadrados.

Figura 12. Gráfica (a)  $x$  vs.  $t$  y (b)  $y$  vs.  $t$



Ya que un polinomio de tercer grado se ajusta a todos los puntos de la gráfica  $x$  vs.  $t$  y un polinomio de segundo grado se ajusta a los puntos de la gráfica  $y$  vs.  $t$ , al combinar ambos ajustes, se obtiene como resultado la gráfica  $y$  vs.  $x$  de la figura 13.

Figura 13. Ajuste de la trayectoria del huracán Pamela



El polinomio de tercer grado que se ajusta a la curva  $x$  vs.  $t$  de la figura 12a está dado por la siguiente ecuación:

$$x = 0.0027t^3 - 0.02t^2 - 18t - 61 \quad (1)$$

El polinomio de segundo grado que se ajusta a la curva  $y$  vs.  $t$  de la figura 12b está dado por la siguiente ecuación:

$$y = 0.125t^2 + 4.3t + 30 \quad (2)$$

En la tabla 4 se dan los parámetros de las ecuaciones (1) y (2) con sus incertidumbres, así como los parámetros de correlación de estos ajustes. Las ecuaciones (1) y (2) establecen un modelo matemático empírico para el itinerario de la traslación del huracán Pamela. Dicho modelo es ajustado a los datos experimentales de este huracán, por lo que su validez es específica para él, sin embargo, al investigar otros fenómenos del mismo tipo es posible determinar si este modelo es válido para otras trayectorias.

Tabla 4. *Parámetros de los ajustes  $x$  vs.  $t$  y  $y$  vs.  $t$*

Parámetros del ajuste $x$ vs. $t$	Parámetros de ajuste para $y$ vs. $t$
$a_0 = (-61 \pm 27) m$	$b_0 = (30 \pm 18) m$
$a_1 = (-18 \pm 2) m/s$	$b_1 = (4.3 \pm 0.8) m/s$
$a_2 = (-0.002 \pm 0.06) m/s^2$	$b_2 = (0.125 \pm 0.009) m/s^2$
$a_3 = (0.0027 \pm 0.0005) m/s^3$	
$R_2 = 0.980$	$R_2 = 0.990$

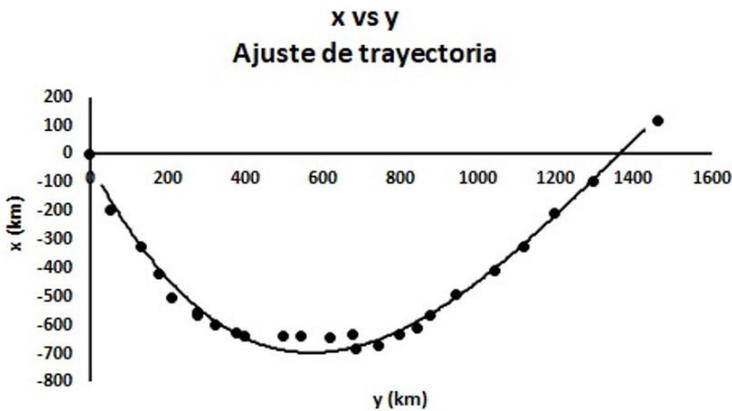
Las ecuaciones (1) y (2) permiten calcular las coordenadas  $x$  y  $y$  para cada uno de los tiempos de la tabla 4. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 5, como coordenadas  $x_A$  y  $y_A$ , pues son coordenadas de ajuste de los datos experimentales. La gráfica  $y_A$  vs.  $x_A$  ya fue trazada en la figura 13, junto con los datos experimentales. El resultado es una curva suave que se ajusta perfectamente al inicio y al final de la trayectoria del huracán, sin embargo, en la parte media de esta trayectoria, la curva se aparta de los puntos experimentales. Ya hemos propuesto la hipótesis de que las alteraciones en las condiciones atmosféricas que rodean al huracán afectan su trayectoria en su sector medio, sin embargo, en el alcance de este estudio no nos es posible probar esta hipótesis, pero lo que sí observamos es que esta parte media de la trayectoria del huracán sufre una desviación abrupta con respecto a su trayectoria inicial, la cual es recuperada en su trayectoria final. Sea la explicación de esta desviación nuestra hipótesis, o cualquier otra, el modelo matemático indica una trayectoria suave sin alteraciones.

Tabla 5. Trayectoria del huracán Pamela de según el modelo matemático del ajuste del itinerario

$t$ (h)	$x_{Aj}$ (km)	$y_{Aj}$ (km)
0	-61.3	29.6
6	-170.2	60.1
12	-277.1	99.5
18	-378.7	147.9
24	-471.3	205.3
30	-551.4	271.6
33	-585.6	308.2
36	-615.5	346.9
39	-640.4	387.9
42	-660.0	431.2
45	-673.9	476.7
48	-681.5	524.5
51	-682.5	574.4
54	-676.4	626.7
57	-662.8	681.2
60	-641.2	737.9

La gráfica  $x$  vs.  $y$  de los datos en la tabla 5 sobre la trayectoria del huracán Pamela, en comparación con los datos experimentales dados en la tabla 1, se muestra en la figura 14. Hay que notar, que la relación entre  $x$  y  $y$  se hace como  $x = x(y)$  para poder establecer una relación funcional entre estas dos variables.

Figura 14. Ajuste de la trayectoria del huracán Pamela de acuerdo con las ecuaciones del itinerario



La gráfica de ajuste en la figura 14 es un polinomio de tercer grado, mientras que los parámetros de la ecuación, se dan en la tabla 5.

$$x = 07 \times 10^{-7}y^3 + 0.0028y^2 - 2.54y - 36 \quad (3)$$

Tabla 5. *Parámetros de los ajustes x vs. y*

Parámetros del ajuste x vs. t
$c_0 = (-36 \pm 13) m$
$c_1 = (-2.54 \pm 0.008)$
$c_2 = (0.0028 \pm 0.0001) 1/m$
$c_3 = (-7 \pm 1) \times 10^{-7} 1/m^2$
$R_2 = 0.994$

## Discusión

El modelo matemático empírico, obtenido del análisis gráfico de los datos del huracán Pamela, indican que el movimiento en la dirección  $x$  es una función cúbica del tiempo y en la dirección  $y$  es una función cuadrática del tiempo. La primera derivada de la ecuación (1) establece la velocidad del huracán Pamela en  $x$  como función del tiempo. Esto es:

$$v_x = 0.0081t^2 - 0.04t - 18 \quad (4)$$

La primera derivada de la ecuación (2) establece la velocidad del huracán Pamela en  $y$  como función del tiempo. Esto es:

$$v_y = 0.25t + 4.3 \quad (5)$$

La segunda derivada de la ecuación (1) establece la aceleración del huracán Pamela en  $x$  como función del tiempo. Esto es:

$$a_x = 0.0162t - 0.04 \quad (6)$$

La segunda derivada de la ecuación (2) establece la aceleración del huracán Pamela en  $y$  como función del tiempo. Esto es:

$$a_y = 0.25 = Cte \quad (7)$$

La aceleración en la coordenada es dependiente del tiempo, es decir, tiene una tercera derivada o *jerk*, la cual es lineal en el tiempo. En cambio, en la aceleración es constante. Con las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) se completa el modelo matemático empírico para la cinemática del movimiento de traslación del huracán Pamela. Este modelo es básico del movimiento de traslación de un huracán como el citado, por ello, el ajuste de este modelo a los datos experimentales es satisfactorio y el resultado del proyecto propone una explicación cinemática de su movimiento.

Aunque sólo se trata de una aproximación simple de los modelos matemáticos que se aplican en la investigación científica al movimiento de los huracanes (Chan, 2005), y los resultados aquí obtenidos quedan sujetos a las explicaciones que se dan en los modelos matemáticos aceptados por la ciencia, para los fines educativos aquí propuestos, es decir, que los estudiantes se involucren en los procesos de la investigación científica básica y apliquen las técnicas experimentales del curso con el apoyo de las tecnologías digitales disponibles en internet, son totalmente válidos y benefician este tipo de proyectos estudiados bajo un enfoque STEM, donde se analiza un fenómeno natural a partir de una estrategia de investigación y se realiza algún descubrimiento derivado de la colecta de datos hasta llegar al modelo matemático del fenómeno.

## Conclusiones

Mediante el uso de las tecnologías digitales de la información y la comunicación, los estudiantes de técnicas experimentales pueden analizar los fenómenos naturales tal como van ocurriendo en la naturaleza, es decir, en los mismos momentos de su evolución, y paralelamente pueden aprender los conceptos y técnicas experimentales de la disciplina de acuerdo con su aplicación al fenómeno estudiado. Bajo el enfoque STEM, los alumnos han realizado el proyecto de modelar la cinemática del huracán Pamela desde su fase como tormenta tropical hasta su disipación. Ellos han seguido un proceso de investigación que comienza con la adquisición de datos de este fenómeno meteorológico, a partir de sitios en internet que suministran estos datos en tiempo real y en coordenadas geográficas, las cuales han tenido que conver-

tir a coordenadas UTM para su análisis cinemático, lo que implicó entender primero cómo son las transformaciones entre coordenadas de la esfera a las coordenadas en el plano y luego a coordenadas locales del movimiento del huracán. Finalmente, los estudiantes aplicaron sus conocimientos de cinemática para obtener un modelo cinemático empírico que explicara matemáticamente la trayectoria observada del huracán Pamela, a partir de los datos experimentales que se obtuvieron de los sitios web especializados en el seguimiento de este tipo de fenómenos meteorológicos en tiempo real.

El proyecto, aunque para estudiantes y profesores fue un proceso de aprendizaje no exento de dificultades, pudo ser elaborado de manera completa y satisfactoria debido a los descubrimientos que se iban realizando a lo largo de la investigación. Como profesores, esperamos que los estudiantes queden motivados a seguir estudiando estos fenómenos de la naturaleza, cuyo entendimiento es de vital importancia para los países que sufren los estragos de estos fenómenos.

## Referencias

- Conversor de Coordenadas UTM. (s/f). *Conversor de coordenadas*. <https://entomologia.net/conversor.htm>
- Chan, J. C. L. (2005). The physics of tropical cyclone motion. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 37(1), 99-128. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.37.061903.175702>
- EFE. (12 de octubre de 2021). *Pamela se convierte en huracán rumbo a las costas del Pacífico*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/noticias-pamela-se-convierte-en-huracan-rumbo-a-las-costas-del-pacifico/>
- Franco, A. R. (11 de septiembre de 1999). *Características de las coordenadas UTM y descripción de este tipo de coordenadas*. Recuperado el 9 de junio del 2021 de [http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas\\_utm.html](http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html)
- González y H., A. (2021). *Actividades STEM para el estudio vectorial de la cinemática al aire libre*. LASERA (En proceso de publicación).
- Jones, M. (2005). Google Earth Pro versión 7.3. Windows. Google.
- Meteoblue. (s/f). *Meteoblue weather close to you*. Recuperado el 12 de octubre de 2021 de [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/maps/ciudad-de-m%C3%A9xico\\_m%C3%A9xico\\_3530597#coords=4.15/21.07/-101.3&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/maps/ciudad-de-m%C3%A9xico_m%C3%A9xico_3530597#coords=4.15/21.07/-101.3&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none)
- Weather Underground. (10 de octubre de 2021). *Hurricane and tropical cyclones: Tropical storm Pamela*. Recuperado el 3 de octubre del 2021 de <https://www.wunderground.com/hurricane/eastern-pacific/2021/tropical-storm-pamela>



# Capítulo 9. Actividad experimental para el estudio de los conceptos básicos de los telescopios refractores

JUAN CARLOS RUIZ MENDOZA<sup>1</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2</sup>

## Resumen

En este trabajo de investigación se muestra cómo un grupo de estudiantes de un curso de óptica geométrica diseñan y construyen los componentes ópticos y accesorios para explicar los conceptos básicos de los telescopios refractores (newtoniano y galileano), en el marco de la metodología STEM, donde los conceptos académicamente rigurosos se acoplan a lo real. Es decir, se pone en práctica la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas con la pretensión una educación integradora, que permita una aproximación al proceso de enseñanza-aprendizaje, pero desde un planteamiento activo impulsado por la actividad experimental y que promueva la ruptura de barreras entre la ciencia y la tecnología.

*Palabras claves:* metodología STEM, telescopios refractores, óptica geométrica.

## Introducción

Nuestra época se caracteriza por profundas transformaciones en prácticamente todos los órdenes de la vida humana. Como ha sido señalado en diversos foros, el cambio —y el reclamo del cambio— constituyen caracte-

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5227-3025>

<sup>2</sup> Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

rísticas y exigencias del fin del siglo xx y principios del xxi. Un ámbito que particularmente incide en el desarrollo de la educación es el relativo a la revolución científica y tecnológica que se vive en el planeta. La progresión geométrica de los acervos de conocimientos científicos y tecnológicos, así como de las tecnologías de la información y la comunicación, presentan múltiples oportunidades para el desarrollo de la educación, en particular, los servicios de internet, el acceso a bases de datos, la enseñanza a distancia, las redes virtuales de intercambio y la flexibilidad en el proceso de formación, entre otros. Autores como Gil (2009) y Furió-Mas (1994) señalan que en el proceso de enseñanza de las ciencias debe haber nuevos modelos donde las actividades de estudiantes y profesores cambien, así como el currículo y la tarea docente. Para ello se requiere mejorar la parte esencial del proceso de enseñanza-aprendizaje: objetivos, contenido, métodos y medios de enseñanza, entre otros.

Por otra parte, Pérez Lozada y Falcón (2012) plantean que el uso de los recursos experimentales, así como la incorporación de tecnologías computacionales en el salón de clase desde un enfoque pedagógico (unidad dialéctica entre la teoría y la práctica), permiten a los profesores tener una concepción de cómo los alumnos aprenden conceptos científicos. En esta línea, Salazar (2005) expresa que “las tecnologías son recursos, y como tales deben insertarse de manera natural en los planes y actividades didácticas de los profesores y estudiantes, concebidos como proyectos educativos cuya ejecución deberá orientarse hacia las nuevas formas de enseñanza-aprendizaje”.

Con el propósito de integrar todos estos cambios, de favorecer el trabajo en equipo y de crear una metodología común para las materias de ciencias, nació la metodología STEM y sus vertientes en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, pues es propicia para desarrollar un enfoque interdisciplinario del proceso de enseñanza y aprendizaje, al incorporar contextos y situaciones de la vida real, y utilizar herramientas tecnológicas. Al diseñar una actividad STEM, como lo plantea Coello Pisco *et al.* (2018), se deben considerar los objetivos, contenidos y competencias a alcanzar, con el propósito de que el alumno adquiera la capacidad de identificar, aplicar y reflexionar qué hacer y pensar, así como plantear dudas y dar soluciones innovadoras a problemas complejos mediante las ciencias, la ingeniería y las matemáticas. Con la esperanza de que el enfoque metodológico

STEM cumpla con actividades de tipo interdisciplinar, que sean motivadoras y contextualizadoras, se debe fomentar el pensamiento crítico, la cooperación y el debate, además de incentivar la formulación de preguntas y soluciones a los problemas propuestos en el salón de clase.

## Metodología

Si tomamos en cuenta lo anterior, se plantean actividades STEM en el curso de Óptica Geométrica para la carrera de Física de la UANL y el trabajo en áreas como matemáticas, física o tecnología, entre otras, de forma práctica y contextualizada. Los temas que abarca el programa de Óptica Geométrica son: concepto de la luz, leyes de reflexión y refracción, espejos, lentes convergentes, divergentes, formación de imágenes, aberraciones, temas de instrumentos ópticos como microscopios, cámaras fotográficas, lentes para corregir los defectos del ojo humano y tipos de telescopios refractores y reflectores. En el curso bajo la modalidad STEM, y dependiendo el número de estudiantes en la clase, se sugiere la formación de grupos de tres estudiantes, a los que se les plantea que elijan un instrumento óptico de la vida real, el cual deberán diseñar y construir a fin de demostrar el concepto físico correspondiente; todo esto con el apoyo de un prototipo óptico propuesto por el profesor de la asignatura de Óptica Geométrica. El planteamiento consiste en que el alumno tome un papel activo donde él proponga la actividad a elaborar y la desarrolle de principio a fin, ayudándose de los medios existentes para ir poco a poco adquiriendo los conocimientos necesarios para el desarrollo de su proyecto. Aunque los alumnos están en libertad de proponer su metodología de investigación para su proyecto, se sugieren los pasos propuestos por Saiz-Mendiguren (2019), donde en todo momento deberán:

- Buscar información y analizar la veracidad sobre los principios básicos ópticos del telescopio refractor, así como las características de diversos materiales para entender su funcionamiento y las bases teóricas de la óptica geométrica en que se basa.
- Planificar cómo construir las componentes del telescopio, los materiales que utilizarán para su construcción y realizar un documento con los materiales necesarios.

- Utilizar *softwares* para su demostración.
- Documentar el proyecto.

Los estudiantes presentarán el proyecto ante los demás compañeros y resolverán las dificultades que se presenten, en tanto que el profesor será un guía que en todo momento dará el visto bueno para seguir adelante. Una de las técnicas utilizadas en la modalidad STEM es el aula invertida, para la cual el profesor proporcionará a cada grupo un *kit* de óptica geométrica (véase figura 1), con su respectivo manual de apoyo a la investigación (Ruiz, 2017). El manual consiste en 12 actividades que engloban teoría y práctica de todos los temas relacionados con el programa del curso (información de los conceptos requeridos para la comprensión del instrumento a investigar). Luego de su lectura y aplicación, los estudiantes realizarán las prácticas propuestas y las presentarán en la clase, que será donde se aclaren las dificultades del funcionamiento y los conceptos de cada práctica.

Figura 1. *Kit de óptica geométrica con su respectivo Manual de prácticas*



Como se requiere de otras ciencias para este proyecto, los estudiantes se apoyarán con los profesores especialistas del plantel de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas en las áreas de tecnología, informática (ciencias computacionales) y matemáticas, quienes les darán todo el apoyo para resolver su proyecto. Cada taller o departamento consiste en: (1) un taller

de tecnología, que cuenta con departamentos de dibujo, taller mecánico para el diseño de piezas metálicas, además de un departamento para cortado de piezas de plástico con maquinaria CNC corte láser, en donde el estudiante puede apoyarse para el diseño y construcción de sus piezas para su posible proyecto; y (2) el departamento de informática (área de ciencias computacionales), que cuenta con profesores especializados en el área de diseño de cómputo que asesorarán a los estudiantes del grupo de la asignatura de óptica geométrica para el diseño de *softwares* si lo requieren para su investigación.

Una vez materializado el proyecto, los alumnos deberán comprobar su funcionamiento y realizar una práctica ante el grupo para explicarlo. En ese momento, indicarán las bases teóricas en las que se basaron, los materiales utilizados, las instrucciones para su construcción, las dificultades encontradas y su solución, así como una autoevaluación y las posibles propuestas para la construcción del proyecto.

## Desarrollo

Una de las propuestas hecha por los estudiantes consiste en el diseño de un telescopio refractor newtoniano y galileano para la demostración básica de los conceptos teóricos. A continuación, describimos en que consiste el telescopio refractor y presentamos un resumen de los pasos que llevaron a cabo los estudiantes en tal proyecto.

Un telescopio refractor es aquel en el que los haces de rayos luminoso provenientes del objeto se refractan al atravesar una lente (llamada lente objetivo) y se concentran para formar una imagen en el plano focal. La observación se realiza aplicando el ojo a la lente ocular que coincide su foco con el foco del lente objetivo. Generalmente la lente ocular se compone de varias lentes que amplían y mejoran la imagen final. Como en el caso del telescopio astronómico en donde se coloca el ocular a su distancia focal y posteriormente se observa a través de la lente con el ojo relajado (véase figura 2) (Smith, 2008). Respecto al ocular, puede ser solamente una lente o puede estar compuesto por una serie de lentes para mejorar la calidad de la imagen.

Figura 2. Representación de un telescopio astronómico, otro galileano y uno más erector

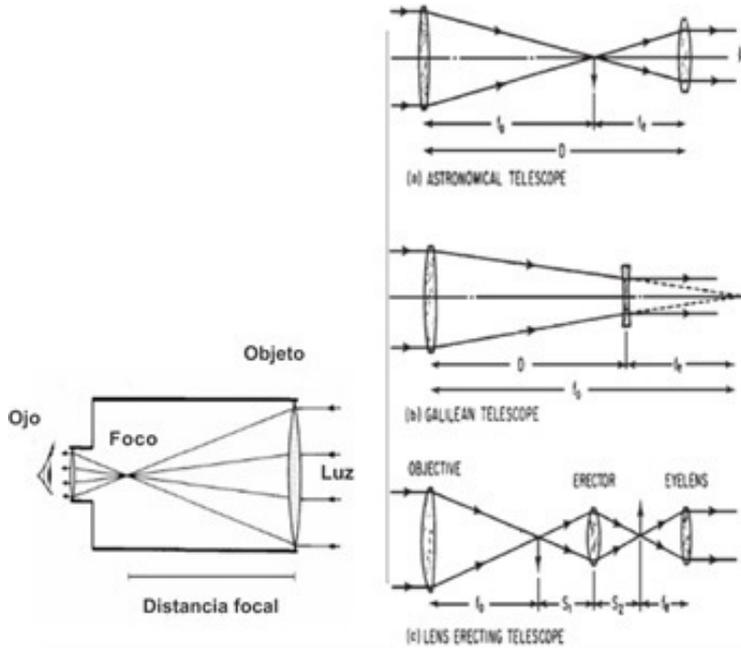
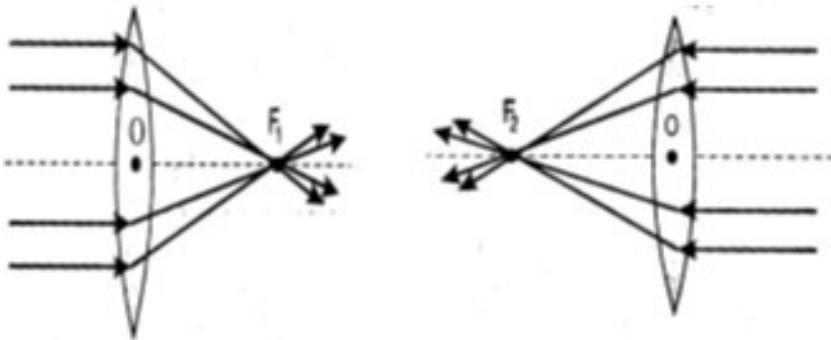


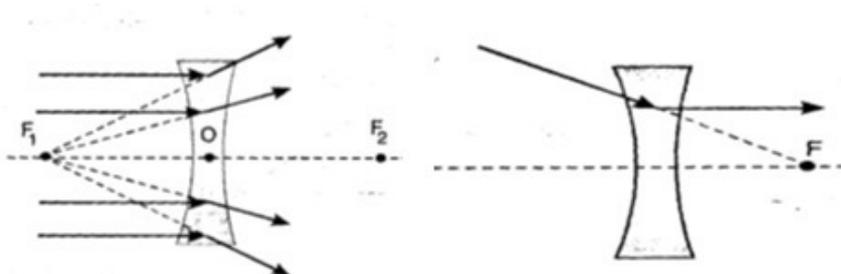
Figura 3. Distancia focal de una lente convergente



Como los telescopios contienen lentes convergentes y divergentes, se muestra el comportamiento de los rayos de luz al atravesar la lente (véanse figuras 3 y 4).

Figura 4. Refracción de la luz a través de una lente divergente.

a) Rayos paralelos divergen; b) Rayos dirigidos hacia el foco se refractan saliendo paralelos

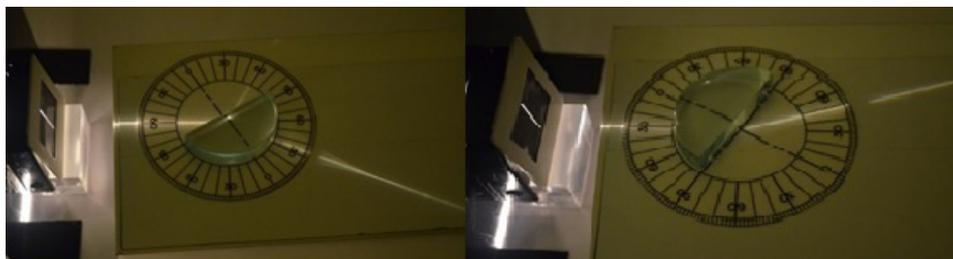


Como se señaló anteriormente, a cada grupo se les proporcionó un *kit* de óptica geométrica, con su respectivo manual de prácticas, para llevar a cabo su investigación. Dicha actividad era requerida para cumplir con el programa del curso de óptica geométrica, el cual busca que se fundamenten los conceptos teóricos y la comprobación práctica de todos los temas del programa, cuya función es propiciar el soporte para la propuesta de su investigación. A continuación, se presentan las imágenes de las actividades llevadas a cabo para el diseño del telescopio refractor newtoniano y galileano.

## Actividad 1

Para reforzar el concepto de las leyes de reflexión y refracción, los estudiantes llevarán a la práctica la experimentación de dichas leyes en tanto información necesaria para vencer uno de los obstáculos más importantes en su proyecto: determinar el índice de refracción (véase figura 5).

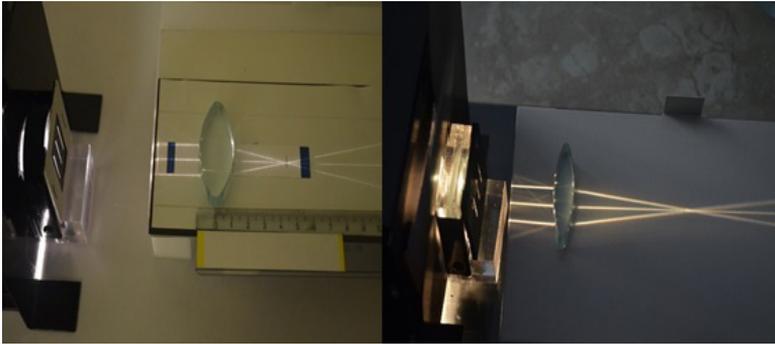
Figura 5. Ley de reflexión y refracción sobre una superficie cilíndrica



## Actividad 2

Diseño de las lentes convergentes y divergentes, así como su construcción con el apoyo del departamento de tecnología.

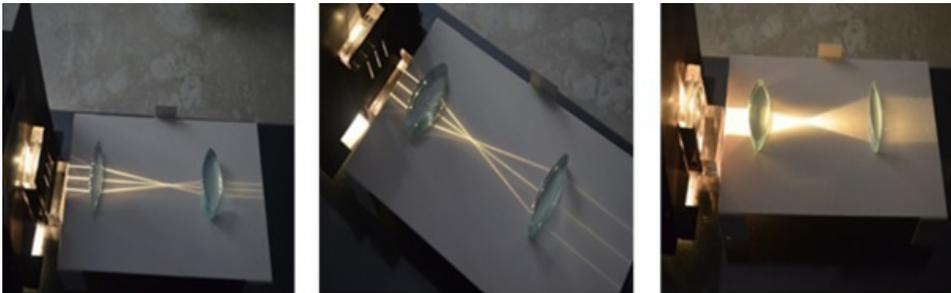
Figura 6. Arreglo experimental para obtener la distancia focal de dos lentes convergentes. a) distancia focal corta; b) distancia focal mayor



## Actividad 3

Arreglo experimental del comportamiento de los rayos de luz a través de las lentes para el telescopio newtoniano.

Figura 7. Arreglo experimental para el telescopio newtoniano.



Por su parte, para la representación del telescopio galileano se requiere una lente convergente y divergente, pues, como ya se explicó, los rayos de luz convergen en la lente convergente. De la misma manera, se muestra el

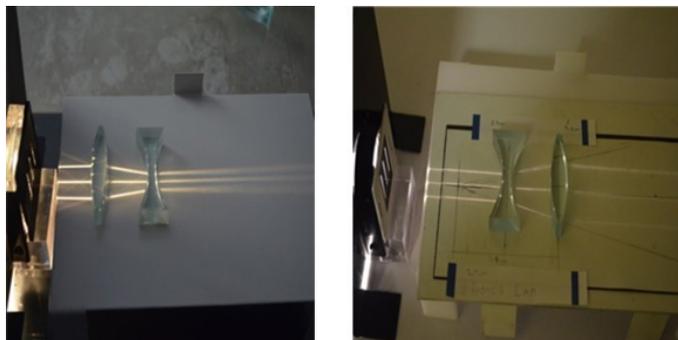
comportamiento de los rayos de luz al pasar por la lente divergente (véase figura 8).

Figura 8. Representación de los rayos de luz a través de una lente divergente



Descripción del telescopio galileano (véase figura 9), que consiste en una lente convergente y una lente divergente, de tal manera que un foco de la lente convergente coincida con un foco de la lente divergente, a fin de que los rayos que salen de la lente divergente sean paralelos (recordando que los rayos que se dirigen hacia uno de los focos de la lente divergente salen paralelos al atravesarla).

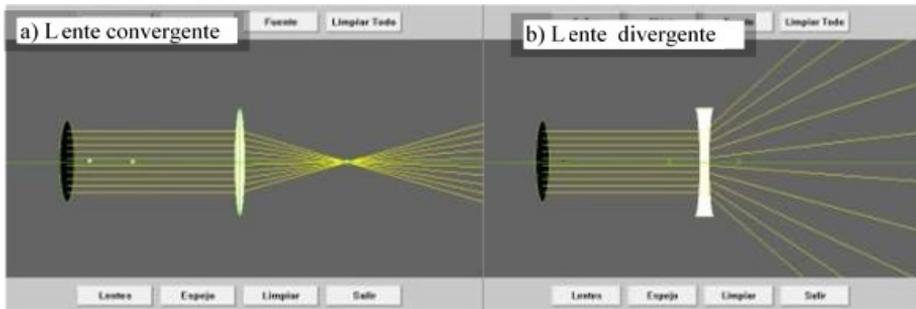
Figura 9. Arreglo experimental para el telescopio galileano



## Actividad 4

El *software* de óptica geométrica, diseñado en lenguaje C (véase figura 10), está restringido a: superficies esféricas, lentes delgadas y espejos, que se encuentran en un medio de índice de refracción igual a la unidad. Para la formación de imágenes se aplica la óptica paraxial y se muestran las imágenes del *software* para la representación de las lentes convergentes y divergentes.

Figura 10. Representación en *software* del comportamiento de los rayos de luz en las lentes  
a) lente convergente; b) lente divergente



## Actividad 5

Se muestran los accesorios del proyecto para la demostración básica del telescopio refractor (véase figura 11).

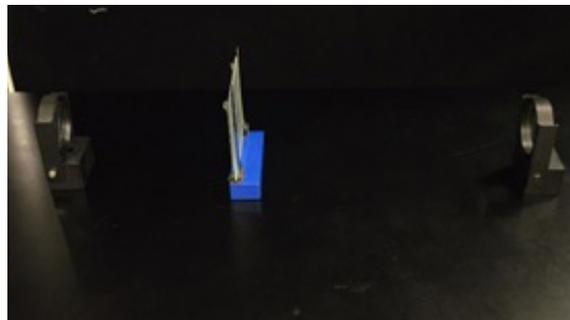
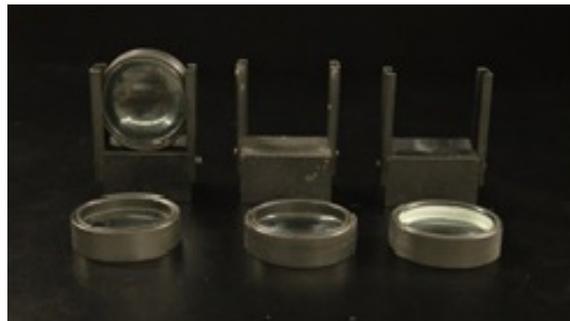
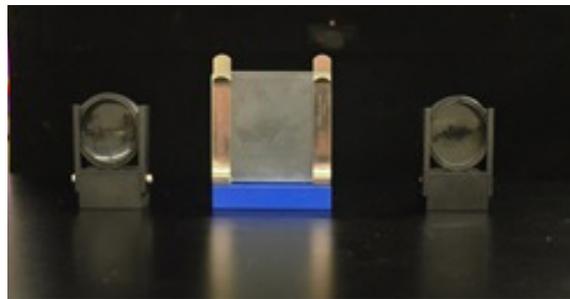
Figura 11. Accesorios para el diseño del telescopio refractor



## Actividad 6

Una vez representados los telescopios astronómico y galileano, se les entregará a los estudiantes del proyecto tres lentes esféricas, (dos convergentes y una divergente), además de un vidrio esmerilado con sus respectivas monturas, luego se les pedirá que hagan una representación de los telescopios astronómico y galileano.

Figura 12. *Representación del telescopio newtoniano*



## Conclusiones

Por medio de las observaciones realizadas durante el desarrollo de las actividades STEM y mediante la experiencia adquirida, se puede apreciar que los alumnos muestran una tendencia al desarrollo de habilidades, y sus posibilidades de reflexión crítica y autocrítica son mejores. Los estudiantes, reflexionan, valoran y utilizan el conocimiento adquirido, lo vinculan con actividades y situaciones prácticas de la vida diaria y el contexto.

## Referencias

- Coello Pisco, S., Crespo Vaca, T., Hidalgo Crespo, J. y Díaz Jiménez, D. (2018). El modelo STEM como recurso metodológico didáctico para construir el conocimiento crítico de estudiantes de Física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(2).
- Furió-Mas, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 12(2), 188-199. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21357>
- Gil, D. (14 de octubre de 2009). *Enseñanza de las ciencias, una labor que requiere un análisis detallado y encaminado hacia el verdadero aprendizaje significativo*. Buenas tareas. Recuperado el 27 de junio de 2021 de <https://www.buenastareas.com/en-sayos/Ense%C3%B1anza-De-Las-Ciencias-Una-Labor/28363.html>
- Pérez Lozada, E. y Falcón, N. (2012). Diseño de prototipos experimentales orientados al aprendizaje de la óptica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 452-465. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92013010010>
- Quintero, E. A., Orozco, H. y Hugo Gallego. (2008). Control de posición para un telescopio con motores paso a paso [Position control for step-by-step telescope with enigne]. *Revista Scientia et Technica*, 39, 382-387. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4747111.pdf>
- Ruiz, M.J. (2017). *Diseño de un prototipo de Óptica Geométrica, propiedad de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la UANL*. UANL.
- Saiz-Mendiguren, J. (2019). *Metodología STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics) aplicada a la óptica geométrica de la asignatura de Física del 2 Bachillerato* [Tesis de doctorado]. Universidad Internacional de la Rioja.
- Salazar, L. (2005). Incorporación de las TIC en los procesos de enseñanza aprendizaje. En S. Gil (1997), *Nuevas tecnologías en la enseñanza de la Física. Oportunidades y desafíos* (pp. 13-15). Memorias VI Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física.
- Smith, W. J. (2008). *Modern Optical Engineering*. McGraw-Hill.

# Capítulo 10. Metodologías de aprendizaje para enseñar el momento de torsión resultante

RUBÉN SÁNCHEZ SÁNCHEZ<sup>1\*</sup>

ELVIA ROSA RUIZ LEDEZMA<sup>2\*\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>3\*\*\*</sup>

CARLA KERLEGAND BAÑALES<sup>4\*\*\*\*</sup>

## Resumen

En este estudio se muestran los resultados de una investigación sobre el aprendizaje del momento de torsión resultante, para un grupo de estudiantes inscritos en la licenciatura Ejecutiva para la Universidad Tecnológica de México (UNITEC), del campus de Atizapán, en el Estado de México. Los estudiantes diseñaron varias configuraciones de un experimento sobre el momento de torsión de varios cuerpos dispuestos sobre los brazos de una balanza. Las dos metodologías se basaron en el ciclo PODS (predicción, observación, discusión y síntesis) del aprendizaje activo de la física, pero difieren de este en que, en un primer caso, la fase de observación se realizó con equipo real de laboratorio, mientras que, en la segunda metodología de esta fase, se emplearon simulaciones de la Universidad de Colorado. A fin de estimar el progreso de los estudiantes, se aplicó una prueba validada para una fase preliminar (antes de aplicar la metodología didáctica) y luego se volvió a aplicar para una fase posterior a la enseñanza. Los re-

---

<sup>1</sup> \* Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4393-8512>

<sup>2</sup> \*\* Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT) Núm. 11 "Wilfrido Massieu", del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9528-4146>

<sup>3</sup> \*\*\* Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

<sup>4</sup> \*\*\*\* Universidad Tecnológica de México (UNITEC, Campus Atizapán). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3420-5384>

sultados del avance en el aprendizaje de los estudiantes se pueden apreciar obteniendo y comparando los parámetros de habilidad antes y después de aplicar la metodología. Tales parámetros se calculan de acuerdo con el modelo de Rasch de la teoría de respuesta al ítem. Lo que esperamos en este trabajo es que el nivel de habilidad de los estudiantes se pueda mejorar de manera significativa al momento de emplear estas metodologías didácticas de aprendizaje.

**Palabras clave:** metodologías de aprendizaje, momento de torsión resultante, modelo de Rasch.

## Introducción

La investigación que presentamos muestra los resultados sobre el aprendizaje del momento de torsión resultante, para un grupo de estudiantes inscritos en una licenciatura ejecutiva de la Universidad Tecnológica de México (UNITEC), en el Estado de México. El trabajo se realizó con estudiantes cuya edad promedio era de 36 años. La población de estudiantes consta en parte de personas que ya residen en áreas de trabajo y regresan al salón de clase para mejorar su currículum y aspirar a mejores posiciones de trabajo. Otra parte de la población lo hace para mejorar sus conocimientos formativos y continuar en sus empleos, aunque también existe otra parte que desea mejorar su formación básica.

A los estudios que se llevan en la UNITEC para personas mayores a los 25 años, se les denominan licenciaturas ejecutivas. Cabe señalar que, para desarrollar las actividades académicas y las prácticas, no se cuentan con todos y cada uno de los recursos materiales, además, el docente tampoco tiene suficiente tiempo ni suficientes sesiones para impartir la materia de Mecánica Clásica, sino que sólo cuenta con alrededor de 12 sesiones académicas (de menos de dos horas cada una), donde debe ser lo suficientemente organizado y sistemático para preparar su material y las actividades académicas que requiere el amplio programa de dicha materia. Dadas estas condiciones un tanto limitadas para poder trabajar con los estudiantes, se debe de pensar en una buena estrategia de aprendizaje para que estos apro-

vechen bien el tiempo de estudio y alcancen las habilidades adecuadas y el conocimiento necesario para la asignatura de Mecánica Clásica.

Para la planeación de un buen trabajo docente, se optó por aplicar una metodología didáctica sólo en un tema de estudio que tradicionalmente presenta dificultad en su aprendizaje. Aquí se escogió el tema del momento de torsión resultante de un sistema de cuerpos. También se optó por las metodologías activas de enseñanza que han demostrado buenos resultados en los Estados Unidos (Sokoloff y Thornton, 2006). Sin embargo, y debido a las condiciones de trabajo para el docente, se pensó en seguir dos metodologías didácticas que fueran activas y que se basaran en metodologías de estudio ya conocidas.

También, y dada la eficacia de las metodologías STEM que involucran la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (Botero Espinoza, 2018; Felder y Brent, 2016), queríamos que el estudiante utilizara un poco de estas cuatro áreas del conocimiento. De tal suerte que, en una metodología, se usaron los diseños de los experimentos por prototipos, los cuales involucran a la misma ciencia (como veremos enseguida), y en la otra utilizamos simulaciones para reproducir los resultados que un experimento real haría mediante elementos tecnológicos. Asimismo, les pedimos a los alumnos que diseñaran propuestas iniciales propias del experimento y se ayudaran con dibujos para fomentar sus actitudes en ingeniería; además, cuando querían explicar lo que sucedía con sus propuestas, debían de comprobar las relaciones matemáticas que hay detrás del fenómeno de torsión, por lo que las metodologías también involucraron las matemáticas. Para una primera aproximación metodológica, se pensó en utilizar equipo y material real, que fuera fácil y sencillo de conseguir; para una segunda aproximación, se utilizaron materiales de simulación, que ya estuvieran disponibles de forma gratuita en internet.

## **La utilización de prototipos didácticos**

En este trabajo se les pidió a los estudiantes que realizarán un dibujo de los prototipos que irían a utilizar para reproducir lo que le pasa a un sistema de cuerpos cuando experimenta una torsión resultante. La idea aquí consistió en que el profesor les propusiera a los estudiantes ideas generales de

cómo armar un sistema mecánico con varios cuerpos donde fuera posible calcular y medir la torsión resultante, con alguno de los pocos medidores que se cuenta en la escuela. Así se llegó a una propuesta de un sistema con una viga y un punto de apoyo, con varios cuerpos, cuyos pesos provocarían que se alcanzara cierto momento de torsión y haría que el sistema se moviera y se pudiera medir. Entonces los estudiantes propusieron varias configuraciones posibles y trazaron un dibujo esquemático de la situación para analizarlo. Posteriormente, se les pidió a los estudiantes que practicaran diseñando varios de estos prototipos (véanse figuras 1 y 2).

Figura 1. Dibujo de un estudiante para un prototipo de una disposición de pesas para estudiar la torca



Figura 2. Dibujo de un estudiante para proporcionar otra disposición de pesas para estudiar la torca

## La utilización de simulaciones

La utilización de prototipos didácticos para estudiar el momento de torsión de un sistema mecánico es una práctica pedagógica muy buena, ya que permite a los estudiantes manipular con sus propias manos el experimento; además, el diseño de varias situaciones o configuraciones propuestas por ellos mismos fomenta su creatividad inherente. De esta forma, la idea original y primordial de poner las manos y la mente sobre el mismo fenómeno físico se cumple (Sokoloff, Thornton y Laws, 2011).

Sin embargo, el avance de las tecnologías de la información y la comunicación hacen posible la aparición de una segunda aproximación a la metodología esencial que yace en los principios constructivistas de Piaget (1969, 1997; Wadsworth, 2003), así como en el aprendizaje en un entorno social según las ideas de Vygotsky (1978; Karpov, 2014; Moll, 2013). De esta manera, se propuso una segunda aproximación a la primera metodología activa de enseñanza, sin perder los principios elementales del aprendizaje activo, que principalmente centran el proceso de aprendizaje en el mismo estudiante. Aunque, para ser justos —y siguiendo las ideas de Vygotsky—, también los principios del aprendizaje descansan en el entorno social donde el estudiante puede compartir su punto de vista con otros estudiantes, los cuales de igual forma tratan de entender el mismo fenómeno físico.

Llegados a este punto, el docente pudo proponer la sustitución del material físico parcialmente proporcionado por el mismo estudiante, por una tecnología de la información y la comunicación que fuera adecuada para imitar el comportamiento de un sistema físico con torsión. De tal manera, se llegó a la conclusión de que podemos emplear recursos públicos y educativos por internet que no representen un costo elevado para realizar la labor educativa. Pudimos entonces proponer el empleo de las simulaciones gratuitas de la Universidad de Colorado en Estados Unidos (PhET, *s/f*).

Nos basamos entonces en una tendencia moderna hacia el empleo de las computadoras como herramienta normal dentro de los salones de clase. Por ejemplo, Wilcox y Jensen (1997) mencionan que los que se dedican a investigar en educación deben explorar cómo es que los docentes pueden utilizar estrategias tradicionales y contemporáneas que involucren el uso de computadoras y otras tecnologías, a fin de crear un ambiente de aprendiza-

je atractivo y estimulante que promueva el interés del estudiante por aprender ciencia.

## El ciclo esencial de aprendizaje

Si nos basamos en los recursos de las secciones anteriores y tomamos un modelo general que provoque un proceso de enseñanza activo y centrado en los estudiantes, podemos proponer dos aproximaciones que tomen como base fundamental el original ciclo PODS del aprendizaje activo de la física, propuesto por Sokoloff, Thornton y Laws (2006). Esto sin modificarlo mucho y sólo adecuando un poco alguna de sus fases para que se adapten a las situaciones que se presentan en un entorno escolar específico. Como ya lo mencionamos antes, contamos con ciertos instrumentos para medir el momento de torsión y un software que nos puede ayudar, además de la creatividad de los estudiantes para el diseño de situaciones físicas, que involucren el momento de torsión de un sistema mecánico de cuerpos.

Con esto en mente, propusimos dos metodologías didácticas basadas en ciclos PODS ajustados a las necesidades locales de la institución, donde se realizó la investigación. Previo al ciclo principal de enseñanza el profesor suministró materiales de enseñanza en el tema y expuso los puntos relevantes del tema de manera general, sin dar detalles. Después se ejecutó el ciclo primordial de aprendizaje que, como dijimos antes, diferiría un poco del ciclo PODS original. La fase de la predicción para ambas metodologías de enseñanza consistió en el reparto de hojas, en donde el estudiante describió lo que sucedería para cada caso propuesto, con el momento de torsión.

La primera metodología en la fase de la observación requirió el diseño de los estudiantes con una balanza y un punto de apoyo con unas sencillas pesas usadas para la ocasión. La segunda metodología para realizar la observación se trató de una simulación de la Universidad de Colorado, con la cual los estudiantes variaron las condiciones del experimento simulado de acuerdo con los recursos proporcionados por esta herramienta didáctica. Por su parte, la fase de discusión para ambos casos consistió en que grupos de tres o cuatro estudiantes dialogaran para describir, con sus propias palabras, lo que sucedió en los experimentos. Finalmente, la fase de síntesis para ambas metodologías consistió en que un representante de cada grupo

expusiera sus ideas frente a la clase, para explicar cada fenómeno observado en cada configuración estudiada.

Por su parte, cuando el profesor encontró que un porcentaje aceptable de la clase aprendió los nuevos conceptos de forma correcta se acabó el ciclo y la sesión de aprendizaje. En caso contrario, el profesor debía indicar a los grupos que repitieran el ciclo hasta que un número aceptable de estudiantes hubiera aprendido los conceptos correctos del momento de torsión. Con estos pasos, aunados al diseño de los estudiantes que usaron su ingenio, la comprensión matemática que se espera del fenómeno, el método de observación apegado a los principios de la ciencia y el uso de la tecnología de simulación, estamos utilizando los principios de abordar el problema mediante los elementos de una educación STEM.

## Resultados gráficos

Antes de que se efectuara la práctica metodológica, el docente aplicó una prueba sobre el momento de torsión (identificada esta fase como el momento del pretest), que fue diseñada por él y que va de acuerdo con las prácticas realizadas por los estudiantes (PhET, s/f). Posteriormente, se aplicó la metodología de enseñanza para cada uno de los dos grupos y se volvió a aplicar la misma prueba (lo cual se identificó con la fase del postest).

Para dar una idea del avance de los estudiantes en cada grupo, se utilizó un análisis de resultados que va acorde con el modelo de Rasch, de la teoría de respuesta al ítem (Fischer y Molenaar, 1995). Según este modelo, cada estudiante, durante la aplicación de la prueba, tiene cierta probabilidad de que conteste en forma correcta o incorrecta a cada ítem o pregunta del examen aplicado. Así, por ejemplo, el primer estudiante, tendrá la probabilidad de responder bien a la primera pregunta del test, dependiendo de la habilidad alcanzada por el estudiante en el momento de la prueba.

Después de la aplicación del examen o prueba, el profesor se dedica a examinar si el estudiante respondió bien o mal a cada pregunta del test. Supongamos ahora que el docente está revisando la primera pregunta del test que aplicó y está evaluando al primer estudiante del grupo. Si el profesor encuentra que el estudiante respondió bien la pregunta, entonces apuntará en sus registros un número 1, lo cual indica que la ha sido respondida

correctamente por el primer estudiante. Si, por el contrario, encuentra que la primera pregunta del test fue respondida de forma incorrecta por el primer estudiante, entonces anotará en sus registros un 0. Si repite este proceso para cada una de las preguntas o ítems del test, y para cada estudiante del grupo, obtendrá una tabla de registros con unos y ceros. Sus resultados pueden disponerse en una tabla (o matriz) de dos dimensiones, donde las columnas indican el número de pregunta del test, y los renglones indicarían qué número de estudiante del grupo está evaluando. El estudio de caso que presentamos quedó como se muestra a continuación:

Tabla 1. *Datos del pretest para el grupo A*

Estudiantes	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	1	0	1	0
2	0	0	0	0	1
3	1	0	1	0	0
4	0	1	0	1	0
5	0	1	0	0	0
6	1	0	0	0	1
7	0	0		1	0
8	1	1	0	0	0

Tabla 2. *Datos del postest para el grupo A*

Estudiantes	P1	P2	P3	P4	P5
1	1	1	0	0	1
2	1	1	1	0	1
3	1	1	1	0	1
4	0	1	0	1	0
5	1	0	1	0	1
6	1	1	1	0	0
7	1	0	0	1	1
8	0	1	0	0	1

En las tablas 1 y 2 se muestran los resultados del pretest y postest para el grupo A, que es el que llevó como apoyo didáctico el material físico que respaldaba la fase de la observación. Por su parte, en las tablas 3 y 4 se muestran los datos recogidos por el docente para el grupo B, el cual llevó en su metodología el apoyo de las simulaciones en la fase de la observación. Posteriormente, se trataron los datos mediante la teoría del modelo de

Rasch. Existen métodos numéricos (CRAN, s/f; Manual de uso ltm, 2018; Manual de uso eRm, 2021) para poder calcular las curvas de respuesta al ítem de cada una de las cuatro tablas pasadas, de manera que tenemos un grupo de curvas (llamadas en inglés ICC o *Item Characteristic Curve*) dirigidas a cada una de las preguntas del test, tanto para el pretest como para el postest, y tanto para el grupo A como para el B. Si se grafican los valores, se puede visualizar el progreso de cada uno de los dos grupos, así como el parámetro de habilidad de cada estudiante, tanto del grupo A como del B. El primero de estos grupos utilizó material para realizar la fase de observación del ciclo PODS y el segundo se sirvió de simulaciones para realizar la misma fase.

Tabla 3. Datos del pretest para el grupo B

Estudiantes	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1
6	0	0	0	1	0
7	1	1	0	0	0
8	0	0	0	0	1

Tabla 4. Datos del postest para el grupo B

Estudiantes	P1	P2	P3	P4	P5
1	0	1	0	1	1
2	1	1	0	0	1
3	1	0	1	0	1
4	1	1	0	1	1
5	1	1	1	1	0
6	0	0	1	0	1
7	1	1	0	1	0
8	1	1	0	0	1

Las curvas de la muestra de ocho estudiantes se pueden ver en las figuras 3 y 4 (para el grupo A), y en las figuras 5 y 6 (para el grupo B). En la figura 7 se presenta la estimación numérica de los parámetros de habilidad para el grupo A, tanto en la fase de pretest como del postest, de tal suerte

que se puede apreciar si hubo alguna ganancia en su aprendizaje, lo que en realidad se confirma, pues se puede apreciar que hubo una ganancia muy buena en el parámetro de habilidad de cada persona con la primera metodología activa, basada en el aprendizaje activo de la física.

Por su parte, en la figura 8 se muestra la estimación numérica para el grupo B, con los parámetros de habilidad en el pretest para comparar el mismo parámetro de habilidad (del mismo estudiante) en la fase del postest. Si vemos la figura 8, observamos que la metodología didáctica empleada, y basada en los principios del aprendizaje activo de la física, ha tenido muy buenos resultados, pues el parámetro de habilidad para cada uno de los estudiantes ha mejorado bastante. En la teoría del modelo de Rasch existen los parámetros de habilidad de los estudiantes y los parámetros de dificultad del test. Entonces, teóricamente si conocemos el parámetro de dificultad de una pregunta, se puede hacer variar el parámetro de habilidad de la persona y encontrar lo que se conoce como la curva característica al ítem, donde la probabilidad de que un estudiante responda bien a una pregunta dada (con parámetro de dificultad definida) depende del parámetro de habilidad que tenga el estudiante que responda a la pregunta.

Figura 3. Curvas de respuesta al ítem para el grupo A en su fase del pretest

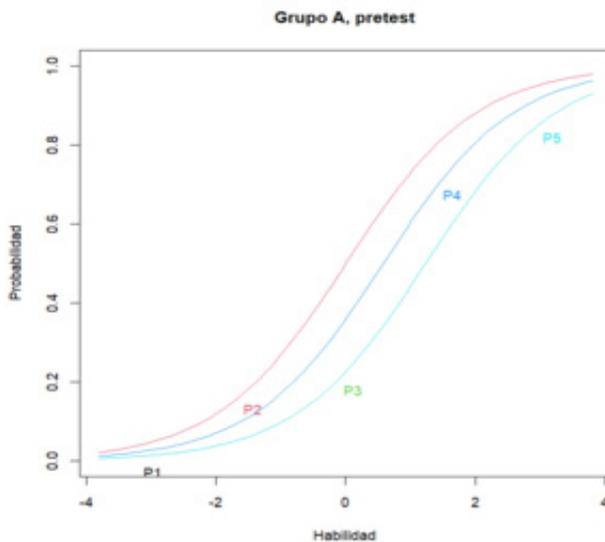
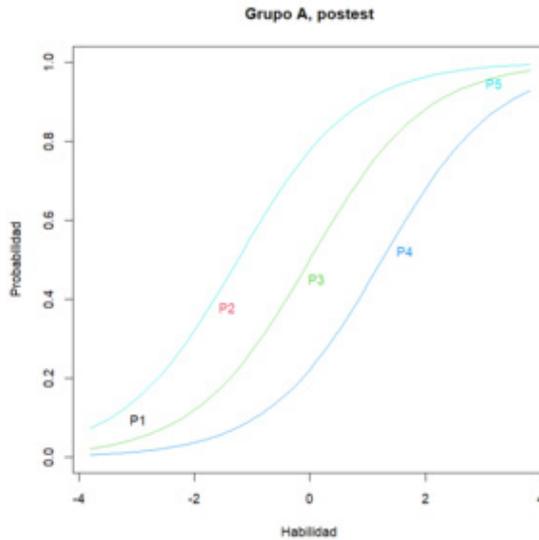


Figura 4. *Curvas de respuesta al ítem para el grupo A en su fase del posttest*

En la figura 3 se muestra la probabilidad de que los estudiantes respondan bien, por ejemplo, a la pregunta uno (indicada por la curva marcada con P1), y esta probabilidad depende del parámetro de habilidad que responda a la pregunta o ítem del test o examen. De esta forma, la curva va creciendo de cero a uno en forma progresiva, conforme crece el valor del parámetro de habilidad (de cero a uno), y como la escala es logarítmica se supone que el parámetro de habilidad crece de manera continua de menos infinito (o infinito negativo) a más infinito (o infinito positivo). En este caso, donde se tomó una muestra aleatoria de ocho estudiantes del grupo total, vemos que las curvas de las preguntas P1, P3 y P5 se aproximan a un mismo lugar geométrico. Las preguntas P2 y P5 se apartan de ellas, y tienen su propia curva de probabilidad, debido a las características de los datos que usamos para realizar el cálculo. La tabla 1 muestra más o menos una uniformidad en aciertos para las preguntas P1, P3 y P5, mientras que las otras dos preguntas tienen más aciertos y se encuentran con mayor probabilidad de ser respondidas correctamente, de acuerdo con los mismos datos de dicha tabla.

Ahora bien, como el método es numérico y el esquema responde a la teoría del modelo de Rasch, podemos pensar en estos resultados como aproximaciones a la realidad, y con base en sus resultados realizar una interpretación adecuada. Supongamos que  $\theta$  es el parámetro de habilidad del ítem, entonces, según Baker y Kim (2017, p. 11), tenemos el siguiente criterio: (1) muy difícil para:  $\theta < -2.625$ ; (2) difícil para:  $-2.625 < \theta < -1.5$ ; (3) media para:  $-1.5 < \theta < 1.5$ ; (4) fácil para:  $1.5 < \theta < 2.625$ ; (5) muy fácil para:  $2.6 < \theta$ . De esta forma tenemos una guía para interpretar los valores obtenidos en el parámetro de habilidad de las figuras 7 y 8 que se presentarán más adelante.

Figura 5. Curvas de respuesta al ítem para el grupo en su fase del pretest

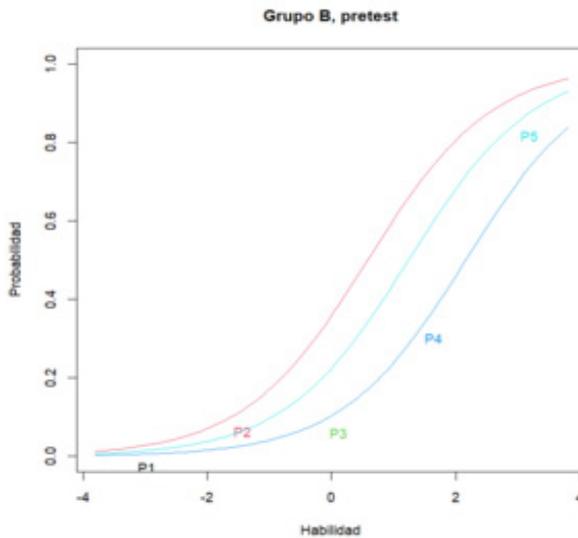
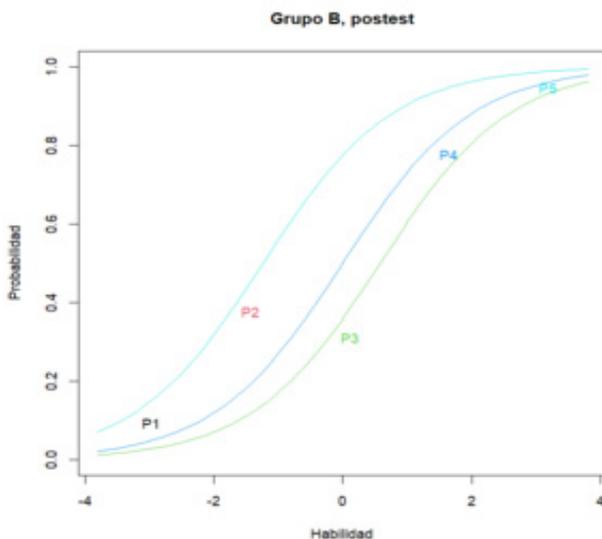


Figura 6. Curvas de respuesta al ítem para el grupo B en su fase del posttest



Por otro lado, la ecuación del modelo de Rasch, para estos casos, se puede escribir de manera simplificada por la ecuación (1):

$$P_i(\theta_j) = \frac{\exp(\theta_j - \delta_i)}{1 + \exp(\theta_j - \delta_i)}$$

Donde  $P_i(\theta_j)$  es la probabilidad de que el estudiante responda bien la pregunta  $i$  del cuestionario,  $\theta$  representa el parámetro de habilidad del estudiante número  $j$ , y delta  $\delta_i$  representa el parámetro de dificultad de la pregunta  $i$ , de la prueba o test. Las figuras 3 a 6, para este caso, muestran el carácter exponencial de esta ecuación y la característica de que ella modela bien la probabilidad de que un estudiante  $j$  del grupo responda acertadamente la pregunta o ítem número  $i$  del cuestionario.

Figura 7. Gráfica de los parámetros de habilidad del grupo A. En el pretest y el postest se observa una tendencia a mejorar el nivel de habilidad de los estudiantes al emplear una metodología activa de enseñanza

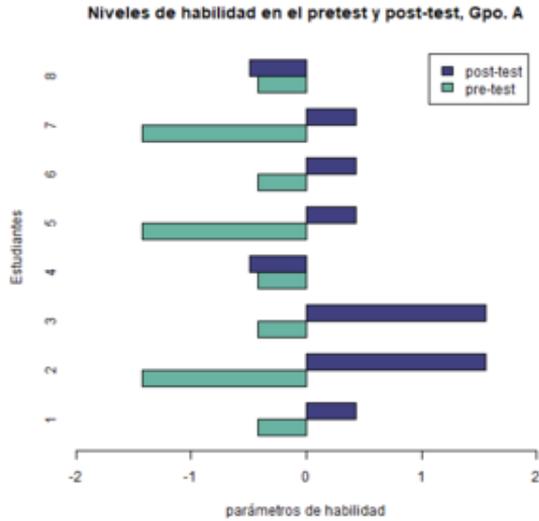
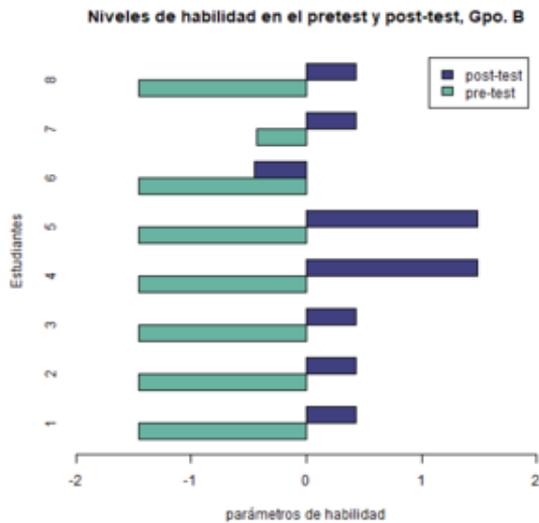


Figura 8. Gráfica de los parámetros de habilidad del grupo B. En el pretest y el postest se observa una tendencia a mejorar el nivel de habilidad de los estudiantes al emplear una metodología activa de enseñanza



## Conclusiones

Debemos decir que este trabajo nos proporcionó un resultado particular para un estudio de caso. Sin embargo, podemos observar los resultados y pensar que las metodologías basadas en la actividad del estudiante en su propio proceso de enseñanza adquieren por lo regular buenos resultados de aprendizaje. En este caso particular, sirvió para estudiar el momento de torsión resultante de un sistema físico, pero hay que recordar que hemos logrado que, en el proceso de enseñanza, los estudiantes incorporen elementos STEM, es decir, aquellos propios de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Al ver los resultados del parámetro de habilidad en las figuras 7 y 8 podemos inferir que ambas metodologías didácticas son bastante buenas para que los estudiantes aprendan los temas de momento de torsión en las aulas. Los parámetros de habilidad en el postest, para ambos grupos, fueron mejores a los correspondientes del pretest, lo que indica que los estudiantes están respondiendo bien a estas metodologías de enseñanza. Con estos resultados y en este estudio de caso, podemos hacernos a la idea de que, manteniendo los principios de la metodología original del aprendizaje activo de la física y la metodología STEM, se obtienen buenos resultados en el aprendizaje, porque los estudiantes alcanzan buenos niveles en el parámetro de habilidad para el tema de momento de torsión.

## Referencias

- Baker, F. B. y Kim, S. H. (2017). *The Basics of Item Response Theory Using R*. Springer Verlag.
- Botero Espinosa, J. (2018). *Educación STEM: Introducción a una nueva forma de enseñar y aprender*. STEM Ediciones Colombia.
- CRAN (s/f). *The R Project for Statistical Computing*. Recuperado el 2 de mayo de 2021 de <https://www.r-project.org>
- Felder, R. M. y Brent, R. (2016). *Teaching and Learning stem. A practical Guide*. Jossey-Bass.
- Fischer, G. H. y Molenaar, I. W. (1995). *Rasch Models. Foundations, Recent Developments, and Applications*. Springer Verlag.
- Karpov, Y. V. (2014). *Vygotsky for Educators*. Cambridge University Press.

- Manual de uso eRm (2021). *Package 'eRm'*. <https://cran.r-project.org/web/packages/eRm/eRm.pdf>
- Manual de uso ltm (2022). *Package 'ltm'*. <https://cran.r-project.org/web/packages/ltm/ltm.pdf>
- Moll, L. C. (2013). *L. S. Vygotsky and Education*. Routledge.
- PhET Interactive Simulations, (s/f). *Ley de equilibrio*. Recuperado el 27 de octubre de 2021 de <https://phet.colorado.edu/es/simulation/balancing-act>
- Piaget, J. (1969). *The Psychology of the Child*. Basic Book.
- Piaget, J. (1997). *The Moral Judgment of the Child*. Free Press.
- Sokoloff, D. R., Thornton, R. K. y Laws, P. W. (2011). *Real Time Physics: active Learning Laboratories, Module 1: Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sokoloff, D. R. y Thornton, R. K. (2006). *Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Wadsworth, B. J. (2003). *Piaget's Theory of Cognitive and Affective Development*. Pearson College.
- Wilcox, K. J. y Jensen, M. S. (1997). Computer Use in the Science Classroom: Proceed with Caution! What Educators Still Need to Learn About Computer Exploitation. *Journal of College Science Teaching*. 258-264. <https://www.nsta.org/journals/journal-college-science-teaching/journal-college-science-teaching-february-1997/computer>

# Capítulo 11. Estrés en profesores de física al impartir clases en línea por la pandemia de COVID-19

FLAVIO ROMO<sup>1\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Presentamos los resultados de un estudio realizado a 24 docentes con la interfaz cerebro-máquina no invasiva, el cual arroja datos de la actividad cerebral a través de registros electroencefalográficos, tanto en una línea basal como en una situación de enseñanza virtual. Los metadatos obtenidos permiten arrojar gráficas que muestran en 3D la actividad cerebral representada en modelos anatómicos del cerebro, y muestran las ondas cerebrales (delta, theta, alfa, beta, beta2, y gama) como significativas en patrones de estrés (en especial beta 2). Con la misma interfaz cerebro-máquina no invasiva, así como con un *software* de análisis de metadatos a través de OSC Streaming en formato CSV en protocolo *buffer* de texto sin formato, se grabaron los datos aproximadamente cada segundo. Dichos metadatos pueden ser graficados con un *software* de neuroretroalimentación, el cual utiliza las ondas cerebrales detectadas por la interfaz cerebro-máquina no invasiva, para determinar los estados mentales de calma o actividad, de tal suerte que transforma dichas señales en sonidos que permiten identificar al usuario, en tiempo real, su nivel de actividad mental. Los resultados obtenidos permiten inferir que existe un nivel de efectividad en la combinación

---

<sup>1</sup> \* Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2950-5240>

<sup>2</sup> \*\* Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

del método de neuroretroalimentación y la técnica cognitiva-conductual de la desensibilización sistemática, para disminuir los niveles de estrés en los docentes ocasionados por la modalidad virtual emergente debida al confinamiento derivado por la COVID-19.

**Palabras clave:** *estrés académico, neuroeducación, formación de profesores de física.*

## Introducción

La presencia del nuevo coronavirus SARS-COV-2 ha generado la pandemia de COVID-19, que ha alterado la normalidad alrededor del mundo. Sin una preparación estandarizada en el sector educativo para enfrentar esta nueva situación, los maestros de educación básica y, en especial para este estudio, de física en educación secundaria han tenido que afrontar problemáticas relacionadas con el cumplimiento de los programas de la materia, así como dificultades para mantener la atención de los estudiantes y para sacar provecho de los programas virtuales (en línea, en radio y en televisión) que la Secretaría de Educación Pública ha puesto a disposición de los alumnos. Lo anterior plantea una situación estresante para los maestros, de quienes aún no se han dimensionado las repercusiones inmediatas y mediatas, tanto en su calidad de vida como en su calidad educativa.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio realizado a 24 docentes con la interfaz cerebro-máquina no invasiva, el cual que arroja datos de la actividad cerebral a través de registros electroencefalográficos, tanto en una línea basal como en una situación de enseñanza virtual. Los metadatos obtenidos permitieron arrojar gráficas que muestran en 3D la actividad cerebral representada en modelos anatómicos del cerebro y muestran las ondas cerebrales (delta, theta, alfa, beta, beta2, y gamma) como significativas en patrones de estrés (en especial beta 2). Con la misma interfaz cerebro-máquina no invasiva, así como con un *software* de análisis de metadatos a través de OSC Streaming en formato CSV en protocolo *buffer* de texto sin formato, se grabaron los datos aproximadamente cada segundo. Dichos metadatos pueden ser graficados con un *software* de neuroretroalimentación (Clutterbuck, 2015), el cual utiliza las ondas cerebra-

les detectadas por la interfaz cerebro-máquina no invasiva para determinar los estados mentales de calma o actividad, a fin de transformar dichas señales en sonidos que permiten identificar al usuario, en tiempo real, su nivel de actividad mental (Muse, 2018). Los resultados obtenidos permiten inferir que existe un nivel de efectividad en la combinación del método de neuroretroalimentación y la técnica cognitivo-conductual de la desensibilización sistemática, para disminuir los niveles de estrés en los docentes ocasionados por la modalidad virtual emergente, debida al confinamiento derivado por la COVID-19, ya que:

- El promedio del nivel de estrés en los docentes (identificado en ondas beta 2) disminuyó un 52%, para de esta manera encontrarse en el punto intermedio entre el estrés que anteriormente sentían y un estado de reposo (su línea basal).
- Los 12 estresores no tecnológicos presentaron una disminución del nivel de estrés en un 55% y se aumentó el nivel de competencia en un 27%.
- Además los nueve estresores tecnológicos presentaron una disminución del nivel de estrés en un 51%, y se aumentó el nivel de competencia de un 21 por ciento.

## Preguntas de investigación

¿Cómo pueden desarrollarse estrategias de afrontamiento del estrés para los docentes de física, mediante el uso del método de neuroretroalimentación con la interfaz cerebro-máquina no invasiva, ante la situación de la enseñanza de la física con la modalidad emergente en línea? ¿Qué tan viable es la técnica cognitivo-conductual de desensibilización sistemática, como alternativa para generar en los docentes de física herramientas de afrontamiento del estrés mediante la imaginación autoguiada de sus estresores ante la imposibilidad de impartir clases presenciales? ¿Qué tan efectiva es la combinación del método de la neuroretroalimentación y la técnica cognitivo-conductual de la desensibilización sistemática para disminuir los niveles de estrés de los docentes de física, ocasionados por la modalidad emergente en línea debido al confinamiento producido por la COVID-19?

## Hipótesis

El desarrollo de esta investigación versa sobre las siguientes tres hipótesis generadas por las anteriores preguntas de investigación:

1. La neuroretroalimentación es un método que brinda información en tiempo real a los usuarios y les permite conocer su desempeño cognitivo a través de la lectura de los impulsos electroencefalográficos, lo cual les permite modificar patrones de actividad cerebral relacionados con conductas específicas. Este método puede ser aplicado para identificar los niveles de estrés y ansiedad, a fin de generar estrategias para que los docentes de física puedan afrontarlos.
2. La técnica cognitiva-conductual de desensibilización sistemática ha sido utilizada en situaciones clínicas, por medio de la manipulación de exposición gradual y paulatina a estímulos aversivos y estresantes que generan ansiedad, ya sea de forma real o por medio de imaginación guiada (este último es el medio más utilizado) para generar respuestas que vayan inhibiendo dicha ansiedad y que resulten funcionales para el individuo. Esta técnica puede ser aplicada para que los docentes de física imaginen situaciones que se les han presentado anteriormente durante la impartición de clases en la modalidad en línea, y que les han generado estrés, con la finalidad de desarrollar herramientas significativas para afrontarlas en situaciones futuras que ya hayan resuelto positivamente en la imaginación.
3. Combinando los datos que el docente de física obtiene en tiempo real a través del método de la neuroretroalimentación, así como la imaginación autoguiada para propiciar la desensibilización sistemática ante estresores tecnológicos y no tecnológicos que pueden presentarse al momento de impartir clases en línea, existe la posibilidad de que se aumente la eficacia de las herramientas desarrolladas por ellos mismos para afrontar el estrés.

## Marco teórico

El fenómeno psicofisiológico del estrés en los ámbitos académicos ha sido abordado desde diversos ángulos, muchos de ellos considerados como estrés académico acotado a niveles de estudios superiores (Berrío y Mazo, 2011; Castrillón *et al.*, 2015; Delgado, 2017; García-Ros *et al.*, 2012; Martín, 2007; Román y Hernández, 2011). Como menciona Román y Hernández (2011), la concepción sobre el estrés académico que actualmente se tiene no está vinculada a la perspectiva psicopedagógica, ni tampoco ha sido investigada debidamente desde la neuroeducación en los niveles escolares de educación media. El impacto del estrés en los procesos educativos puede repercutir negativamente en la enseñanza de materias que, de manera común, generan ansiedad, a saber, las ligadas a la enseñanza de las ciencias y, en específico, la física y la química (Román y Hernández, 2011).

El estrés académico que la materia de física produce, tanto en algunos estudiantes de nivel secundaria como en los docentes que imparten dichas asignaturas, puede tener un origen multifactorial, por lo que el paradigma biopsicosocial brinda una mejor identificación de las relaciones que estos factores pueden tener en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Delgado, 2017; Nogareda, s/f). Si entendemos la interrelación de estos factores desde la neuroeducación, se puede abordar esta problemática al tomar como fundamento la teoría de las habilidades dinámicas (del modelo de estructuralismo dinámico), el cual menciona que el desarrollo cognitivo es sistémico, basado en ciclos de desarrollo y establecido bajo redes complejas con bucles de retroalimentación.

Considerando lo anterior, el estrés académico puede ser un síntoma de deficiencias educativas anteriores al encuentro que tiene el estudiante con la materia de física en la etapa de educación media, por lo que al momento de que el profesor se encuentra con dichas deficiencias al momento de impartir clases genera un ambiente estresante (León-Carrión, como se citó en Mora, 2001; Markowitsch, 2004). Por lo anterior, el manejo del estrés que el docente debe desarrollar al momento de impartir su clase en una nueva modalidad donde no sea competente (como en el caso de la modalidad a distancia) es primordial para no convertirse en un estresor para sus alumnos.

La neuroretroalimentación brinda, por medio de la ciencia aplicada a la clínica médica y la utilización de los avances tecnológicos en la actividad cerebral de manera no invasiva, información al usuario (por medio de una interfaz cerebro-computadora que la procesa y la hace asequible) de manera directa y en tiempo real a la actividad electroencefálica. Esta información le permite al usuario identificar patrones de ondas cerebrales que se correlacionan con estados mentales y generar mecanismos de autorregulación que le permiten gestionar de manera consciente y voluntaria tanto su situación anímica, como sus procesos cognitivos (Jiménez-Muro y Abenia, 2018).

La aplicación de los datos electroencefalográficos para tratamientos de condicionamiento operante se empezó a utilizar en la década de los sesenta por Josep Kamiya, quien usó un protocolo de reforzamiento positivo por medio de recompensas a los individuos que alteraban su actividad cerebral cuando seguían instrucciones. Desde un inicio se buscó que los sujetos aprendieran a modificar sus patrones de actividad electroencefálica por medio de un programa de entrenamiento que se vale de la retroalimentación en tiempo real con instrumentos auditivos y visuales, los cuales representan los resultados electroencefalográficos de forma no clínica sino entendible, amigable y significativa para cualquier persona promedio (Castillo y Cruz-Bermúdez, 2018; Fajardo y Guzmán, 2016). Una ventaja real de la neuroretroalimentación es que, al brindar datos objetivos, puede eliminar sesgos subjetivos, o de apreciación personal, sobre el rendimiento que el usuario está teniendo ante una determinada situación o al enfrentar un estímulo específico, de tal manera que se vuelve más plausible mejorar su desempeño.

Por otro lado, Joseph Wolpe desarrolló en 1958 la técnica terapéutica nombrada “desensibilización sistemática”, que puede ser encuadrada dentro de las terapias cognitivo-conductuales y que en un inicio se utilizó para el tratamiento de las fobias como proceso de extinción mediado por la exposición a situaciones ansiógenas (circunstancias que producen ansiedad) (Salorio del Moral, 2000; Vallejo-Slocker y Vallejo, 2016; Villamarín Cid, 1990). Wolpe (1993) describió la desensibilización sistemática como: “Uno de varios métodos que sirven para romper hábitos neuróticos de respuesta de ansiedad de una forma escalonada, que sigue el modelo de la terapia de la neurosis experimental. Al paciente se le induce un estado fisiológico inhibitorio de la ansiedad, por medio de la relajación muscular. A continuación, se le presen-

ta un estímulo que provoca débilmente la ansiedad por unos pocos segundos. La repetida presentación del estímulo hace que éste pierda progresivamente su capacidad de evocar ansiedad. Sigue la presentación sucesiva de estímulos cada vez más fuertes mediante un tratamiento similar. Este método ha servido para eliminar una gran cantidad de hábitos neuróticos, a menudo en un tiempo muy corto. También ha capacitado a los terapeutas para tratarlos casi en cualquier orden que elijan y con la insistencia que deseen” (p. 145).

Pedagógicamente hablando, la desensibilización sistemática se utiliza de manera contingente a las conductas que se desean extinguir con la presentación de determinados estímulos, de manera real o simulada, en forma gradual y jerarquizada de situaciones que le generen ansiedad al individuo. Una vez que lo anterior se realiza, la persona debe generar respuestas que afronten la ansiedad, tanto a nivel cognitivo como a nivel conductual. (Salorio del Moral, 2000).

## Metodología

Se contempló la población de maestros de nivel medio del estado de Aguascalientes, calculada en 2416 docentes en el sector público (Instituto de Educación de Aguascalientes, 2021). De dicha población, se tomó en cuenta solamente a los maestros que imparten dentro del área de ciencias naturales y tecnología, en especial aquellos que enseñan la materia de física. Enseguida, se realizó una invitación abierta, por medios digitales, a los profesores que imparten la materia de física a nivel secundaria en el sector público, en la cual se solicitaba, ante la emergencia sanitaria de la COVID-19, “la participación voluntaria del personal docente, de educación secundaria (general, técnica, y telesecundaria), que imparta la asignatura de ciencias (física) en activo en servicio público educativo, mismo que deberá registrar su participación” (Instituto de Educación de Aguascalientes, 2020, p. 1).

La invitación se llevó a cabo mediante la circular DCM 17/11/2020 “Protocolo de investigación sobre estrés en profesores”, así como también por la red social de Facebook. El criterio de inclusión fue: 1) ser personal docente frente a grupo a nivel secundaria y que imparta la materia de física. Mientras que los criterios de exclusión fueron: 1) ser personal docente que no imparta la materia de física a nivel secundaria; 2) formar parte, como docente, del

sector educativo privado; y 3) adicional a los dos criterios anteriores, se priorizó la salud de los docentes que pudieran participar en la investigación. Por lo anterior, se tomaron como base el “Acuerdo por el que se da a conocer el medio de difusión de los criterios para las poblaciones en situación de vulnerabilidad”, publicado el 27 de julio de 2020 por la Secretaría de Salud en el *Diario Oficial de la Federación*, (Secretaría de Salud, 2020a), así como los “Criterios para las poblaciones en situación de vulnerabilidad que tienen mayor riesgo de desarrollar una complicación o morir por COVID-19 en la reapertura de actividades económicas en los centros de trabajo” (Secretaría de Salud, 2020, 12 de agosto).

Por su parte, los criterios de eliminación para el proceso de invitación fueron los siguientes: 1) que fuera personal docente participante y faltara a cualquiera de las sesiones; 2) que se tratara de personal docente participante y no realizara cualquiera de las actividades durante las sesiones; 3) que fuera personal docente participante y presentara síntomas de COVID-19; 4) personal docente participante que tuviera un diagnóstico positivo a COVID-19; o 5) que alguien del personal docente participante reportara que, una persona con la cual cohabite, tuviera síntomas de COVID-19 o presentara un diagnóstico positivo a COVID-19.

La investigación que reportamos es de enfoque cuantitativo y utilizó un autoinforme con una escala de ansiedad subjetiva, cuya unidad subjetiva de alteración (usa) y una escala de actitudes tipo Likert, así como una encuesta de respuesta dicotómica para recabar datos, sirvieron para que pudieran ser traducidos a información objetiva. La prospectiva, por su parte, se obtuvo de la información posterior a la planeación de la investigación. La longitudinal se realizó a través de mediciones en tres momentos: basal, pre-protocolo y posprotocolo. La comparativa fue entre un grupo de estudio y un grupo de control para contrastar hipótesis. Asimismo, se aplicó un esquema de estudio prospectivo de causa-efecto, es decir, la observación ocurrió desde el inicio a fin de constatar el desarrollo del factor causal en el futuro. De igual manera, la investigación fue cuasiexperimental, con dos grupos: uno de estudio y otro de control, a los cuales se les aplicó un protocolo que consistió en realizar una evaluación de la línea basal, del momento preprotocolo y del momento posprotocolo, así como cuatro sesiones semanales intermedias, con la descripción que se muestra en la tabla 1.

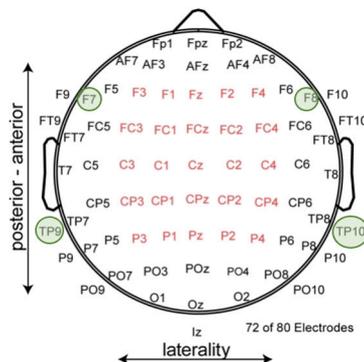
Por otra parte, para la obtención de las señales se utilizó una interfaz cerebro-máquina no invasiva InterAxon Muse, de 4 electrodos (un electrodo de referencia), desarrollada como una diadema de percepción. (Muse, 2018), tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diadema de percepción Muse 2



La colocación de dicha diadema permite que los cuatro electrodos (excluyendo al electrodo de referencia) recaben información de la actividad cerebral de la corteza prefrontal, así como de la corteza temporal. Los cuatro sensores de la diadema toman las señales electroencefalográficas de las locaciones TP9, AF7, AF8 y TP10, según el estándar 10-20 (Muse, 2018), mostrados en la figura 2.

Figura 2. Locaciones TP9, AF7, AF8 y TP10 según el estándar 10-20. Representación de la vista superior de la cabeza de una persona, donde se muestran 72 de 80 electrodos según el estándar 10-20. Resaltan en cuatro círculos verdes sendos puntos tratados por la diadema de percepción Muse 2



Fuente: Imagen adaptada de [https://www.researchgate.net/figure/72-of-the-80-EEG-electrodes-used-are-depicted-The-15-central-electrodes-were-used-to\\_fig2\\_51753987](https://www.researchgate.net/figure/72-of-the-80-EEG-electrodes-used-are-depicted-The-15-central-electrodes-were-used-to_fig2_51753987).

Tabla 1. Momentos del protocolo (por sesión) y tipo de medición

Instrumentos	Momentos del protocolo	
	1ª sesión semanal	2ª sesión semanal
<b>Actividad electroencefálica</b>  Dispositivo MUSE 2 Software Mind Monitor Software Muse App Software Opti Brain	<b>Actividad 1</b> Actividad de línea basal: Toma de actividad cerebral del participante, estando en posición y actitud de reposos. Dispositivo MUSE 2 Software Mind Monitor (10 min) Software Opti Brain	<b>Actividad 1</b> <b>Neurorretroalimentación:</b> Se trabaja con visualización guiada, de acuerdo con la Muse App, cada uno de los estresores identificados en el Mapa de Estresores. Dispositivo MUSE 2 Software Muse App
	<b>Actividad 2</b> <b>Preprotocolo:</b> Clase con alumnos, modalidad en línea Dispositivo MUSE 2 Software Mind Monitor (10 min)	<b>Actividad 4</b> <b>Neurorretroalimentación:</b> Después de la identificación de los estresores, se enseña a los participantes a usar el <i>software</i> de neurorretroalimentación. Dispositivo MUSE 2 Software Muse App
Auto-informe  Escala Visual Analógica del Estrés (EVA) Escala Likert de niveles de competencia	<b>Actividad 3</b> Identificación de estresores: Después de la clase con alumnos (modalidad en línea), se enseña a los participantes a realizar el Mapa de Estresores (coordenadas cartesianas con EVA y Likert). Hoja de rotafolio Post-It Plumones	<b>Actividad 2</b> Identificación de herramientas: Después de la neurorretroalimentación de cada uno de los estresores, se anotan en cada post-it las herramientas de afrontamiento para ese estresor y se coloca en la hoja del rotafolio Tablero de Herramientas. Hoja de rotafolio Post-It Plumones





Momentos del protocolo	
3ª sesión semanal	4ª sesión semanal
<p><b>Actividad 1</b> <b>Neurorretroalimentación:</b> Se trabaja con visualización guiada, de acuerdo con la Muse App, cada uno de los estresores identificados en el Mapa de Estresores. Dispositivo MUSE 2 Software Muse App</p>	<p><b>Actividad 1</b> <b>Neurorretroalimentación:</b> Se trabaja con visualización guiada, de acuerdo con la Muse App, cada uno de los estresores identificados en el Mapa de Estresores. Dispositivo MUSE 2 Software Muse App</p> <p><b>Actividad 3</b> <b>Postprotocolo:</b> Clase con alumnos, modalidad en línea. Dispositivo MUSE 2 Software Mind Monitor (10 min) Software Opti Brain</p>
<p>Actividad 2 Identificación de herramientas: Después de la neurorretroalimentación de cada uno de los estresores, se anotan en cada post-it las herramientas de afrontamiento para ese estresor y se coloca en la hoja del rotafolio Tablero de Herramientas. Hoja de rotafolio Post-It Plumones</p>	<p>Actividad 2 Identificación de herramientas: Después de la neurorretroalimentación de cada uno de los estresores, se anota en cada post-it las herramientas de afrontamiento para ese estresor y se coloca en la hoja del rotafolio Tablero de Herramientas. Hoja de rotafolio Post-It Plumones</p> <p><b>Actividad 4</b> <b>Reclasificación de estresores:</b> Después de la clase con alumnos (modalidad en línea), se clasifican los estresores en el Mapa de Estresores. Hoja de rotafolio Post-It Plumones</p>

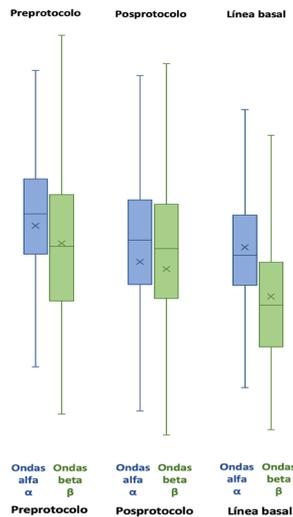
Los *softwares* de análisis de datos recabados por la interfaz cerebro-máquina no invasiva utilizados fueron los siguientes: Mind Monitor, Opti Brain y Muse App.

## Resultados

Los datos de actividad eléctrica cerebral se obtuvieron por medio de la interfaz cerebro-máquina no invasiva de todos los participantes, los cuales se tradujeron a los Software Mind Monitor, Muse app y Opti Brain. Con los datos obtenidos, tanto del grupo de estudio como del de control, se realizó un análisis estadístico para observar las ondas alfa y beta de todos los participantes, para lo cual se utilizó una gráfica de Box plot a fin de identificar el comportamiento estadístico de las ondas alfa y beta en línea basal, así como de las mismas ondas al momento de impartir la videoclase (tanto al momento del preprotocolo como posprotocolo). Con esto se logró identificar que la muestra tiene una menor actividad tanto en ondas alfa como en ondas beta en la línea basal, a comparación de las mismas ondas al momento de impartir la videoclase (tanto al momento preprotocolo como posprotocolo). De igual manera, se observó que las ondas cerebrales alfa y beta se muestran con menor actividad en la comparación de los momentos preprotocolo como posprotocolo. La representación de los datos se muestra en la figura 3, por medio de Box-plot:

Figura 3. Box plot de preprotocolo, posprotocolo y línea basal

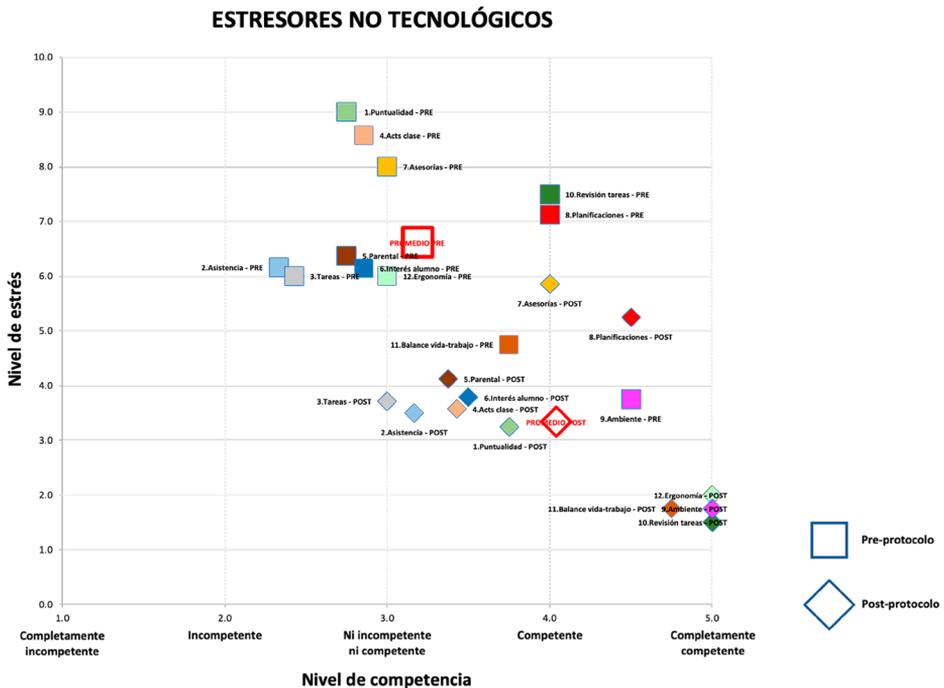
Presencia de ondas alfa y beta en fases Preprotocolo, Postprotocolo, así como Línea basal; del total de la muestra



En verde se representan las ondas beta, que se relacionan con la actividad cerebral en situación de estrés y se observa que existe una disminución en la media entre el preprotocolo y el posprotocolo, además de que la media del posprotocolo sigue la misma pendiente descendiente con respecto a la línea basal. Por su parte, se observa que las medias de actividad cerebral en las ondas beta van disminuyendo de la evaluación antes de las sesiones de neuroretroalimentación (preprotocolo), a la última sesión después de las sesiones semanales de retroalimentación (posprotocolo), con una tendencia clara hacia la línea basal. Con los datos cuantitativos obtenidos en promedio de los asistentes se puede observar una diferencia entre cómo ubicaban sus estresores antes del protocolo y después del protocolo.

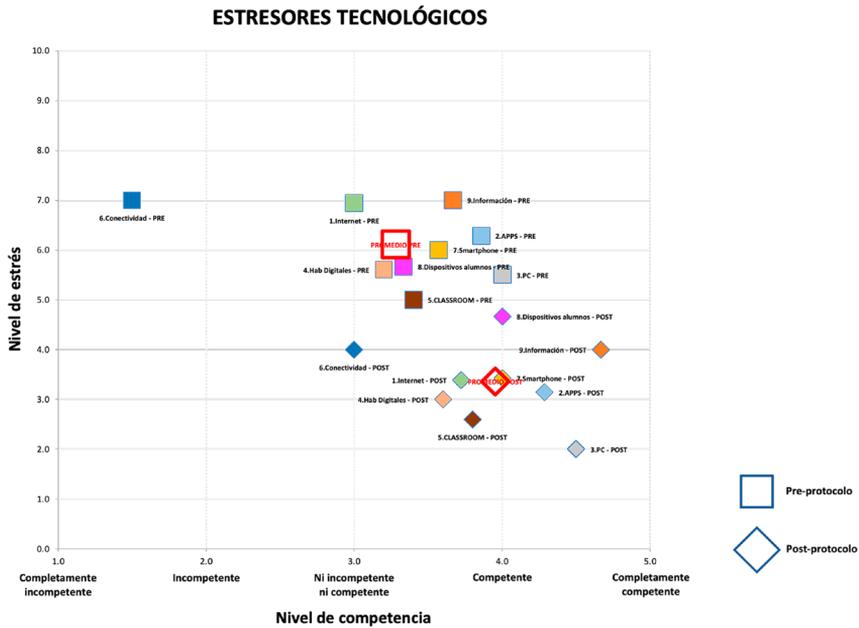
Cabe mencionar que se categorizan 12 estresores no tecnológicos, los cuales presentaron una disminución del nivel de estrés y un aumento en competencia.

Figura 4. Los 12 estresores no tecnológicos categorizados promediados entre los participantes del protocolo



Por otro lado, se categorizaron 9 estresores tecnológicos mismos que presentaron una disminución del nivel de estrés y un aumento en competencia (figura 5).

Figura 5. Los nueve estresores tecnológicos categorizados promediados entre los participantes del protocolo



### Conclusiones

Con dichas informaciones, se puede inferir que existe una relación entre los niveles de estrés que presentan los docentes al momento de impartir clases en dicha modalidad, así como que el uso de la neuroretroalimentación contribuye a que desarrollen habilidades de afrontamiento.

## Referencias

- Berrío, N. y Mazo, R. (2011). Estrés académico. *Revista de psicología de la Universidad de Antioquía*, 3(2), 65-82. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/psicologia/article/view/11369>
- Castillo, I. y Cruz-Bermúdez, N. (2018). Neurofenomenología y neurofeedback como acercamiento a la interrelación entre cerebro y procesos mentales: intentando cerrar la brecha explicativa. *Revista Iberoamericana de Neuropsicología*, 1(1), 32-44. [https://neuropsychologylearning.com/wp-content/uploads/pdf/pdf-revista-vol1/RevNeuro190118\\_ok-35-47.pdf](https://neuropsychologylearning.com/wp-content/uploads/pdf/pdf-revista-vol1/RevNeuro190118_ok-35-47.pdf)
- Clutterbuck, J. (2015). Mind Monitor (Versión 2.2.0) [Aplicación Móvil]. <https://apps.apple.com/mx/app/mind-monitor/id988527143>
- Delgado, M. (2017). *Psiconeuroinmunoendocrinología: Inteligencia emocional y salud en estudiantes universitarios* [Tesis doctoral no publicada]. Universidad Católica de Murcia.
- Fajardo, A. y Guzmán, A. (2016). Neurofeedback, aplicaciones y eficacia. *Interdisciplinaria*, 33(1), 81-93. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18049204005>
- García-Ros, R., Pérez-González, F., Pérez-Blasco, J. y Natividad, L. (2012). Evaluación del estrés académico en estudiantes de nueva incorporación a la universidad. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 44(2), 143-154. <https://www.redalyc.org/pdf/805/80524058011.pdf>
- Instituto de Educación de Aguascalientes. (2020, 13 de noviembre). *Circular DCM 17/11/2020. Protocolo de investigación sobre estrés en profesores*. Instituto de Educación de Aguascalientes. Recuperado de: <http://www.iea.gob.mx/INTERNAS/convocatorias/2020/nov/Circular%20DCM%20Estrés%20laboral%20en%20profesores.pdf>
- Instituto de Educación de Aguascalientes (2021). *Las cifras de la educación. Estadística de Educación Superior y Superior. Inicio de ciclo 2020-2021 / Fin de ciclo 2019-2020*. Instituto de Educación de Aguascalientes.
- Jiménez-Muro, A. y Abenia, M. (2018). Eficacia del neurofeedback en el Trastorno de Estrés Postraumático en población adulta. Una revisión sistemática. *Cuadernos de Neuropsicología. Panamerican Journal of Neuropsychology*, 12(1), 42-54. [https://zagan.unizar.es/record/75358/files/texto\\_completo.pdf](https://zagan.unizar.es/record/75358/files/texto_completo.pdf)
- Markowitsch, H. (2004). The biology of neurodegenerative disease. En A. Tröster (Ed.), *Memory in Neurodegenerative Disease*. (pp. 140-153). Cambridge University Press. <https://epdf.pub/queue/memory-in-neurodegenerative-disease-biological-cognitive-and-clinical-perspectivc2efaeb1e538fee2832324fe62ce55ab77829.html>
- Martín, I. (2007). Estrés académico en estudiantes universitarios. *Apuntes de Psicología*, 25(1), 87-99. <https://www.apuntesdepsicologia.es/index.php/revista/article/view/117>
- Mora, J. (2001). *Neuropsicología cognitiva. Algunos problemas actuales*. Aljibe.
- Muse. (2018). Muse 2. *Muse*. Recuperado el 27 de abril de 2020 de <https://choosemuse.com/es/>
- Nogareda, S. (s/f). *NTP 355: Fisiología del estrés*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España/Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado el

- 15 de junio de 2020 de [https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_355.pdf/d0c209e9-026e-4d85-8faf-5a9fcea97276](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_355.pdf/d0c209e9-026e-4d85-8faf-5a9fcea97276)
- Román, C. y Hernández, Y. (2011). El estrés académico: una revisión crítica del concepto desde las ciencias de la educación. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 14(2), 1-14.
- Salorio del Moral, P. (2000). Tratamientos psicológicos (III). Terapia de conducta. En D. Barcia Salorio (Ed.), *Tratado de psiquiatría* (pp. 757-768). Arán.
- Secretaría de Salud. (27 de julio de 2020a). Acuerdo por el que se da a conocer el medio de difusión de los criterios para las poblaciones en situación de vulnerabilidad. *Diario Oficial de la Federación*. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5597318&fecha=27/07/2020](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5597318&fecha=27/07/2020)
- Secretaría de Salud. (12 de agosto de 2020b). Criterios para las poblaciones en situación de vulnerabilidad que tienen mayor riesgo de desarrollar una complicación o morir por COVID-19 en la reapertura de actividades económicas en los centros de trabajo. *Secretaría de Salud*. Recuperado el 27 de julio del 2021 de [https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/08/Criterios\\_Vulnerabilidad\\_12Ago2020.pdf](https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/08/Criterios_Vulnerabilidad_12Ago2020.pdf)
- Vallejo-Slocker, L. y Vallejo, M. A. (2016). Sobre la desensibilización sistemática. Una técnica superada o renombrada. *Acción Psicológica*, 13(2), 157-168. <http://dx.doi.org/10.5944/ap.13.2.16539>
- Villamarín Cid, F. (1990). Desensibilización sistemática: evidencia empírica y problemática teórica. *Quaderns de psicologia. International Journal of Psychology*, 10, 161-176. <https://raco.cat/index.php/QuadernsPsicologia/article/view/10.5565-rev-psicologia.611>
- Wolpe, J. (1993). *Práctica de la terapia de la conducta*. Trillas.

# Capítulo 12. Laboratorios remotos: Nuevas perspectivas para su uso en la educación científica

IGNACIO IDOYAGA<sup>1\*</sup>

NAHUEL MOYA<sup>2\*\*</sup>

GABRIEL MEDINA<sup>3\*\*\*</sup>

ERIC MONTERO MIRANDA<sup>4\*\*\*\*</sup>

IORELLA LIZANO SÁNCHEZ<sup>5\*\*\*\*\*</sup>

CARLOS ARGUEDAS MATARRITA<sup>6\*\*\*\*\*</sup>

## Resumen

La pandemia de COVID-19 ha impuesto desafíos a los sistemas educativos. En particular, la instauración de una enseñanza remota de emergencia interpela la enseñanza de las ciencias naturales respecto a la realización de actividades experimentales. Estas actividades son centrales para el aprendizaje de procedimientos intelectuales y sensoriomotores propios del área. La necesidad de repensar la enseñanza de las ciencias en estos escenarios educativos ha devenido en el modelo de laboratorio extendido, el cual redefine al laboratorio como un híbrido experimental ubicuo, donde diferentes dispositivos, estrategias y recursos interactúan entre sí de forma sinérgica. Entre los diferentes elementos que se ponen en juego en el modelo están los laboratorios remotos (LR), que son una clara alternativa que permite el trabajo riguroso con la complejidad e incertidumbre del dato empí-

---

<sup>1</sup> \* Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, de la Universidad de Buenos Aires. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0661-915X>

<sup>2</sup> \*\* Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, de la Universidad de Buenos Aires. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2884-3806>

<sup>3</sup> \*\*\* Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, de la Universidad de Buenos Aires. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9928-6023>

<sup>4</sup> \*\*\*\* Laboratorio de Experimentación Remota, de la Universidad Estatal a Distancia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1180-5800>

<sup>5</sup> \*\*\*\*\* Laboratorio de Experimentación Remota, de la Universidad Estatal a Distancia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-042X>

<sup>6</sup> \*\*\*\*\* Laboratorio de Experimentación Remota, de la Universidad Estatal a Distancia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0939-4627>

rico, así como con la toma de decisiones por parte de los estudiantes y los aprendizajes de los procedimientos propios del quehacer científico. Los LR son recursos tecnológicos que integran *software* y *hardware* para configurar una experiencia real a la que se accede a distancia, a través de internet. Los LR pueden clasificarse en laboratorios remotos en tiempo real y laboratorios remotos diferidos. En los próximos años se avizora que estos sean incorporados masivamente en el ecosistema educativo, a fin de complementar las diversas actividades experimentales propuestas en el modelo del laboratorio extendido. El planteamiento de un modelo que permite la integración del componente experimental dentro de los procesos pedagógicos representa un paso hacia la mejora de la comprensión de conceptos y teorías por medio del trabajo experimental.

**Palabras clave:** *actividades experimentales, laboratorios remotos, educación a distancia, universidad.*

## Introducción

Un aspecto esencial para la educación en el contexto actual es la flexibilidad educacional, entendida como la posibilidad de reorganización de la educación en función de los diversos intereses o necesidades (Mill, 2014). La situación generada por la pandemia de COVID-19 puso a prueba esta flexibilidad y los sistemas educativos debieron implementar una serie de cambios para brindar una enseñanza remota de emergencia (ERE), para de esta forma garantizar la continuidad educativa. La ERE consiste en una propuesta educativa, alternativa y limitada en el tiempo, que surge en un contexto de crisis con el objetivo de garantizar la continuidad pedagógica (Hodges *et al.*, 2020). No obstante, se han vislumbrado diferentes dificultades para el despliegue de actividades de enseñanza remota, tales como cuestiones vinculadas con el acceso a internet por parte de los estudiantes, el uso de recursos o dispositivos tecnológicos, así como aspectos pedagógicos y didácticos de la educación mediada por tecnologías digitales (Pardo Kuklinski y Cobo, 2020; Sagol *et al.*, 2021). Asimismo, cada área disciplinar tuvo que afrontar desafíos propios y particulares, por ejemplo, las ciencias naturales, objeto de nuestro trabajo, se vieron especialmente interpeladas por la ne-

cesidad de sostener de manera remota las actividades experimentales (AE), dado que estas constituyen un elemento medular para la construcción de conocimiento en estas áreas (Franco Moreno, Velasco Vásquez y Riveros Toro, 2017).

## Las actividades experimentales

Las AE son acciones planificadas didácticamente por los profesores con el objetivo de generar condiciones que favorezcan el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes (Reverdito y Lorenzo, 2007). En particular, los procedimientos se dividen en dos grandes grupos (Lorenzo, 2020):

1. 1. Procedimientos intelectuales (PI) son aquellos orientados al reconocimiento de los objetos o fenómenos. Se dividen en dos tipos:
  - a) Procedimientos intelectuales de reconocimiento (PIR). Implican la identificación de un suceso u objeto, por ejemplo, las variables de estudio.
  - b) Procedimientos intelectuales de control (PIC). Se despliegan a la hora inspeccionar una acción y tomar medidas sobre alguna situación para ejercer cierto grado de control sobre ella, por ejemplo, la definición de valores de corte.
2. Procedimientos sensoriomotores (PS) son aquellos vinculados a una acción concreta y específica relacionada con la motricidad fina y tendiente a modificar el sistema. Al igual que los anteriores, se dividen en dos tipos:
  - a) Procedimientos sensoriomotores de acción (PSA). Comprenden habilidades motrices finas que se efectúan con el objetivo de modificar el sistema, por ejemplo, la manipulación de instrumental.
  - b) Procedimientos sensoriomotores de observación (PSO). Implican la especialización de los sentidos y permiten significar hechos como

datos de una observación, por ejemplo, reconocer el punto final en una valoración.

Durante la pandemia de COVID-19, y debido a las medidas sanitarias que implicaron el cierre de los establecimientos educativos, los profesores realizaron diferentes esfuerzos para sostener las AE de manera remota. Algunos estudios preliminares (Fox *et al.*, 2020; Gamage *et al.*, 2020; Moya *et al.*, 2021) evidencian que las AE llevadas a cabo durante la pandemia fueron predominantemente demostrativas. Sus objetivos de aprendizaje presentaban un bajo grado de especificidad según el nivel educativo y parecían coincidir con los objetivos generales de cualquier curso de ciencias. Más aún, en la mayoría de los casos relevados, los propósitos coincidían con los de prepandemia y buscaban ofrecer al estudiante una experiencia similar a la del laboratorio presencial. Si bien este tipo de actividades habrían ayudado a promover el desarrollo de PI, tendrían limitaciones para el desarrollo de las PSA. En suma, parecería que las diferentes acciones, estrategias y recursos desplegados habrían consistido, principalmente, en diversos intentos por replicar la experiencia presencial de las AE en los entornos virtuales, sin recurrir a ninguna otra adaptación por fuera de las requeridas por las mediaciones tecnológicas disponibles (Pardo Kuklinski y Cobo, 2020). Esto podría constituir una limitación importante a la hora diseñar propuestas de enseñanza con este tipo de actividades en posibles escenarios futuros de educación híbrida. Por eso, es necesario contar con modelos provenientes de la didáctica de las ciencias naturales que permitan repensar las AE en los nuevos contextos.

## El modelo del laboratorio extendido

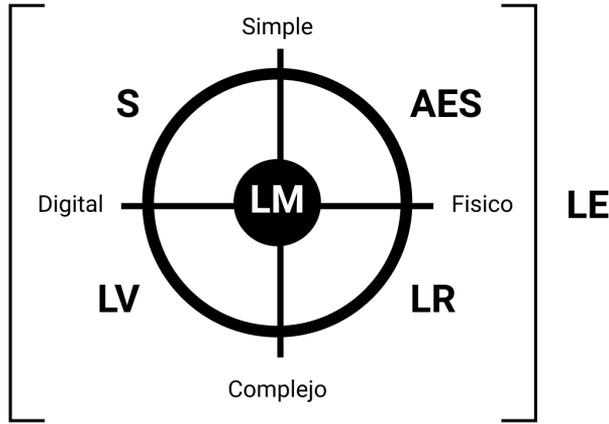
La necesidad de repensar las AE en escenarios educativos híbridos llevó a plantear el modelo de laboratorio extendido (LE), que redefine al laboratorio como un híbrido experimental ubicuo, donde diferentes dispositivos, estrategias y recursos (“laboratorios”) interactúan entre sí de forma sinérgica, en el marco de una secuencia de enseñanza y aprendizaje, para promover aprendizajes de contenidos conceptuales, procedimentales y actitu-

dinales (Idoyaga, 2020). En particular, y de forma no excluyente, el LE incluye los siguientes tipos de “laboratorios”:

1. Actividades experimentales simples (AES), que conforman el corazón de las propuestas de laboratorios caseros. Sus costos son muy bajos y pueden considerarse potencialmente ubicuos. Comparten características con las actividades realizadas en los laboratorios tradicionales. Promueven aprendizajes de todos los procedimientos, incluidos los sensoriomotores de acción.
2. Simulaciones (s), que son una representación simplificada de un hecho, objeto o proceso y permite intervenir sobre él. Pueden agruparse para potenciarlas dando lugar al laboratorio virtual (LV).
3. Laboratorios virtuales (LV), que pueden incluir representaciones de la incertidumbre empírica, pero no dejan de ser programa, por lo tanto, siempre debe vigilarse la identidad de la programación con los límites del modelo teórico. Estas alternativas permiten trabajar los procedimientos intelectuales de las AE e, incluso, podrían promover algunos procedimientos sensoriomotores vinculados al uso y lectura de cierto instrumental.
4. Laboratorios remotos (LR), los cuales son un conjunto de tecnologías *hardware* y *software* que permiten a estudiantes y profesores llevar adelante una AE de manera semejante a si se encontraran en el laboratorio tradicional.
5. Laboratorios móviles (LM), que se utilizan con el teléfono inteligente como recurso. Se puede utilizar como instrumento de medición (tiempo, aceleración, intensidad sonora, intensidad luminosa, etc.), como instrumento de registro (fotografías, filmaciones y grabaciones) y como instrumento de observación (lupa). Según el tipo de uso promoverán el aprendizaje de diversos tipos de procedimientos.

Los diferentes tipos de “laboratorio” mencionados arriba se diferencian en los procedimientos que promueven, en su pertenencia al mundo físico o no y en el nivel de complejidad en cuanto a la implementación de las AE. Entonces pueden integrarse en torno a dos ejes: físico-digital y simple-complejo, respectivamente. (véase figura 1).

Figura 1. Modelo del laboratorio extendido (LE) de Idoyaga



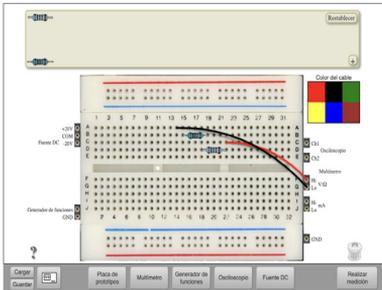
Notas: AES: actividades experimentales simples; LE: laboratorios remotos; LV: laboratorios virtuales; S: simulaciones; LM: laboratorios móviles.

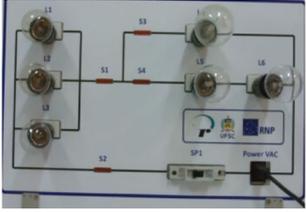
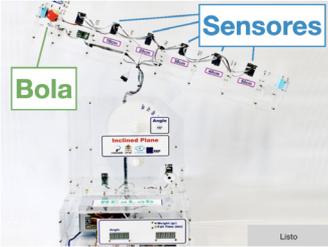
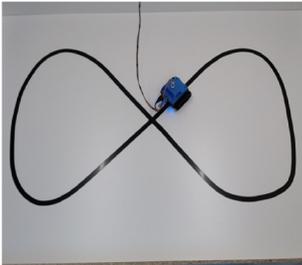
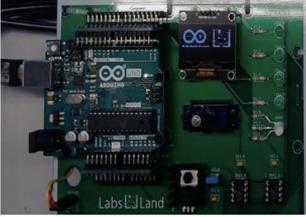
Más allá de esta clasificación, en la cual se resaltan las principales potencialidades intrínsecas de cada uno de los “laboratorios” que conforman el LE, es importante destacar la necesidad de su uso en el marco de una secuencia didáctica. Es decir, no se trata de incluir distintos laboratorios en una misma propuesta, sino de proponer su uso de modo que cada actividad recupere algún aspecto de la práctica experimental a fin de lograr una sinergia que permita la aprehensión por parte de los estudiantes de los PI y PSA. Dentro del universo del LE, los LR son una clara alternativa que permite el trabajo riguroso con la complejidad e incertidumbre del dato empírico, la toma de decisiones por parte de los estudiantes y los aprendizajes de los procedimientos propios (PI y PS) del quehacer científico. En consecuencia, el siguiente apartado se centra en los LR.

## Laboratorios remotos

Los LR son recursos tecnológicos que integran *software* y *hardware* para configurar una experiencia real a la que se accede a distancia a través de internet. Los LR pueden clasificarse en laboratorios remotos en tiempo real y laboratorios remotos diferidos. En un laboratorio remoto en tiempo real, la manipulación del instrumental, la observación y la experiencia real se dan de manera sincrónica. Este tipo de laboratorios están limitados a la cantidad de estudiantes que pueden usarlo al mismo tiempo e implican mayores costos de mantenimiento. Son frecuentes en la enseñanza de la física. En un laboratorio diferido, por otro lado, la actividad experimental es real pero el acceso a ella es diferido (Arguedas-Matarrita *et al.*, 2021). Estos laboratorios se basan en un conjunto de grabaciones y son alternativas potentes para la enseñanza de la química y la biología, áreas en las que el desarrollo de estos recursos es limitado. En las siguientes secciones se muestran algunos LR pertenecientes a la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. Para el acceder a un LR las instituciones que cuentan con estos recursos pueden hacerlo por medio de sitios propios, pero en los últimos años la tendencia es acceder por medio de Sistemas de Gestión de Laboratorios Remotos (*RLMS* por sus siglas en inglés). En la Universidad Estatal a Distancia (UNED) de Costa Rica el uso de los laboratorios propios se hace mediante dos RMLS (Arguedas-Matarrita *et al.*, 2020). En las tablas 1 y 2 se muestran los LR propios de la UNED.

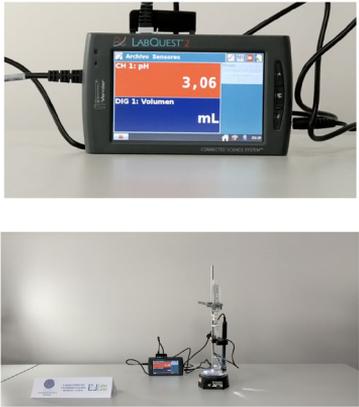
Tabla 1. *Laboratorios Remotos en tiempo real de la UNED*

Laboratorio	Vista del laboratorio	Características
Virtual Instrument System In Reality (VISIR)		<p>Rige el funcionamiento de la electrónica analógica: asociación de resistencias, Ley de Ohm, Kirchhoff, transmisión de máxima potencia, caracterización de componentes, etc.</p> <p><b>Aplicación:</b> física (circuitos, electrónica)  <b>RMLS:</b> LabsLand  <b>Concurrencia:</b> 240 usuarios.</p>

<p>Panel eléctrico</p>		<p>Estudia cómo funciona la corriente alterna (CA) y experimenta con varias bombillas conectadas en serie o paralelo.</p> <p><b>Aplicación:</b> Física  <b>RMLS:</b> RExLab  <b>Concurrencia:</b> 1 usuario</p>
<p>Plano inclinado</p>		<p>Aplicable a la segunda ley de Newton en un sistema que permite observar y analizar el comportamiento de una bola que se mueve a lo largo de un plano inclinado o en una caída libre.</p> <p><b>Aplicación:</b> Física (cinemática)  <b>RMLS:</b> RExLab  <b>Concurrencia:</b> un usuario</p>
<p>Robot Arduino</p>		<p>Permite desarrollar múltiples experimentos con un robot móvil real.</p> <p><b>Aplicación:</b> robótica  <b>RMLS:</b> LabsLand  <b>Concurrencia:</b> un usuario</p>
<p>Arduino Board</p>		<p>Permite programar una placa Arduino real.</p> <p><b>Aplicación:</b> robótica  <b>RMLS:</b> LabsLand  <b>Concurrencia:</b> un usuario</p>

En los laboratorios en tiempo real la concurrencia es muy limitada, para solventar este problema se buscó tener múltiples copias de los diferentes LR en distintas partes del mundo y de esta forma aumentar el uso simultáneo de un mismo laboratorio.

Tabla 2. *Laboratorios Diferidos de la UNED*

Laboratorio	Vista del Laboratorio	Características
<p>Valoración ácido-base</p>		<p>Permite agregar volúmenes de titulante alcalino a una muestra incógnita de un ácido, suponiendo la técnica volumétrica más utilizada en química.</p> <p><b>Aplicación:</b> química <b>RMLS:</b> LabsLand</p>
<p>Ley de Boyle</p>		<p>Permite comprobar que, para una cantidad determinada de gas, la presión es inversamente proporcional al volumen.</p> <p><b>Aplicación:</b> química y física <b>RMLS:</b> LabsLand</p>
<p>Acidez intercambiable del suelo</p>	 <p style="text-align: center;">Vista principal</p>	<p>Permite agregar volúmenes de titulante alcalino a una muestra de suelo para estimar la acidez de este.</p> <p><b>Aplicación:</b> ciencias agrarias <b>RMLS:</b> LabsLand</p>

En los laboratorios diferidos no hay problema de concurrencia, estos laboratorios pueden soportar una cantidad de usuarios que dependerá del servicio *Cloud* con el que cuente el sistema RMLS que se utiliza. De esta forma se puede realizar trabajo experimental con grupos masivos al mismo tiempo, una posibilidad experimental que de otra forma no es posible.

## Prospectiva sobre los LR

En los próximos años se avizora que los LR sean incorporados masivamente en el ecosistema educativo a fin de complementar diversas actividades experimentales propuestas en el modelo del LE. En esta línea, empresas como LabsLand (Orduña *et al.*, 2018), que pone a disposición recursos a diferentes instituciones del mundo, permite que la incorporación de estos se vaya acelerando. Además, se espera que nuevas empresas tecnológicas incursionen en el desarrollo de LR. No obstante, el principal desafío radica en poder incluir a los LR en el marco de secuencias didácticas que permitan una verdadera articulación entre estos y el resto de los “laboratorios” del LE, con lo que se superaría la vieja distinción entre lo sincrónico-asincrónico y lo presencial- remoto, la cual ya ha dejado de tener sentido en la nueva realidad mundial (Scolari, 2020). Es decir, se trata de superar definitivamente la barrera entre la educación presencial y la virtual para diseñar experiencias educativas enmarcadas en las narrativas multimedia expandidas, donde el profesor y los estudiantes pueden servirse de modo colaborativo de lo mejor de ambos mundos. (Pardo Kuklinski y Cobo, 2020). Esta idea se centra en el diseño de narrativas inmersivas, entendidas como “aquellas experiencias donde el usuario asume un rol protagónico en la historia que lo envuelve y reacciona a sus movimientos y decisiones” (Lovato, 2019).

Por otro lado, en relación con los aspectos técnicos, si bien los LR presentan varios aspectos positivos a destacar, como el desarrollo de PIR (trabajo con datos empíricos), PIC (el control de variables experimentales) y PSO (como la determinación del punto final en una valoración ácido-base), estos no permiten que el estudiante se familiarice con el entorno del laboratorio ni promueve los PSA. Por tal motivo, a fin de superar estas limitaciones, se espera una combinatoria de otras tecnologías que agreguen valor a

los LR, como la realidad aumentada, la inteligencia artificial y la realidad virtual. En este sentido, una alternativa posible sería utilizar la técnica de video 360 interactivo para construir una interfaz inmersiva hipermedia para los LR (Mora Fernández, 2019). Esta técnica híbrida puede combinar la experiencia de un laboratorio real de ciencias (por medio de una filmación 360) con el trabajo de control de variables experimentales y la toma de datos provenientes de la empírea que ocurren en el trabajo con el LR. En cuanto a la promoción de PSA, una alternativa posible es la inclusión de simuladores virtuales hápticos (Verástegui Baldárrago, 2021), los cuales consisten en el conjunto de interfaces tecnológicas que interactúan con el ser humano mediante el sentido del tacto. Un caso particular de aplicación de esta tecnología son los guantes de datos y retorno táctil, que permiten sentir las texturas de objetos virtuales, así como también dar la sensación de dureza, peso, calor o presión (Martínez *et al.*, 2009). En suma, estas propuestas tienen por objetivo el aprendizaje activo de los estudiantes, donde la interacción a través de la interfaz hipermedial facilite la retroalimentación y permita la revisión de sus aprendizajes (Posada Calderón, Monsalve Suárez y Mateus Santiago, 2019).

## Reflexiones finales

El planteamiento de un modelo que permite la integración del componente experimental dentro de los procesos pedagógicos representa un paso hacia la mejora de la comprensión de conceptos y teorías, por medio del trabajo experimental, el laboratorio extendido se perfila como un modelo integral, que permitirá adaptar cada necesidad educativa a los contextos múltiples de la realidad de cada país, de tal suerte que logrará promover el desarrollo de aquellas habilidades que le permitan al estudiante entender las ciencias naturales desde otra perspectiva.

Los LR, por su naturaleza, permiten un acercamiento más real hacia la experiencia de laboratorio y representan un recurso con un potencial de mejora en la enseñanza de las ciencias naturales. Además, estos recursos centran su atención en los procesos de autorregulación, por lo cual es el mismo estudiante quien determina el ritmo del aprendizaje, a partir de un recurso al que puede acceder las veces que lo requiera, desde donde se en-

cuentre y en el momento que lo desee. La oportunidad de repetir la misma práctica y, en algunos casos, introducir modificaciones aumenta los grados de libertad del alumno, al mismo tiempo que democratiza la actividad experimental. La ERE dejó de manifiesto la necesidad de contar con más recursos educativos robustos para desarrollar la actividad experimental y los LR, por sus características, permiten solventar problemas generados por el aislamiento social y se presentan como herramientas para fortalecer el aprendizaje de las ciencias durante y en la postpandemia

## Referencias

- Arguedas-Matarrita, C., Conejo-Villalobos, M., Elizondo, F. U., Barahona-Aguilar, O., Orduña, P., Rodríguez-Gil, L. y García-Zubia, J. (2020). Experience with the VISIR remote laboratory at the Universidad Estatal a Distancia (UNED). En *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (pp. 162-170). Springer, Cham.
- Arguedas-Matarrita, C., Montero-Miranda, E., Vargas-Badilla, L., Sánchez-Brenes, R., Ríos-Badilla, E., Orduña, P. y Rodríguez-Gil, L. (2021). Design and Development of an Ultra-Concurrent Laboratory for the Study of an Acid-Base Titration (ABT) at the Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. En *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (pp. 122-130). Springer, Cham.
- Fox, M., Werth, A., Hoehn, J. y Lewandowski, H. (2020). *Teaching labs during a pandemic: Lessons from Spring 2020 and an outlook for the future*. Department of Physics, University of Colorado.
- Franco Moreno, R., Velasco Vásquez, M. A. y Riveros Toro, C. (2017). Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas (2012-2016). *Tecné, Episteme y Didaxis*, 41, 37-56.
- Gamage, K. A. A., Wijesuriya, D., Ekanayake, S. Y., Rennie, A. E. W., Lambert, C. G. y Gunawardhana, N. (2020). Online Delivery of Teaching and Laboratory Practices: Continuity of University Programmes during COVID-19. *Education Science*, 10(10), 291. <https://doi.org/10.3390/educsci10100291>
- Hodges, C. Moore, S. Lockee, B. Trust, T. y Bond, A. (2020). The Difference Between Emergency Remote Teaching and Online Learning. *Educause Review*. Recuperado el 15 de mayo de 2020 de <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>
- Idoyaga, I. J (2020). *El laboratorio extendido: una oportunidad para la educación científica en entornos digitales*. Farmacia y bioquímica en foco. Recuperado el 12 de abril

- de 2021 de <http://enfoco.ffyb.uba.ar/content/el-laboratorio-extendido-una-opor-tunidad-para-la-educación-científica-en-entornos-digitales>
- Lorenzo, M. (2020). Revisando los trabajos prácticos experimentales en la enseñanza universitaria. *Aula Universitaria*, 21, e0004. <https://doi.org/10.14409/au.2020.21.e0004>
- Lovato, A. (2019). *Diseño narrativo para AR y VR en proyectos transmedia de no ficción*. XXI Congreso de la Red de Carreras de Comunicación Social y Periodismo. Escuela de Ciencias de la Comunicación, Facultad de Humanidades (UNsa), Salta. <https://www.aacademica.org/21redcom/286>
- Martínez, J., Molina, J. P., García, A. S., Martínez, D. y González, P. (2009). Desarrollo de un guante de datos con retorno háptico vibro-táctil basado en Arduino. En *Interacción 2009: Jornadas de Realidad Virtual*, 1-10.
- Mill, D. (2014). Flexibilidade educacional na cibercultura: Analisando espaços, tempos e currículo em produções científicas da área educacional. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 17(2), 97-126. <https://doi.org/10.5944/ried.17.2.12680>
- Mora Fernández, J. (2019). *La interfaz hipermedia: El paradigma de la comunicación interactiva*. Ediciones y Publicaciones Autor S.R.L.
- Moya, C. N., Medina, G., Granchetti, H. y Idoyaga, I. (2021). Las actividades experimentales en física durante la pandemia de covid-19. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33, 471–478. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/35589>
- Orduña P., Rodríguez-Gil L., García-Zubia J., Angulo I., Hernandez U. y Azcuenaga E. (2018) Increasing the Value of Remote Laboratory Federations Through an Open Sharing Platform: LabsLand. En M.Auer y D. Zutin (eds) *Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 859–873). Springer, Cham.
- Pardo Kuklinski, H. y Cobo, C. (2020). *Expandir la universidad más allá de la enseñanza remota de emergencia Ideas hacia un modelo híbrido post-pandemia*. Outliers School.
- Posada Calderón, S., Monsalve Suárez, Y. y Mateus Santiago, S. (2019). Entorno virtual 3D de la tabla periódica como apoyo en la educación de la química. *Revista politécnica*, 15(30). 41-54. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n30a5>
- Reverdito, A. y Lorenzo, M.G. (2007). Actividades experimentales simples. Un punto de partida posible para la enseñanza de la química. *Educación en la Química*, 13(2), 108–121
- Scolari, C. A. (8 de agosto de 2020). *Nuevas interfaces para un mundo pospandemia*. Hipermediaciones. Recuperado el de 7 de enero de 2021 de <https://hipermediaciones.com/2020/08/08/las-nuevas-interfaces-pospandemia/>
- Verástegui Baldarrago, A. (2021). Simuladores hápticos: Una herramienta para la educación odontológica en tiempos de COVID-19. *Revista Odontológica Basadrina*, 5(2), 36–41. <https://doi.org/10.33326/26644649.2021.5.2.1195>



## Capítulo 13. Filosofía para niños y modelo STEAM

DOMINGO VILLAMIL HERNÁNDEZ<sup>1\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2\*\*</sup>

*Evidentemente, el hombre ha sido creado para pensar; toda su dignidad, todo su mérito ahí estriba; y su deber es pensar cómo debe.*

*Blaise Pascal*

### Resumen

La filosofía para niños es un modelo educativo propuesto por Mathew Lipman en los años setenta para buscar alternativas de aprendizaje y comprensión del entorno próximo. El presente capítulo enmarca los logros establecidos en una investigación realizada durante los primeros meses de la pandemia de COVID-19, cuyo contexto estaba marcado por el distanciamiento social y la búsqueda de que los niños y niñas aprendieran a pensar y pensar bien, es decir, establecer nuevas formas de trabajo hacia un pensamiento crítico.

Se pensaba que hacer filosofía con niños y niñas era muy complejo, sin embargo, lo único que se tiene que hacer es entablar un diálogo abierto que les permita conocerse a sí mismos: identificar sus ideas y fomentar el respeto entre pares, acabar con el temor de participar y preguntar desde la esencia de la curiosidad innata. Los niños y niñas pueden hacer filosofía y explicar a los demás cómo es que interpretan el mundo, no cómo lo interpretan los adultos. Su perspectiva es distinta, pues los fenómenos naturales son interpretados por ellos desde situaciones menos invadidas por respuestas dadas de antemano. Tal es el motivo para hacer actividades que inviten a pensar,

---

<sup>1</sup> \* Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1488-919X>

<sup>2</sup> \*\* Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

crear estrategias para analizar y divertirse, de manera que los niños y las niñas sean responsables de su propio aprendizaje y alcancen la suficiente creatividad para compartirlo y seguir preguntándose el porqué de las cosas.

**Palabras clave:** *filosofía para niños, pensamiento crítico, aprendizaje de la física.*

## **¿Por qué es importante la filosofía en el preescolar?**

La educación preescolar en México busca dotar a los niños y niñas de entre cinco y seis años de modelos de aprendizaje basados en las teorías de Federico Froebel. Una educación en armonía centrada en los niños y su preferencia por la observación de la naturaleza, el estudio de las matemáticas y el conocimiento de otras lenguas. Algunos aspectos resultan necesarios para lograr el entendimiento real de su entorno, así como aptitudes que le dejen desarrollar un pensamiento crítico y que le permitan un desarrollo integral. Si tomamos como fundamento las características propias de la edad, postularemos como objetivo principal el desarrollo del niño como un ser psicosocial, el cual debe potencializar sus capacidades cognitivas y sociales de un modo indisoluble. Esto le permite al docente y la sociedad verle como un ente con iniciativas propias (que sea autónomo), activo y analítico, y que tenga un deseo intrínseco de participar en la construcción de su realidad.

El pensamiento crítico y la duda filosófica son otros ingredientes para que el educando de preescolar pueda desarrollar: 1) autonomía e identidad personal, requisitos indispensables para que progresivamente se pueda reconocer su identidad cultural y social; y 2) una relación con la naturaleza que lo prepare para el cuidado de la vida en todas sus manifestaciones. Asimismo, esta educación busca que el niño encuentre el gusto por el trabajo grupal y colaborativo con otros niños y adultos (profesor y padres de familia), que gestione y adquiera formas de expresión creativas a través del lenguaje, de la construcción de pensamiento y el cuidado de su cuerpo, para poder adquirir aprendizajes formales. Finalmente, busca establecer un contrato con los distintos campos del arte y la cultura, que se pueden manifestar a través de expresiones artísticas creadas con sus habilidades innatas.

## Pensar en la escuela

En los últimos años se ha buscado que los niños y las niñas transformen sus experiencias en preguntas y que asuman una postura propia. A fin de llegar a la pretensión de que elaboren un pensamiento crítico, de acuerdo con lo que postula Lipman (1985), con el que puedan elaborar juicios con fundamento, que sean autores de un pensamiento crítico, que sean sensibles a su entorno próximo y que puedan tener un tipo de pensamiento autocorrectivo, necesitamos de las herramientas que brinda la filosofía, la cual “es una actividad viva que no se deja apresar y que no pertenece como propiedad a nadie: ni a un grupo social ni a un género particular de los seres humanos” (Pineda, 1992, p. 107).

A partir de la cita de Pineda, observamos que los niños nunca han sido ajenos a la forma en que, a su manera y con su entender, se utiliza la filosofía. Un niño pregunta desde su entender, desde su lógica, desde su necesidad; los adultos intentamos explicar desde la forma en que construimos nuestro entender, desde nuestra lógica tan abstracta y dura, que no da lugar a la fantasía. Siempre estamos buscando responder a nuestras propias necesidades, quedar satisfechos con nuestras respuestas y dejamos de pensar en la respuesta que las infancias necesitan. De ahí que Lipman propusiera que los niños en edad de preescolar trabajen en espacios metodológicos planeados y experimentados para rescatar su curiosidad. Es decir, se necesita hacer énfasis en esta etapa de preescolar que es donde ellos empiezan a tener interés real sobre el mundo que los rodea: miran las flores, juegan con el lodo, observan las abejas en su vuelo, se preguntan por las aves cuando velan en grupo, discuten sobre quién posee la verdad, caminan esperando alcanzar su sombra o construyen cosas esperando que funcionen.

Todos los días observamos qué hacen los niños cuando viajan con sus padres en el transporte público: a través de la ventana admiran el paso acelerado de la vida, gritan cuando algo les emociona, opinan de las personas si algo atrae su atención, señalan si un zapato está sucio o exclaman si alguien huele mal; preguntan por qué cubren su cara las demás personas, recuerdan lo que estuvieron aprendiendo en la clase anterior o admiran los fenómenos de la naturaleza; también se preguntan por qué el auto avanza a la par que ellos o por qué la luz no se puede atrapar en un frasco. La filoso-

filosofía propone para los educandos de preescolar: organizar y fomentar experiencias pedagógicas en el campo cognitivo, moral y estético, promover la investigación educativa para conseguir modos distintos de enseñar, establecer alternativas de enseñanza, un aprendizaje activo y con significado.

### **¿Qué propone la filosofía para niños y niñas?**

En primer plano se desea que los niños y niñas asuman una actitud reflexiva, crítica y creativa, para lograr que sean personas autónomas, con un rendimiento académico alto y una buena convivencia con su entorno; que todos los niños y las niñas logren un razonamiento que les permita construir expresiones libres desde su punto de vista, para que encuentren un significado en la construcción de su pensamiento y logren así experiencias de valor. La misión, en otras palabras, consiste en hacer que los niños y las niñas siempre tengan en la reflexión filosófica un modo para comprender, analizar, discutir y promover, con análisis y discusión, el pensamiento crítico, el cual les deberá permitir un trabajo en planos de entendimiento con lógica y coherencia.

Asimismo, se busca fomentar que haya niños con sensibilidad hacia las problemáticas de los demás, razón por la que deben aprender a no quedar aislados sino, al contrario, a trabajar en equipo. Por otro lado, al no permitir el adoctrinamiento se puede crear una comunidad regida por la autocrítica y la reflexión en cada momento de su trabajo en el aula. De esta forma, cuando se logre que los niños y niñas reflexionen sobre su propia experiencia y formulen sus propias explicaciones estaremos ante la demostración de lo que aprendieron realmente desde sus posibilidades, las cuales fueron guiadas por el maestro, validadas por un pensamiento correcto y nutridas por la indagación.

El objetivo, como se puede inferir, es que los niños y niñas piensen y construyan su experiencia diaria a partir de preguntas para desarrollar un pensamiento crítico que fomente conductas de pensamiento autocorrectivas (Lipman, 1985). En lo consecuente utilizaremos la palabra juicio, no para descalificar, sino como concepto necesario que describe cómo se debe estar en todo momento evaluando cada acto, evento o resultado, sin caer en afirmaciones o negaciones con falta de valor cualitativo, esto con el fin de hacer

frente a la falsa noción de que la filosofía sólo intenta alcanzar un valor de verdad, para enfatizar, en cambio, que únicamente se busca entender mejor. Por ello, lograr que los niños y niñas desarrollen la habilidad de argumentar, antes de emitir un juicio, es otra de las metas comunes de la filosofía, o sea, que nuestros educandos devengan entes con pensamiento relevante, sostenible y sensible al contexto, que logren tener un proceso de pensamiento sobre cualquier juicio emitido y puedan corregir o cambiar cualquier apreciación de lo que sucede en su entorno, con la finalidad de hacer de la experiencia una oportunidad de comprensión.

Pero, ¿cómo hacemos para que los niños piensen por sí mismos? Preguntarse cada sesión cómo lograr que mis educandos de preescolar piensen por sí mismos ha sido la constante de nuestros últimos años. ¿Qué recursos podemos ocupar? El cuento y las historias, los juegos y el arte nos aportan recursos valiosos para lograr el pensamiento crítico, y la mayoría de niños y niñas en edad de preescolar disfrutan en gran cantidad de un buen cuento. Las narraciones llenas de conflictos morales son la mejor herramienta, así como las historias que entretejen situaciones de ciencia, experimentos divertidos o la historia del porqué de las cosas.

Haremos un alto en este momento para tener presente la diferencia entre la lectura de comprensión y la lectura intensa o profunda, en un plano de crítica. Cuando hacemos lectura de comprensión, abordamos estructuras internas del cuento o relato, y vamos describiendo características de los personajes que en ella participan, o sea, los vamos siguiendo en su trayecto durante la trama, vamos tras su planteamiento y los perseguimos cuando llega el desenlace. Hacemos énfasis en la hipérbole del tiempo y espacio que forman parte de una lectura formal, pero necesitamos algo más que una lectura sin más. Debemos profundizar más en los implícitos que en los explícitos, en las posibilidades del texto en razón de los valores que en la historia se manejen. Por ejemplo, cuando los niños escuchan el cuento “La sombra de Teo” empiezan por preguntarse qué es una sombra. Entre ellos identifican el fenómeno que se presenta cuando un cuerpo sólido interfiere entre una fuente de luz y el espacio. Enseguida identifican que el fenómeno es algo inherente en su día con día, pero ellos no se convencen de que uno pueda dejar la sombra dormida en su cama y siguen la historia que describe cómo una sombra pierde a su dueño y toma la forma de todos los objetos

opacos que va encontrando en el camino. Los niños y las niñas intercambian comentarios acerca de lo que va construyendo la sombra en el camino, por ejemplo, cuando un pájaro pasa por ahí y la sombra de Teo ahora convertida en ave vuela por todos lados, siempre bajo la luz del sol, ante lo cual los educandos empiezan a preguntarse: ¿qué pasaría si no hubiera sol? ¿Se acabaría la historia?

Ellos entienden que, para haber una interferencia que provoca una sombra, debe existir una fuente; no lo entienden propiamente así, pero los saben. No hay sombra si no existe una fuente de luz y con eso no necesitan más explicaciones, pues han construido un juicio sobre la historia y siguen las peripecias de la sombra. Cuando el cuento describe que la sombra se ha convertido en la sombra de un caballo que se mete a un río y describe cómo la sombra percibe lo frío del agua, inician más preguntas: ¿la sombra puede sentir frío o calor? ¿Entonces si la sombra sale de una fuente que también emite calor podrá ser la sombra de una fuente de luz fría? ¿Hay luz fría? ¿Por qué en el cuento la sombra llegó hasta donde está su dueño y el niño de la historia piensa en todo lo que la sombra experimentó durante el día?

Quizás no encuentran relación directa con los eventos, pero ellos construyen una idea de lo que puede ser un *déjà vu*, el cual básicamente se trata de un suceso que se siente que ya ha sido vivido, pero en realidad no. Podemos percibir que, para el niño o la niña, el cuento los lleva una reflexión de lo implícito, es decir, de aquellas ideas que no necesitan explicarse por estar sobreentendidas y que muchas veces son desestimadas por pertenecer a una comprensión simple de la lectura. Sin embargo, con esto logramos que nuestros educandos de preescolar transiten de la comprensión a la interpretación. Paulo Freire en su *Pedagogía de la autonomía* decía “El lector profundo hace hipótesis y deducciones, y se cuestiona la ambigüedad del lenguaje”; por su parte Ludwig Wittgenstein en su *Conferencia sobre ética* decía: “Los límites de mi lenguaje son los límites de mi mente”. Ambas citas nos ayudan a comprender que si queremos una filosofía que cumpla sus metas básicas en los educandos de preescolar debemos hacer de su ejercicio de lectura no sólo una rutina mecánica que agrupe letras para formar palabras, en cambio, debemos hacerlos creer y convencerse de que mientras más lean más irán encontrando un diálogo interior y podrán Debemos de entender la voz de cualquier narrador y de los personajes, pues se trata de

aprender y desaprender, de entrar en otras vidas e imaginarse ser el antagonista o el protagonista, de acumular pasiones y sufrimientos para poder compararlos con los suyos.

Por medio de la lectura se hace patente el acceso al conocimiento de otras culturas y de la suya propia a profundidad, por tal motivo debemos convencer a los niños de que leer es un acto mágico, una de las tantas puertas para comprender en silencio que se pueden lograr conexiones en la cabeza de cada lector. Por el contrario, debemos enfatizar siempre que si no se lee de forma regular su mundo será más pequeño. En resumen, si logramos hacer que nuestros educandos lean por sí solos, los estaremos ayudando a encontrar un tesoro muypreciado en la filosofía.

Cabe ahora poner énfasis en que si queremos que el recurso del cuento sea efectivo, debemos explicarlo o tener un énfasis muy especial en la lectura en voz alta, recordar que al leer se debe gesticular y no olvidar que en las etapas tempranas del niño, o cuando ya saben leer, es necesario crear atmósferas filosóficas. Los gestos, las interrogantes, así como las preguntas y el fomento a la participación de los niños en la historia, es fundamental. Debemos adentrarlos en los hechos por medio de preguntas como: ¿qué crees que pasara? ¿Cómo acabará? ¿Tú qué harías si fueras el/la protagonista, ¿Te gustaría vivir en el cuento? Son necesarias las miradas, la integración de las imágenes, la voz de la imaginación y nunca dejar de empezar un cuento con las palabras mágicas: “Había una vez...”

## **La gamificación en el aula o el juego de pensar y pensar bien**

“Los juegos de los niños no son juegos, deben considerarse como sus actos más serios”, decía Montaigne. La memoria, la percepción, la atención y el pensamiento serían atributos naturales que sólo pueden llegar a ser superiores cuando se socializan en una determinada cultura (Nomen, 2019). La interacción de los juegos en forma colectiva produce, de forma sustancial, un efecto innovador y permite generar nuevas herramientas de pensamiento que en un principio parecen un juego de niños al querer imitar la realidad, es decir, sin disciplina ni algún propósito de resultados, pero si con el deseo de encontrar un juego simbólico que formalice un momento de dominio de lenguaje operativo. Hacer del juego una función reflexiva es una oportunidad

para obtener el máximo de potencialidades filosóficas, uno puede preguntar al niño o niña cómo se siente, cómo va su día, o por qué se siente así.

Como bien se sabe el juego desarrolla la psicomotricidad, le ayuda a fortalecer sus estructuras mentales, pues cuando se trata de un juego físico, interviene el movimiento, la risa y la interacción presencial con sus iguales. Este tipo de juego, sin mayor ánimo que el de adquirir nuevas experiencias, tener errores y aciertos o resolver problemas, le permite descubrirse a sí mismo y, por supuesto, descubrir que puede interactuar con los demás, que jugando pueden explorar el mundo, desarrollar empatía, imaginación y creatividad, además de hacer más rico su lenguaje. Leer y jugar vienen siendo una fórmula poderosa con muchas variantes: jugar a ser el personaje del cuento, jugar a ser el héroe de la historia o poner en juicio el porqué del mal proceder del villano han de permitir hacer un juicio moral, establecer límites de conducta comparando lo bueno del bueno y lo malo del malo.

## **El arte de pensar y pensar bien**

Las artes en la educación inicial, en especial la pintura, pero también la música y su intrínseca relación con la creación del pensamiento filosófico durante la educación preescolar, permiten conseguir creaciones en los planos de apreciación real de la belleza, debido a que los ayuda a discernir lo que realmente es bello, armónico y generoso. Mientras observamos las flores del jardín en la escuela, podemos acompañar con música, enriquecer el momento imaginando las formas y procesos que pudiera tener el ejecutante de dicha pieza al comparar la creación del sonido armonizado con su entorno. Sabemos que el arte posee lenguajes diferentes al lingüístico y al matemático, y para poder interpretar la naturaleza necesitamos de las artes liberales tanto como de las ciencias exactas. Pero el arte de hacer pensar a nuestros niños y niñas es todavía más abstracto que los colores de un arcoíris o mucho más complejo que seguir la trayectoria de una mariposa en pleno vuelo.

Nunca debemos olvidar que existen distintos estilos cognitivos y que algunos se relacionan con el mundo de modo no verbal, por eso debemos sugerir, por ejemplo, que dibujen lo que observan e imaginan, lo que cuestionan y discuten, lo que les gusta o lo que no. Siempre es importante tomar en cuenta que nuestros niños y niñas necesitan desarrollar una respuesta

crítica y creativa en los desafíos que encuentran día con día, no excluirlos de la realidad, ni generar entornos no correspondientes con sus posibilidades, a fin de que construyan un desarrollo ético basado en los valores que necesita este mundo y que no podemos omitir.

Otra alternativa para lograr, en nuestros niños y niñas, una nueva forma de pensar basada en los juegos, canciones y actividades artísticas es que logren, bajo nuestra guía, un pensamiento cuidadoso, el cual está basado en la corrección de nuestro pensamiento desde el punto de vista de los valores que son necesarios para una convivencia inteligente, la cual se pone de manifiesto mediante la sinergia de palabra y acción. Dewey (2008) propone el pensamiento cuidadoso como aquel que da importancia a lo que lo tiene y aplica juicio valorativo bajo un componente emocional. Por su parte, para Lipman (1998), el pensamiento cuidadoso es activo, apreciativo, normativo, afectivo y empático. Para saber si realmente hemos creado en nuestros educandos un tipo de pensamiento cuidadoso debemos establecer en ellos la necesidad de hacer juicios. Entendemos por juicio el resultado de investigar sobre el tipo de pensamiento que permite que el niño o niña entienda al otro como único, como ser humano con una historia ligada a la red de historias de vida que nos representa la sociedad.

Hasta aquí, hemos enunciado algunas actividades que nos pueden ayudar a empezar a trabajar la construcción de un pensamiento crítico y nutrido por la filosofía, pero sobre todo en las que el niño filósofo forme parte de una comunidad de investigación, pues la filosofía no puede ser sólo una herramienta especulativa neutra, sino una guía para la acción. Los niños y niñas deben tomar el espacio para gestionar, transformar, querer, hacer, construir, analizar, crear o criticar, todas ellas acciones necesarias para instalar un pensamiento cuidadoso.

## **La ciencia de enseñar en preescolar**

La educación de los nuevos tiempos, que nos ha tocado de alguna manera transformar, cuenta con una serie de teorías y propuestas que busca una alternativa para cambiar la realidad de nuestros educandos. Asimismo, busca la inclusión de una forma de pensamiento distinta y el establecimiento de cambios para una nueva forma de comprensión. Son estas inquietudes

las que, en cada reunión de maestros o consejo técnico escolar (como se la ha llamado), se discuten y plantean mejorar, a fin de elevar los indicadores de desempeño. Pero siempre se queda pendiente el análisis de la situación: ¿qué tanto estamos haciendo por los educandos para conseguir hacer de ellos entes críticos? ¿Cómo debemos enseñar para una nueva sociedad? Al margen de estas preguntas, nos planteamos que también es necesario realizar una revisión al modo de enseñar ciencia en los primeros años, pues nos hemos abocado solamente al nivel secundaria y bachillerato.

Por esto iniciamos un proyecto que pretendía reconocer el juicio de los niños al momento de experimentar sobre situaciones cotidianas: ¿cómo se pregunta un niño las cosas que suceden en su entorno? ¿Qué respuestas dejan satisfecho a un niño que se pregunta el porqué de las cosas? ¿Por qué preguntan los niños? ¿Cómo preguntan? ¿Cómo explican lo que sucede en su entorno? ¿Cómo explican entre ellos los eventos cotidianos? ¿Habrá un modo de enseñar ciencia para niños en edad de preescolar? ¿Qué método se debería aplicar?

## **El encanto de la filosofía**

La filosofía para niños fue un descubrimiento de ideas nuevas, una oportunidad de conocer el método implementado por Mathew Lipman en los años setenta, el cual buscaba lograr en los niños un modo de aprendizaje basado en sus propias posibilidades y en torno a la forma en cómo descubren y construyen su razonamiento. Establecer un diálogo abierto con ellos nos permite entender qué sucede cuando los niños aprenden sobre ciencia, además de que nos da la oportunidad de aprender de ellos, pues estos nos cuestionan lo que hemos aprendido y cómo lo hemos aprendido, ponen en crisis esa idea de que ya no hay más que descubrir porque ya lo tenemos discutido y analizado.

No obstante, esta perspectiva es poco abordada, porque está fuera de los lineamientos sobre cómo deberían de aprender y enseñarse las actividades científicas. Pues la mayoría tiene por entendido que hacer ciencia para niños sólo es repetir procedimientos que de tanto hacerlos en el aula, los educandos ya predicen el resultado (algunos de forma vistosa, pero las más de las veces sin atender las preguntas que se gestan en cada sesión). Por eso

nuestra perspectiva está por construir la ciencia desde las preguntas filosóficas: ¿qué estamos haciendo cuando enseñamos ciencia? ¿Estamos haciendo ciencia en clase cuando repetimos eventos predecibles? ¿Por qué hacemos experimentos para enseñar ciencia? ¿Qué es lo que construyen ellos en su mente cuando exponemos con ejemplos prácticos?

De esta manera, iniciamos por diseñar actividades que permitan aprender desde una nueva perspectiva. Para ello analizamos las novelas de Lipman, investigamos cuál era la premisa de la FPN (filosofía para niños) discutimos sobre aprender a aprender desde el juicio de los niños, jugamos y construimos utilizando la imaginación y hacemos preguntas sencillas pero llenas de profundidad. Luego hicimos un taller de FPN para encontrar una nueva forma de enseñar y aprender desde la razón y la manipulación previa a la construcción de juicios. Esto porque en verdad los niños no actúan de forma ligera, ellos siempre enjuician, ellos no dejan pasar un minuto sin preguntarse si lo que se hace es correcto.

## Construir un caballo de Troya

Para poder acceder desde una premisa diferente, nos apoyamos en la técnica del payaso teatral (*clown*) como una alternativa para conseguir la atención de nuestros educandos en edad de preescolar. La idea era hacer un personaje que vinculara el diálogo socrático desde una perspectiva lúdica y que al equivocarse no existiera un desencanto por parte de los educandos: pues aprendimos durante la investigación que el error para ellos determina el fin del entusiasmo. El *clown*, en su naturaleza moral, se equivoca y hace de su error una oportunidad para reinventarse. Así, de este modo, blindamos cualquier tropiezo que pudiera ser tomado como un error fatal. Empezamos las primeras sesiones de experimentación y trabajo con nuestros educandos de preescolar que nos obsequiaron su tiempo y curiosidad, además de su hermoso modo de aprender mientras accedían a un modo distinto de entender su realidad, de cuestionarse por qué estaban ahí y para qué estaban con nosotros.

A continuación, describiremos algunas de las sesiones y los alcances que se fueron consiguiendo, para permitir una nueva interpretación de lo necesaria que es la filosofía para los niños y niñas, y justificar la aplicación de

la filosofía para niños al momento de enseñar y aprender física en el nivel preescolar.

## Juguemos a que contamos un cuento

Al tiempo de investigar y contar cuentos para los niños, encontramos que si jugamos y generamos una actividad gamificadora y de construcción de pensamiento tendríamos un resultado altamente favorable. Todos en algún momento deseamos encontrar actividades que nos apoyen para conseguir que el educando en etapa de preescolar inicie con la elaboración de juicios y con un pensamiento crítico respecto a lo que sucede en su entorno. Por esta razón proponemos esta actividad para jugar a pensar por sí mismos. El juego se llama: “Contando cuando filosofando ando por todo el mundo”

## Materiales

- Un mapamundi tamaño mural (puede ser proyectado a través del cañón multimedia) o un globo terráqueo
- Hojas de papel de colores
- Marcadores o crayolas
- Lápices de colores

## Instrucciones

El educador o educadora deberá iniciar la sesión colocando a los niños en una formación circular. En medio ellos los invitará al juego mediante una canción que acompañarán con sus palmas. El profesor iniciará preguntando si se acuerdan de la canción de Roberto Carlos con estilo góspel: “El cuentero, el cuentero / el cuentero ya está aquí / el cuentero, el cuentero / el cuentero ya está aquí”. Una vez que ha terminada la canción a ritmo de góspel, les dirá a los niños: “Estamos en un viaje, le pido todo mundo ponerse alertas porque vamos a elegir un país para contar un cuento: así que abordamos el avión de la imaginación y volamos hasta llegar a... (simulará que vuela en un avión extendiendo las manos, sin olvidar que la gesticulación y el uso de algunos efectos musicales, vestimenta o efectos de sonido

ayudan a recrear un escenario propicio). Los niños y niñas eligen el país adonde quieren llegar en el avión de la imaginación.

Para este efecto se recomienda tener cuentos de todos los países posibles, cuentos breves cargados de conflicto moral y si se puede tener una pista musical del país al que se ha llegado será de mucha ayuda. Igualmente, se recomienda que se cierre la cantidad de países a visitar, como en una especie de itinerario, para sí conseguir la música y los cuentos de los países indicados en el viaje, por ejemplo: España, México, Brasil, Inglaterra y Cuba.

Para el caso de Cuba y México, estos comparten un cuento que se titula “Francisca y la muerte.” En esta historia se narra un día que la muerte llega en el tren de la mañana para llevarse a Francisca, que es una señora de edad avanzada. La muerte pregunta para llegar a la casa de Francisca, pero nunca la encuentra, va por todo el pueblo y siempre le dicen que Francisca ya se fue de ahí. La muerte, muy enojada y cansada, la busca por todos lados, pero como no la encuentra se enoja y se va de ahí sin poder llevársela. En el cuento, un campesino lejos de donde la muerte se encontraba, le grita a Francisca: “¡Francisca, vieja! ¿Cuándo te vas a morir?”. Esta le contesta que nunca porque siempre hay muchas cosas por hacer.

Aquí las preguntas obligadas para los niños serían: ¿la muerte puede llegar en cualquier momento? ¿Podrá alguien escaparse de la muerte? ¿La muerte es un proceso natural necesario para que la vida siga? ¿Por qué Francisca decía que nunca se iba a morir? ¿Es bueno tener una vida activa y sencilla? Para finalizar, pediremos a los niños que nos dibujen la pregunta y la respuesta, recordando que las artes son también un medio para explicar cosas que con palabras no alcanzamos a explicar. Cerraremos la actividad cantando el estribillo del principio, siempre con mucho ánimo y energía.

Cuando se termina la sesión, se les pide a los niños y niñas que cierren sus ojos e imaginen cuántas cosas buenas pueden hacer el día de hoy. Si vale la pena ser buen hijo, mejor persona y estudiar para aprender a entender a los demás. En la última parte se les pedirá a los niños y niñas que griten muy fuerte, salten y desahoguen todo lo que tengan adentro. Esta actividad permitirá que, en la siguiente actividad del día, todo el excedente de energía se elimine y puedan concentrarse en lo que viene. De esta manera podremos lograr que los niños y niñas comparen, analicen, tengan un pensamiento crítico y fomenten sus valores a través de distintos cuestionamientos como:

¿por qué de las cosas? ¿Para qué? ¿Qué sucedería si yo? ¿Por qué no debe de ser así? ¿Cómo puedo evitar que? Pero sobre todas las cosas, debemos enseñar a los niños a ser felices con lo que se puede obtener desde el interior de reflexión. Siempre postular que se analice un antes y un después. Nunca juzgar sin saber el antecedente de las cosas. Las cosas suceden por una razón y nuestra misión es explicar qué razón es la que predomina. Pensemos un poco, para no arrepentirnos mucho. Enseñemos pensando bien para aprender en serio.

## **Análisis y conclusiones**

En la aventura de enseñar física en el preescolar concluimos que:

- a) Los niños en edad de preescolar necesitan conocer su entorno y los misterios que este ofrece para comprobar lo que a ellos les causa interés.
- b) La ciencia en preescolar debe de tener mayor espacio, más horas de trabajo en sus planes y programas. Se debe incrementar el valor de la gamificación (el jugar para aprender, no sólo entretener).
- c) Se debe trabajar con una conceptualización correcta, el incremento de tecnicismos, cantidades y unidades, valores de verdad, emisión de juicios. Asimismo, se debe implementar el diálogo socrático en las actividades diarias, el trabajo de equipo y la evaluación crítica (no enumerar errores, evaluar aciertos y fallas sin hacer menos sus logros).
- d) Es imprescindible despertar su capacidad de asombro, observar, manipular, construir, edificar, medir, sentir, poner a prueba su juicio ante lo posible, además de tener acceso a más historias relacionadas con la ciencia y los valores universales.
- e) La filosofía en la primera infancia no es sólo promover valores y buenos modales, es hacer del pensamiento profundo una actividad diaria, mirar en su interior, que el profesor, docente o guía cumpla la misión de enseñar aprendiendo de sus discípulos para construir, de esta manera, una nueva era de conocimiento.

## Referencias

- Accorinti, S. (2014). *Filosofía para Niños: introducción a la teoría y la práctica*. Manantial.
- Artidiello Moreno, M. (2018). Filosofía para Niños y Niñas (FpNN): Una oportunidad diferente para pensar en la escuela. *Ciencia y Sociedad*, 43(3), 25-38. <https://doi.org/10.22206/cys.2018.v43i3.pp25-38>
- Bernabéu, N. y Golstein, A. (2016). *Creatividad y aprendizaje. El juego como herramienta pedagógica*. Narcea.
- De Puig, I. y Sático, A. *Jugar a pensar con cuentos*. Octaedro.
- Freire, P. (2012). *Pedagogía de la indignación*. Siglo XXI.
- Jubierre, C, L. (2006). *Aprender a pensar: diálogo filosófico en Educación Infantil* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de la Rioja.
- León, A. T. (2011). El concepto de tiempo en niños y niñas de primer a sexto grado. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 2(9), 869 - 884. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlcs/v9n2/v9n2a25.pdf>
- Lipman, M. (1992). *La filosofía en el aula*. Ediciones de la Torre.
- Madrigal Romero, M, S., Díaz Herrera, P., Echeverría, E., Ezcurdia, J., Cázares Aponte, L., Camarillo Gómez, M, C., Sumiacher, D. y Salas A, A. (2020). *Filosofía para niñas y niños en México: Un horizonte de diálogo, libertad y paz*. Torres Asociados.
- Nieto Betance, G. (2015). *Estrategia metodológica para desarrollar la habilidad de observación en el campo formativo exploración y conocimiento del mundo en la educación preescolar* [Tesis de maestría no publicada]. CICATA-IPN.
- Nomen, J. (2019). *El niño filósofo: Cómo enseñar a los niños a pensar por sí mismos*. Arpa.
- Saiz, C. (2002). *Enseñar o aprender a pensar*. Escritos de Psicología.



# Capítulo 14. Enseñanza de la física en educación primaria a través de la filosofía para niños

JUAN JOSÉ DEL CARMEN CERVANTES<sup>1\*</sup>

CÉSAR EDUARDO MORA LEY<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

El programa de filosofía para niños no pretende que estos aprendan o les sean enseñados contenidos filosóficos, sino que ejerzan la actividad misma de elaboración reflexiva del pensamiento filosófico y el cultivo de destrezas de razonamiento. Por otro, lado la física es una ciencia que en todo momento se vale del razonamiento lógico, el cual no aparece de la nada y puede ser cultivado desde edades tempranas. La práctica filosófica en el aula puede impactar enormemente en el mejoramiento del aprendizaje de saberes, sin embargo, es preciso advertir al profesor que desee implementarla que al retomar la filosofía para niños como metodología de enseñanza debe prepararse y, por tanto, ha de estudiarla y practicarla con antelación para poder después usarla en el aula. Esta propuesta de enseñanza de la física se basa en el programa de filosofía para niños y agrega la aportación de varios autores para formar una metodología que permita enseñar saberes, tales como la planeación, la propuesta de práctica filosófica en el aula y la evaluación.

**Palabras clave:** *filosofía para niños, enseñanza de la física, pensamiento crítico.*

---

<sup>1</sup> \* Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9527-130X>

<sup>2</sup> \*\* Investigador titular del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA, Unidad Legaria), del Instituto Politécnico Nacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6607-0429>

## Introducción

Para comenzar a adentrarnos en la metodología de filosofía para niños y su uso en la enseñanza de saberes, comenzaremos diciendo cuán importante es que, en primer lugar, se conozca lo que es la filosofía. La filosofía es una actividad que no se puede comprender si no se practica y ejerce, pues al igual que otras disciplinas se puede mejorar conforme más se practique o se viva. Dicho de otra manera, no se puede comprender como un concepto, sino que se tiene que experimentar.

Vivir la filosofía es explorar todo lo concerniente a ella y comprender los que significa a través de las experiencias filosóficas. Morente (1971) comenta que la filosofía comprende la ontología (que es la reflexión sobre los seres en general), la lógica, la teoría del conocimiento, la ética, la estética, la filosofía de la religión. Por lo tanto, si queremos enseñar desde un punto de vista filosófico, entonces debemos vivir algunas de las partes que conforman la filosofía, por ejemplo, la ontología y la lógica. Pongamos un ejemplo sobre un concepto de física, por ejemplo, la masa, como concepto en el libro de Física 1, editado por la Secretaría de Educación Pública de México dice así: “Masa: Cantidad de materia que existe en un cuerpo” (Salazar, 2015, p. 154.). Este concepto parece fácil de entender, pero ¿qué es la materia? ¿Qué es un cuerpo? Y, de manera filosófica, podemos preguntar: ¿podemos sentir de alguna manera la masa? ¿Por qué es importante la masa? Si la cantidad de materia es masa, ¿cómo podemos medir esa cantidad de materia? Alguien puede agregar lo siguiente: “en el supermercado venden masita para jugar, ¿Eso es la masa? Todas estas interrogantes deben ser atendidas y al practicar la filosofía se puede dar respuesta por medio del razonamiento de los estudiantes. Claro está que el docente debe ser quien guíe el aprendizaje.

A continuación, se presenta el programa de filosofía para niños de Lipman y posteriormente una propuesta de acción basada en este programa y en aportaciones de Echeverría (2006) y Sumiacher, las cuales abarcan la planeación, la propuesta de práctica filosófica y la evaluación.

## Desarrollo

Con respecto a la práctica filosófica, esta se puede explicar como procesos intersubjetivos (es decir, aquellos que se construyen considerando al otro y en interacción con el otro) y fundamentados para el desarrollo de procesos filosóficos para el otro. Una práctica filosófica tiene que cumplir con el diálogo, la problematización, el debate, la argumentación y el pensamiento crítico, o que esté apoyada en el arte, la creatividad, el juego o el uso del cuerpo. Para Lipman la práctica filosófica es entendida no sólo como diálogo sino también como una investigación sin límites determinados que requiere por un lado del deseo de saber, y por otro del cuestionamiento constante de todo saber establecido (Del Valle, 2008). Con respecto al programa de filosofía para niños, podemos empezar diciendo que este no pretende que los niños aprendan o les sean enseñados contenidos filosóficos, sino que participen en la actividad misma de la elaboración reflexiva del pensamiento filosófico y el cultivo de destrezas de razonamiento. En el proceso educativo no se apunta a hacer o saber cosas, como dice Pineda (1992), sino a generar actividades de pensamiento. Tebar (2005) indica tres etapas esenciales del programa de Filosofía para niños:

1. Los alumnos leen en voz alta y por turno un fragmento del capítulo de la novela para que se sientan todos implicados en la lectura; después se comparten las ideas y puntos de vista.
2. Los niños sugieren sus preguntas. Se escriben todas en la pizarra. Esta etapa recoge los centros de interés de los niños, sus ideas demuestran la diversidad y también las coincidencias.
3. Los alumnos seleccionan un tema y se estudia desde los puntos de vista de todos los alumnos (comunidad de indagación). Aquí interviene especialmente la habilidad del profesor. El diálogo suscita una dinámica permanente de creación de equipo investigador. Se toma conciencia de los sentimientos propio y los de los demás. La discusión permite profundizar en los aprendizajes: saberes (el tema discutido), saber-hacer (habilidades de pensamiento) y saber-ser (las actitudes que emergen constantemente: imparcialidad, objetividad, escucha atenta, respeto, tolerancia, etc.).

Con respecto a la enseñanza de saberes, como es el caso que nos atañe, Sumiacher (2016) propone una estructura (la cual es sólo con fines de orientación) a la que llama didáctica filosófica para enseñar contenidos y advierte que han de tomarse en cuenta los tres puntos que se enuncian a continuación:

1. En primer lugar, se debe considerar que un saber tiene que conectarse con el sentido que tienen las cosas en el momento actual. Es decir, debe haber un uso situado y adecuado del saber con la realidad presente, recordando la realidad vivida y los hechos actuales. Si el saber a enseñar es el concepto de masa, entonces no sería correcto utilizar un relato que hable de piratas, pues no existe mucha relación.
2. La práctica filosófico-lingüística es una actividad que sirve para hacer algo con los otros, no sólo para reflexionar en soledad. De este modo todas las prácticas de este tipo son intersubjetivas e implican un centramiento del consultor/coordinador/animador/líder/maestro con la o las personas que participan en el espacio de práctica filosófica junto con él. Las prácticas filosóficas han de desarrollar aspectos como la pregunta, la escucha, la construcción conjunta de ideas o la problematización. Cabe mencionar que las preguntas filosóficas en estas prácticas no deben dejarnos igual que antes, tienen que producir algo y además la mejor pregunta, la que expande, no siempre es la que el coordinador tenía pensada de antemano, sino más bien la que la circunstancia amerita. En cuanto a la escucha en la práctica filosófica, es importante que los participantes puedan repetir con la mayor exactitud posible las palabras pronunciadas por el otro. Incluso es necesario que las preguntas se construyan con base en las palabras pronunciadas por los interlocutores. Este intercambio de ideas para producir algo en el grupo, en un diálogo constante, es llamado por Lipman comunidad de indagación.
3. Por otra parte, la problematización es un proceso del pensamiento que acontece cuando existe la presencia simultánea de dos opciones contradictorias que se ven como posibles y existe también el deseo de decidir al respecto de esa cuestión. Para que haya un problema tiene que haber entonces:
  - A. Un deseo por tomar una decisión o determinación.

### B. Dos opciones contrarias, ambas que podrían ser ciertas.

El coordinador/animador/docente tiene que saber crear problemas a los estudiantes, aventurarse a dramatizar las distintas posibilidades en torno a una idea para que los participantes de su sesión las consideren y amplíen su pensamiento, y que su deseo por conocer sobre la cuestión debatida les obligue a buscar cuál de ellas es la mejor. Respecto a la didáctica filosófica Sumiacher propone lo siguiente:

1. El profesor debe buscar que los estudiantes se interesen y además debe afirmar sobre la gran utilidad del saber en cuestión. Es importante recalcar la función y el sentido del saber en el mundo por medio de la afirmación y el razonamiento. Para el trabajo y desarrollo de esta didáctica filosófica es entonces necesario, no sólo asombrarse, sino investigar las ideas que uno quiera enseñar. Investigar significa preguntar al saber, dudar del saber, intentar entender su funcionamiento. Para romper con el aprendizaje memorístico, indiscutiblemente los profesores son los primeros tienen que conseguir hacer esta ruptura para sí mismos. Es necesario ser entonces un poco científico de la ciencia, lingüista de la lengua, geógrafo de la geografía y pensador del pensamiento. La actitud de desafiar al conocimiento es de por sí muy filosófica y de eso se trata, primeramente.
2. Una vez que las ideas han sido debidamente cuestionadas, interrogadas y comprendidas, en la mayor medida posible, se deben desmenuzar en forma analítica los puntos principales que se desea enseñar. Esto es muy importante porque posteriormente se invita al coordinador/profesor/enseñante a abrirse a la realidad movедiza, cambiante y emergente del diálogo con los otros. El resumen analítico del saber enseñar debe ser preciso y compacto, pero con todos los puntos a tocar y sin redundar, lo que asegura que no se perderán temas.
3. Ahora comienza la didáctica filosófica. Ya en el aula el profesor puede comenzar con un material disparador con un ejemplo, con una explicación o descripción; el enseñante puede trazar las más diversas estrategias didácticas que motiven la expresión de la palabra de alguna manera o dejando el inicio del diálogo a su grupo. El diálogo tendrá dos coordena-

das, por un lado, el elemento creativo, libre y de interés de los estudiantes y, por otro, el carácter crítico y definido del saber enseñar. Corresponde al profesor ayudar a los estudiantes a crear puentes que relacionen lo primero con lo segundo por medio de las palabras. En este momento se buscan las preguntas basadas en la escucha y se construye pensamiento entre todos, además se crean problemas-trampa para los estudiantes, con la finalidad de que exista razonamiento en las respuestas.

4. Finalmente, se cuestionan las afirmaciones que han resultado del diálogo, de lo cual se espera que expresen razones correctas para fundamentar dichas afirmaciones.
5. Respecto al cierre, tiene la función de sintetizar las experiencias, así como generar la atmósfera propia del final de un proceso.

El recurso didáctico que se propone en este trabajo es el narrativo. De acuerdo con Sático y Puig (2011), este recurso utiliza historias multiculturales en tres géneros literarios: cuentos, leyendas y mitos. Los cuentos, los mitos y las leyendas forman parte del acervo cultural de todos los pueblos del planeta. Las civilizaciones con lenguaje escrito, además de contar y oír historias han enfatizado su escritura y lectura, mientras que las culturas sin escritura han enfatizado la presencia de las historias en el ámbito de la oralidad. Así, leer, contar y oír historias son acciones comunes en los diferentes ambientes educativos. Las historias (cuentos, leyendas y mitos) son un interesante recurso para pensar porque permiten el acceso a puntos del imaginario individual y colectivo que son importantes para el desarrollo psíquico sobre temas de la existencia humana que preocupan a los niños, pero que, en general, no son tratados en el currículo, tales como el sentido de la vida, los misterios, el origen del mundo y de las cosas del mundo, etcétera.

Tales creaciones humanas ofrecen oportunidades para reflexionar sobre comportamientos, valores, principios, etc., lo cual ayuda en la formación ética y a desarrollar la capacidad de pensar mediante imágenes, además de conectar ese tipo de pensamiento con el pensamiento discursivo y lógico. Por otro lado, las narraciones también motivan la creatividad porque presentan historias que rompen con las estructuras lógicas lineales. A continuación, se presenta el relato que se ha construido para ser utilizado en la práctica filosófica.

Nombre del relato: “Masita para hacer figuras”. José y William son hermanos que viven en México, en una comunidad pequeña, desde donde es fácil ir al centro de la ciudad o ir de día de campo a las montañas, ríos, lagunas, el mar o sitios arqueológicos. José tiene ocho años y William cuatro. Les gusta jugar mucho juntos: en casa juegan con masita y hacen diferentes objetos. A veces sus papás les compran masita en el supermercado y a veces hacen masa con harina de trigo y agua; otras veces más hacen masa con tierra y agua, o sea lodo. En casa tienen masa de diversos colores. A sus papás les han pedido una gran cantidad de botecitos de masa para poder unirla y formar figuras gigantes. José ha construido un dinosaurio enorme y para ello utilizo 10 botecitos de masa. William prefirió hacer un osito y sólo requirió un solo bote. Después los dos decidieron juntar la masa que tenían para ver qué tan grande podían hacer una bola. Al juntarla se dieron cuenta que se hacía cada vez más pesada y al ponerla sobre la cama de su cuarto se hundía en el lugar donde la colocaban. Entonces se les ocurrió hacer pequeñas bolas que colocaban alrededor de la masa más grande y veían cómo las bolitas rodaban hacia ella.

Después sus papás los llamaron para salir al parque, por lo que para mantener limpio su cuarto debían vaciar toda la masa en los botecitos. Así, empezaron a dividir la masa y la repartieron en cada bote. Al salir de su cuarto William dijo a su hermano: hemos dividido la masa en porciones más pequeñas, pero ¿qué pasaría si la hubiéramos seguido dividiendo? ¿Qué tan pequeña sería esa parte?

A continuación, en la tabla 1 se presenta un formato de planeación para enseñar saberes.

Tabla 1. *Formato para planear didáctica filosófica*

Objetivo: Definir el concepto de masa	
Tiempo total de trabajo: 60 minutos	Materiales a usar: cuento (aunque se puede usar otro recurso como: el experimento, juego, video, etc.)
Características que conoces del grupo con el que trabajarás: Estudiantes de tercer grado de primaria	Estilo docente: el estilo docente será problematizador. Se utilizarán los tipos de preguntas en base al conocimiento del grupo

---

Lista de las habilidades de pensamiento que para el grupo serán importantes:

- Habilidades de indagación
- Formula preguntas
- Respaldar afirmaciones
- Desarrolla hipótesis explicativas
- Reconoce diferencias de contexto
- Construye ideas a partir de las ideas de los demás
- Habilidades de conducta
- Acepta críticas razonables
- Escucha atentamente
- Respetar a los demás
- Habilidades de razonamiento
- Realiza analogías sobre el tema
- Clarifica los conceptos
- Hace distinciones y conexiones relevantes
- Respaldar sus opiniones con razones convincentes
- Brinda ejemplos y contraejemplos
- Realiza inferencias apropiadas

Roles dentro de la comunidad de indagación:

- Profesor de grupo
- Coordinador de la comunidad de indagación
- Estudiantes

---

Desglose analítico de los temas a trabajar:

- La masa es la cantidad de materia que tiene un cuerpo
  - Un cuerpo es un objeto que por lo regular tiene forma, se puede sentir, ver, a veces oler y puede interactuar con otros cuerpos u objetos.
  - Materia es aquello de lo que están hechas las cosas y que puede percibirse, la mayoría de las veces, con nuestros sentidos.
  - La materia está formada por partes muy pequeñas que al unirse pueden formar líquidos, sólidos, gases, plasma y otros tipos de materia.
  - A la suma de esas pequeñas partes de materia se le llama masa.
  - Todas las cosas están hechas de partes muy pequeñas que son de diferentes tipos, algunas de ellas son los electrones, protones y neutrones.
  - Los electrones, protones y neutrones tienen una pequeña masa y al juntarse para formar átomos se suman las masas.
  - Los electrones, protones y neutrones se unen de diversas maneras formando átomos.
  - La forma en que los electrones, protones y neutrones se unen permite crear muchos tipos de átomos lo que hace que haya diferentes tipos de materiales
  - La unión de dos o más átomos forman una molécula
  - Una molécula puede estar formada de átomos iguales o diferentes.
-

Preguntas literales:

- ¿Puedes decirme porque la bola de masa pesa más que las bolas pequeñas?
- ¿Por qué existen diferentes tipos de masa como el lodo o la harina?
- ¿Por qué un objeto es diferente de otro?
- ¿Sabes qué es la cosa más pequeña que existe?

Preguntas problematizadoras (además de las preguntas escritas, se desarrollan otras durante la comunidad de indagación):

- ¿Cómo le harías para encontrar la partícula más pequeña de un objeto?

Preguntas filosóficas (además de las preguntas escritas, se desarrollan otras durante la comunidad de indagación):

- ¿Si la masa se seca, seguirá siendo masa?
- ¿Entonces qué es la masa?
- ¿Las cosas que no se ven tendrán masa?
- ¿Habrá objetos sin masa?
- ¿Qué pasa si unes muchas, pero muchas partículas, como sería su masa?
- ¿Los objetos tendrán una relación entre ellos debido a su masa?

<b>Plan de acción</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Actividades</b>
Inicio	Se inicia con la lectura del cuento para que pueda ser factible realizar ya sea una pregunta literal, problematizadora o filosófica (no más de 10 min).
Desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicia el diálogo con las preguntas literales problematizadoras o filosóficas</li> <li>• Se establece la comunidad de indagación</li> <li>• Durante la sesión el profesor ligara el desglose analítico con las ideas propuestas por los estudiantes (25 a 30 min)</li> </ul>
Cierre	<p>Para terminar cada estudiante expresa lo que ha aprendido o si no es posible, elegir algunos al azar (1 min máx. por persona). Evaluación de la sesión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se sintieron en esta sesión?</li> </ul>

En relación con la evaluación de los logros, Echeverría (2006) propone 10 puntos que deben estar presentes en la clase de filosofía para niños a nivel grupal, pero también a nivel de cada niño que participa en la comunidad de diálogo, como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. *Evaluación individual o por equipos de una sesión en el aula con FPN*

Evaluación grupal o individual			
	Sí	No	Más o menos
1. Hace preguntas relevantes			
2. Construye a partir de las ideas de los demás			
3. Acepta la crítica razonable			
4. Está deseoso de escuchar puntos de vista			
5. Respeta a otros y a sus derechos			
6. Fundamenta sus opiniones con razones convincentes			
7. Proporciona ejemplos y contraejemplos			
8. Trata de descubrir presuposiciones subyacentes			
9. Hace juicios evaluativos equilibrados			
10. Dirige sus comentarios a sus compañeros			

La otra forma de evaluación es por medio del análisis de diálogo. En esta actividad se realiza una transcripción de uno de los diálogos sostenidos y posteriormente se presenta la reflexión y los comentarios de la maestra en el programa de filosofía para niños en una tabla de evaluación de las habilidades de pensamiento desarrolladas como la que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. *Análisis de diálogos para evaluar las habilidades de pensamiento de los estudiantes durante una práctica filosófica*

Tabla de evaluación de habilidades de razonamiento					
<b>Tema de discusión: Características de la masa</b>					
Diálogo		Habilidad de razonamiento	RI	CF	CS
Profesor	Pregunta seleccionada: ¿Puedes decirme por qué la bola grande de masa pesa más que las bolas pequeñas?				
Marisol	Porque la bola grande está formada con la masa de varios botecitos.	Ofrece razones	X		
Profesor	¿Tú qué opinas, Carlita?				
Carlita	Si le pones más masa entonces pesa más.	Ofrece razones	X		
Profesor	Y si en lugar de utilizar la masa de los botecitos utilizamos la masa de lodo, ¿crees que pesaría lo mismo? ¿Por qué?				
Carlita	Yo creo que no, porque son cosas diferentes, porque una es de harina y la otra es de tierra con agua.	Realiza inferencias apropiadas		X	

RI: indica que sí hay razonamiento e indagación a través de la manifestación o presencia de las habilidades de pensamiento.  
 CF: indica que se intenta clarificar un concepto o que se introduce algún concepto filosófico o valorativo.  
 CS: indica que hay construcción de sentido

## Conclusiones

En primer lugar, hacemos la aclaración de que tanto la planeación como la practica filosófica dentro del aula y su evaluación no representan éxito total en el mejoramiento del aprendizaje de los conceptos, pues la filosofía se tiene que cultivar mediante la práctica y conforme se practique se irán obteniendo mejores resultados. Por otro lado, hemos de hacer hincapié en que la filosofía no se puede aprender leyendo este artículo, por ello es necesario que el profesor que decida utilizar esta metodología debe, en primer, lugar incursionar en algún curso de filosofía para niños, de manera que adquiera experiencia en las practicas filosóficas. Por último. Se reitera que no es necesario estudiar temas de filosofía sino más bien el arte de filosofar.

## Referencias

- Del Valle Paz de Vargiu, S. (2008). Aportes de la filosofía para/con los niños a la enseñanza y el aprendizaje, en la EGB y el Polimodal. *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales - Universidad Nacional de Jujuy*, 34, 91-101. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18519814007>
- Echeverría, E. (2006). *Filosofía para niños*. SM.
- Goucha, M. (2011). *La filosofía, una escuela de la libertad enseñanza de la filosofía y aprendizaje del filosofar: la situación actual y las perspectivas para el futuro*. Unesco / Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa.
- Lipman, M., Sharp, A. y Oscanyan, F. (1992). *La filosofía en el aula*. Ediciones de la Torre.
- Morente, M. (1971). *Lecciones preliminares de filosofía*. Porrúa.
- Pineda R., D. A. (1992). *Filosofía para niños: Un acercamiento*. Universitas.
- Trequattrini Carmona, I. (2011). Filosofía para Niños y Niñas como estrategia educativa para el fomento de la salud bucal. Alumnos del 4º grado de la Unidad Educativa Monseñor Olegario Villalobos del Municipio Maracaibo Estado Zulia. *Revista de Artes y Humanidades UNICA*, 12(2), 212-245. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=170121976011>



**Segunda Parte**  
**DETECCIÓN DE RAYOS CÓSMICOS**



# Capítulo 15. Las técnicas de detección y estudio de rayos cósmicos

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>1\*</sup>

## Resumen

Desde el descubrimiento de los rayos cósmicos por V. Hess y otros físicos al inicio del siglo xx, las técnicas para detectarlos han evolucionado. Primero fueron simples emulsiones fotográficas, materiales fosforescentes y fluorescentes, cámaras de ionización tipo detectores de Geiger-Müller, sin embargo, en estos días existen cámaras multialámbricas, plásticos centelleadores, y un largo etcétera de materiales y dispositivos. Actualmente disponemos de varias técnicas de detección de radiación, combinadas en sistemas automatizados de adquisición de datos, en forma simple o híbridos. Por tal razón presento, desde un punto de vista didáctico, varias técnicas empleadas para la detección de rayos cósmicos y los resultados obtenidos de estos estudios. Asimismo, doy a conocer algunos equipos desarrollados en el Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato para la detección de rayos cósmicos.

**Palabras clave:** rayos cósmicos, detectores, técnicas.

---

<sup>1</sup> \* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

## Introducción

Los rayos cósmicos son sólo uno de los tipos de radiación existentes en la naturaleza. Son importantes para el estudio científico por varias razones: son naturales; provienen del exterior del planeta Tierra e incluso de la Vía Láctea, y quizá de mucho más lejos del Grupo Local de galaxias; algunos tipos tienen carga eléctrica, y otros son neutros eléctricamente; los cargados eléctricamente son afectados por el campo magnético de la Tierra, del Sol y de la Vía Láctea, mientras que los neutros eléctricamente no lo son, aunque podrían ser afectados —acoplarse con los campos electromagnéticos— porque tienen un momento dipolar magnético (pero no hay estudios en este respecto); producen radiación secundaria en las capas altas de la atmósfera terrestre por colisiones con las moléculas que llegan a la superficie de la tierra; son fuente de partículas desconocidas; tienen un amplio espectro de energías y de tipos de partículas; su origen es desconocido, especialmente el de los muy energéticos; su influencia en la tierra todavía no está completamente clara; originan otros elementos que no se crean en las reacciones estelares de fusión, sino por fragmentación por colisiones —Litio, Berilio, Boro— con las moléculas de la atmósfera o de los polvos interestelares; son fuente de información de eventos estelares, galácticos, y de los primeros estadios de la evolución del universo; pueden tener aplicaciones industriales y médicas; tienen aplicaciones didácticas, como las que aquí ilustramos; y muchas otras (Tanabashi, 2018).

Los rayos cósmicos fueron descubiertos por Víctor Hess alrededor de 1912, o al menos se lleva todo el crédito del descubrimiento, aunque por la época y posterior a esta hubo otros muchos estudiosos de los rayos cósmicos, incluyendo al insigne mexicano Manuel Sandoval Vallarta (Mondragón y Barnés, 1978). En 1936 le otorgan el Premio Nobel de Física a Hess por su descubrimiento de los rayos cósmicos (The Nobel Prize, 1936). Cerca del año 1912, en una serie de observaciones hechas a diferentes altitudes en globo, midió la ionización en la atmósfera terrestre o producida en la atmósfera terrestre. A alturas moderadas, observó que la capacidad de ionización en la atmósfera terrestre decrece con respecto a la que observa en la superficie de la tierra, pero a grandes altitudes empieza a crecer. Concluyó, con base en sus observaciones, que las partes altas de la atmósfera son ionizadas por radiación proveniente del espacio exterior.

También demostró, observando de noche y durante algunos eclipses, que la radiación cósmica no proviene enteramente del Sol. Así, Hess descubrió y estatuyó los rayos cósmicos, y estableció fehacientemente que proceden del espacio exterior. Con esto aventajó a todos sus competidores. Extendió las fronteras del universo conocido. La técnica de Hess para detectar radiación cósmica consistió básicamente en electroscopios y contenedores sellados de gas, o cámaras planas de ionización. Los primeros son muy conocidos, hay de muchos tipos, el más común consiste de dos laminitas de aluminio u oro que se separan cuando se electrifican y se deselectrifican por los iones circundantes en la atmósfera, de esta forma se infiere, como lo hizo Coulomb, que debe de haber una radiación ionizante circundante en la atmósfera (“Charles-Augustin de Coulomb”, 2021); los segundos son básicamente cámaras de ionización selladas, trabajan a altos voltajes y se mide la ionización del gas encerrado midiendo la corriente eléctrica producida por el voltaje aplicado, a mayor ionización mayor corriente eléctrica producida (“Ionization Chamber”, 2022).

En estos días hay muchas más técnicas de detección de los rayos cósmicos y de la radiación en general. Son técnicas contemporáneas basadas en sistemas automatizados de detección y recolección de datos. A nivel de la superficie terrestre, la radiación cósmica con carga eléctrica está constituida principalmente por muones — partículas de la misma familia que el electrón—, por neutrinos —el asociado al electrón, el asociado al muon, y el asociado al tau— y por fotones, ambos tipos son eléctricamente neutros. También hay otros tipos de partículas como electrones, positrones, neutrones, protones, y núcleos pesados en menor cantidad. Además, efímeramente pueden crearse partículas como piones, kaones, lambdas cero y otras cuyo tiempo de vida media es muy corto. En la atmósfera, lo que se observa de estas partículas son los productos de decaimiento, en el estado final, constituidos por partículas estables como lo son los electrones, los protones, los neutrones, los fotones, los neutrinos, etcétera.

Las técnicas de detección y estudio de los rayos cósmicos son similares para detectar y estudiar cualquier otro tipo de radiación ionizante, ya sea neutra o eléctricamente cargada. Se resumen en detectar iones y en detectar fotones, que se interconvierten a señales eléctricas vía el efecto fotoeléctrico, producidas por el paso de la radiación ionizante a través de diferentes ma-

teriales. Y para registrarse, estas señales se amplifican mediante el mismo material de detección y campos eléctricos aplicados.

En la actualidad las técnicas de detección de radiación se han diversificado. Las revisaremos rápidamente, especialmente las más usadas, y daremos ejemplos de avances realizados en el laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato en el desarrollo de estos detectores de radiación ionizante para la educación, el entrenamiento científico y la investigación científica.

## **Las técnicas de detección y estudio de rayos cósmicos**

### **Introducción**

Las técnicas de detección de los rayos cósmicos en particular, y de la radiación ionizante en general, se resumen en detectar iones o en detectar fotones, ambos producidos por la incidencia de la radiación en materiales diversos o por el paso de la radiación por estos materiales. Las técnicas para detectar iones o fotones son muy variadas, todas materializadas en dispositivos experimentales. Los estudios de la identidad de las partículas que componen los rayos cósmicos, las trayectorias de las partículas, la energía depositada, las formas de interacción, la intensidad de la radiación incidente, la distribución de la radiación en la superficie de la tierra, el probable origen de los rayos cósmicos, las interacciones que tienen lugar durante los choques de partículas, etc. se hacen con la información recabada en los diferentes detectores —una colección de pulsos de diferentes amplitudes, duraciones y cuentas de los pulsos como función del tiempo—. Para estos estudios también hay una labor de simulación computacional de todos los procesos que ocurren mediante la construcción y uso de modelos físicos para entender lo que ocurre cuando los rayos cósmicos inciden en los diferentes materiales. En todos los casos —el diseño, la planeación, la construcción y la operación de prototipos experimentales— y en la simulación computacional de esos procesos hay una labor intelectual de por medio; es un esfuerzo mental de observación, síntesis, e interpretación de la información. Sin esta labor intelectual nada se lograría.

## Producción de iones

Los iones se producen por colisiones entre las partículas incidentes y los electrones del material, entre campos eléctricos en el caso de partículas incidentes eléctricamente cargadas —como los electrones, los protones, positrones, etc.—, o choques directos, en el caso de partículas incidentes eléctricamente neutras, —como los neutrones, los neutrinos y los fotones— (Jackson, 2015). Los materiales usados para detección por ionización son variados: los más comúnmente usados son gases simples o compuestos (atmósfera terrestre, Ar, mezclas de gases); sólidos como semiconductores (Ge, Si); líquidos criogénicos (como el argón líquido) (Sauli, 1993). En el laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato investigamos el uso de líquidos iónicos y de metales para detectar radiación por ionización; detectamos iones y los amplificamos, y llevamos las señales eléctricas a un nivel medible.

Las señales eléctricas producidas por iones se amplifican, aplicando campos eléctricos altos —del orden de 1 000 V/cm—, hasta el nivel de poder medirlas con osciloscopios o sistemas de adquisición de datos, normalmente la amplificación se realiza con el mismo material que se ioniza.

## Producción de fotones

Los fotones se producen mediante varias formas en los materiales de detección y la radiación incidente: por frenado de las partículas incidentes eléctricamente cargadas —*bremstrahlung*, como también se le conoce—; por transición —que es una forma de frenado o aceleración cuando la partícula eléctricamente cargada pasa de un material denso a otro más denso o menos denso—; por centelleo —excitación y desexcitación de los niveles moleculares, los niveles atómicos (en tiempos del orden de nanosegundos), o los niveles nucleares (en tiempos del orden de femtosegundos, o nueve órdenes de magnitud más pequeños)—; por radiación Cerenkov —que es una forma de aceleración, excitación, o sacudida, de los dipolos eléctricos de los átomos, que se produce cuando la partícula atraviesa el medio material a una velocidad superior a la velocidad de las ondas electromagnéticas, en ese medio los dipolos eléctricos se excitan y se desexcitan coherentemen-

te emitiendo luz de la misma forma— (Jackson, 2015); por fluorescencia y fosforescencia —excitación de los niveles atómicos y moleculares, pero los tiempos de emisión de la radiación son más largos que en el caso de centelleo, estos son del orden de milésimas de segundo, segundos, minutos (es el caso de la fluorescencia), e incluso horas (en el caso de la fosforescencia)—. La fluorescencia la vemos en los materiales pegados a los durmientes limitadores en la carretera; la fosforescencia, en los interruptores eléctricos domésticos; el centelleo lo vemos en algunos productos comerciales como jabones, plásticos, etc. —brillan a la luz del sol con un color verde muy vivo, y atraen la atención de los compradores—. Nosotros los usamos para detectar rayos cósmicos, y radiación ionizante en general.

Los materiales empleados para detectar radiación mediante fotones son muy variados: gases (argón, la atmósfera terrestre, una mezcla de 90% Ar + 10% CH<sub>4</sub>, hidrógeno, etc.) (“Ionization Chamber”, 2021), líquidos (agua) (HAWC, 2021), geles, aceites (NOvA, 2021), jabones, glicerina, argón líquido (DUNE, 2021), y otros muchos, sólidos (vidrios, parafina, plásticos) (MINERvA, 2021), acrílicos, hielo (IceCube, 2021; “Neutrino Experiments”, 2021). En el laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato exploramos el uso de los metales como fuentes de fotones producidos por radiación cósmica. Es una técnica novedosa y no hay reportes en la literatura mundial de este tipo de investigaciones.

Para usar los fotones como indicio del paso de una partícula por el material, las señales de los fotones se interconvierten a señales eléctricas, mediante el efecto fotoeléctrico, y se amplifican mediante tubos fotomultiplicadores o diodos fotomultiplicadores hasta un nivel medible con instrumentos convencionales. La interconversión de las señales de fotones a señales eléctricas y la amplificación se realiza en el mismo dispositivo de detección de fotones, tubo o diodos fotomultiplicadores —que no multiplican fotones, sino cargas eléctricas, electrones; es la señal eléctrica lo que se multiplica—.

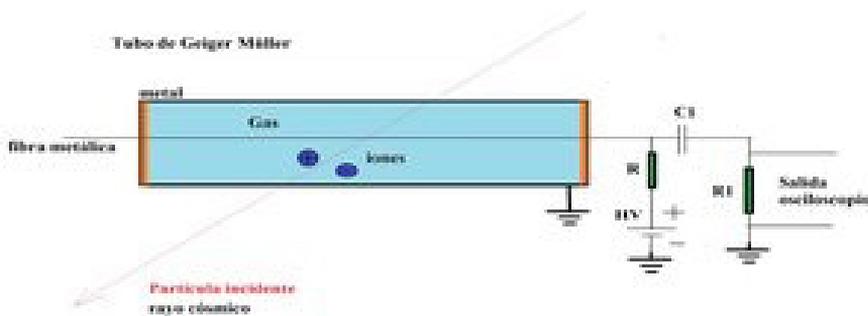
### **Detección de radiación mediante la detección de iones**

Los primeros detectores de radiación por ionización fueron las emulsiones fotográficas, ya en amplio desuso en estos días, cabe mencionar que fue esta

técnica la empleada por Henri Becquerel para descubrir la radiación proveniente del Uranio en 1896. Le siguieron la cámara de Wilson, o cámara de niebla —a base de vapor de agua sobresaturada—, y la cámara de Glasser o cámara de burbujas —a base de hidrógeno líquido en equilibrio termodinámico inestable—. Todos estos instrumentos de detección constituyeron avances muy significativos en su época, y con ellos los físicos lograron profundos progresos en la investigación de los constituyentes de la naturaleza y los principios bajo los que deviene. Asimismo, descubrieron muchas partículas elementales y no elementales en los rayos cósmicos, así como otras creadas en los aceleradores de partículas. Pues bien, con esa serie de informaciones construyeron el modelo estándar de las interacciones y de las partículas fundamentales, toda una revolución científica en la segunda mitad del siglo xx. Muchos de esos progresos teórico-conceptuales y experimentales merecieron Premio Nobel de Física, porque significaron avances muy profundos en el entendimiento de la naturaleza y en el avance tecnológico de la detección de esas partículas.

El dispositivo más simple es el detector de Geiger-Müller (Sauli, 2014). El siguiente dispositivo más simple es la cámara de ionización plana, la cual opera bajo los mismos principios que el detector de Geiger-Müller (Gruppen y Schwartz, 2008). Una unión de las dos anteriores es la cámara multialámbrica que fue inventada por Charpak en 1967 (Charpak, G., 1992) y que tiene la ventaja de ser fácilmente instrumentada electrónicamente: es fácil de construir, rápida, eficiente, de alta resolución espacial y temporal, etc. (Sauli, 1993; Sitar, *et al.*, 1993).

Figura 1. Diagrama del tubo de Geiger-Müller



La figura 1 ilustra las partes básicas de un detector de Geiger-Müller. Es un tubo de metal —cobre, aluminio u otro metal—, de sección transversal redonda o cuadrada, lleno de gas, con una fibra metálica coaxial al tubo —de tungsteno recubierto de oro o de cobre— y tensada unos 30 g para una longitud de 10 cm. La superficie del tubo funciona como cátodo y la fibra como ánodo a un potencial alto —entre 1 200 y 3 000 V—; las polaridades pueden invertirse, es decir, la fibra puede ponerse a un voltaje negativo y la superficie del tubo a un voltaje positivo o tierra. El campo eléctrico es extremadamente alto, especialmente en las cercanías de la fibra. Se ilustra la forma de conectar el detector a la fuente de energía eléctrica y a la electrónica mínima de detección, que es un capacitor  $C$  y una resistencia  $R$ . La lectura de la señal se hace sobre la resistencia  $R$ , usualmente con un osciloscopio o con un sistema de adquisición de datos.

La forma de operar es la siguiente: cuando una partícula cósmica de alta energía atraviesa el tubo e ioniza el gas, el campo eléctrico positivo jala los electrones libres y los acelera, los electrones, por su parte, ganan energía, porque son acelerados hacia el ánodo y en su trayectoria los electrones generan más electrones libres por ionización, hasta que se crea una avalancha de iones negativos —electrones—. Los iones positivos se neutralizan en el cátodo y se reintegran al gas. A veces se le agrega al gas principal un pequeño porcentaje de otro gas — $\text{CH}_4$ , por ejemplo— para absorber los fotones producidos por recombinación de los iones positivos y negativos. Los electrones de la avalancha, que conforman el pulso eléctrico, se almacenan en el capacitor y lo cargan. Cuando el proceso termina, el capacitor  $C$  se descarga vía la resistencia  $R$ . La señal de salida tiene la forma de descarga de un circuito  $RC$ ,  $R$  (resistencia) y  $C$  (capacitor); el tiempo de descarga es aproximadamente  $3RC$ , o  $RC$  ya con el 68% de descarga del capacitor. La unidad de medida de  $RC$  es el segundo. Hay detectores de rayos cósmicos tipo Geiger-Müller comerciales, como el ilustrado en la figura 2. Es un tubo de vidrio operado en un sistema Arduino. Para propósitos didácticos es excelente.

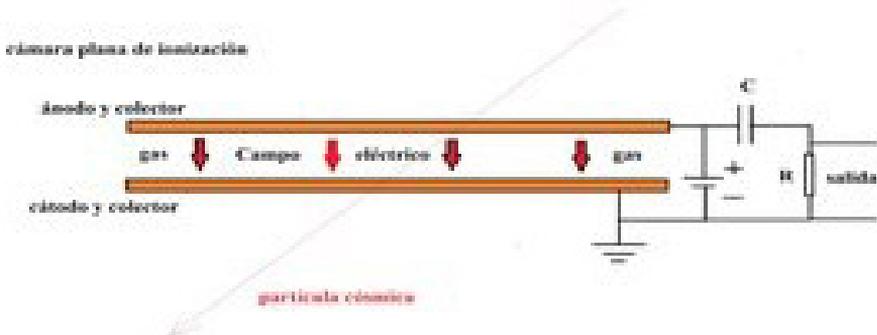
En la figura 3 se ilustran las partes medulares de una cámara de ionización plana. Consta de dos planos, uno anódico y uno catódico, en paralelo, separados por dos marcos de acrílico con tubo de salida o entrada, cada uno por donde se le hace circular lentamente un gas como  $\text{Ar}$  u otro. Estos planos, junto con los marcos, conforman el volumen de la cámara. Se aplican volta-

Figura 2. Sistema comercial de detección de rayos cósmicos



jes entre 2 000 V y 3 000 V, el cual depende de la separación entre los planos y del tipo de gas. La idea es configurar un campo eléctrico uniforme e intenso dentro de la cámara. El circuito electrónico básico para alimentar la cámara y para leer la señal producida por la incidencia de la radiación cósmica también se muestra en la figura 3. La forma de funcionar es análoga a la forma en que funciona el detector de Geiger-Müller, la diferencia con aquella es que la cámara de ionización plana tiene un campo eléctrico uniforme.

Figura 3. Partes modulares de una cámara de ionización



En la figura 4 se ilustran las partes esenciales de una cámara multialámbrica proporcional de Charpak, que consta de dos planos catódicos —hechos de laminitas de aluminio u otro metal— y un plano anódico —hecho de alambres muy finos— con una milésima de pulgada de diámetro. A los alambres se les aplica un alto voltaje, ya sea positivo o negativo, del orden de 1 200 V a 3 000 V, y la cámara se llena de algún gas —Ar u otro, o una mezcla de Ar y metano, generalmente un 90% o 95% de Ar y un 10% o 5% de metano—. El funcionamiento es similar al del detector de Geiger-Müller, sólo que en un plano y hay un detector al lado del otro para formar un plano. Poniendo dos cámaras como estas, una encima de la otra en planos rotados, es posible no sólo medir la incidencia de la radiación, sino también medir el punto de incidencia de la radiación. Con varias cámaras, incluso, es posible medir las trayectorias que conforman la radiación.

Figura 4. Partes modulares de la cámara de Charpak



## Detección de radiación mediante la detección de fotones

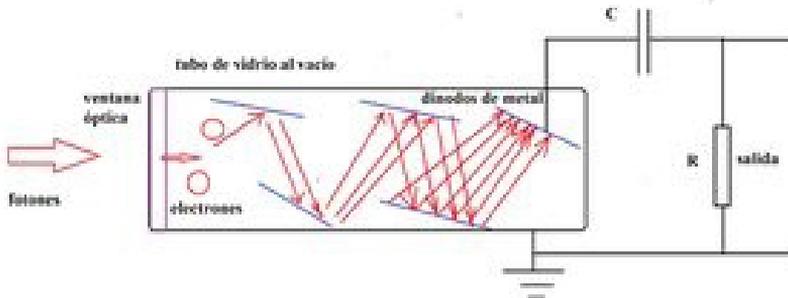
En un inicio la detección de radiación, invisible al ojo humano, se realizaba cambiando la de longitud de onda a fotones de longitud de onda perceptible con los ojos humanos, mediante materiales fosforescentes o materiales fluorescentes. En el año 1895, Conrad Röntgen descubrió los rayos X, como él los llamó, usando las técnicas de fluorescencia y fosforescencia. Hoy en día esta técnica está en desuso para detectar radiación, pero todavía se usa con otros propósitos distintos: juguetes que brillan en la oscuridad, adornos, señalética en la oscuridad, etc. Los cinescopios de computadoras y televisiones antiguas usaban materiales fluorescentes en el interior de las pantallas

para visualizar la incidencia de los electrones con los que se creaban las figuras proyectadas en la pantalla.

Para hacer el corrimiento al verde en la longitud de onda de la radiación, producida en materiales que están en el ultravioleta cercano por incidencia de radiación, se usan en estos días fibras ópticas. Y se corre al verde la longitud de onda porque es en esta donde los fotomultiplicadores y los diodos fotomultiplicadores tienen el máximo de eficiencia en la detección. Actualmente las formas de detectar los fotones son escasamente dos: con tubos fotomultiplicadores y con diodos fotomultiplicadores. Las dos técnicas usan el efecto fotoeléctrico para interconvertir la señal del fotón en una señal eléctrica.

En la figura 5 se muestra un esquema de un tubo fotomultiplicador. La forma en que opera un tubo fotomultiplicador es, en principio, muy sencilla: el fotón entra por la ventana óptica, incide en el metal y lo ioniza, luego saca un electrón del metal por efecto fotoeléctrico, el cual es acelerado en una serie de etapas o dinodos, mediante un potencial eléctrico entre los dinodos. En cada etapa los electrones acelerados chocan con las laminitas de los dinodos y arrancan más electrones por emisión secundaria, de esta forma el electrón se multiplica por un factor de varios millones de veces. Cuando el proceso termina, el capacitor  $C$  del circuito RC está cargado con todos los electrones colectados y se descarga a través de la resistencia  $R$ , en un tiempo del orden de  $RC$ . Esta es la señal que se observa en el osciloscopio proveniente del tubo fotodetector y supone el indicio de que un fotón fue colectado por el tubo fotomultiplicador, el cual, a su vez, es el indicio del paso de una partícula de radiación ionizante.

Figura 5. Diagrama de las partes de un tubo fotomultiplicador



En la figura 6, por su parte, se muestra la foto de un tubo fotomultiplicador comercial de uso común de tipo Hamamatsu.

Figura 6. *Tubo Hamamatsu fotomultiplicador*



En la figura 7 se muestra un esquema de un diodo fotomultiplicador; mientras que en la figura 8, la foto de un diodo fotomultiplicador de la marca Hamamatsu.

Figura 7. *Diagrama de un diodo fotomultiplicador*

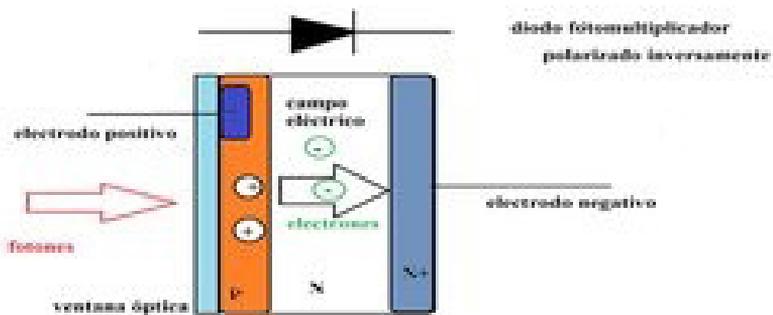
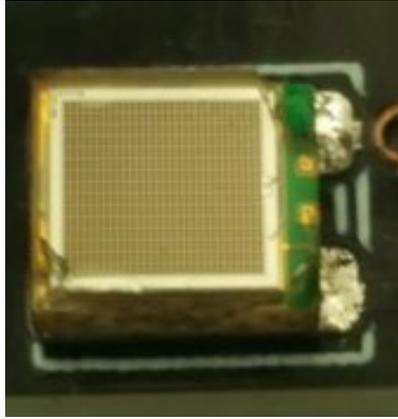


Figura 8. Diodo fotomultiplicador Hamamatsu



La forma en que funciona un diodo fotomultiplicador es también, en principio, muy sencilla: un material semiconductor —germanio, silicio, telurio de cadmio u otro— tipo NP es un diodo, con dos electrodos y una ventana óptica. Los electrodos funcionan también como colectores; el electrodo negativo está en el material N y el electrodo positivo en el material P. En todo esto, el diodo funciona con una polaridad inversa, lo cual constituye el secreto de su operación. Cuando un fotón incide en la ventana y libera un electrón del material P, por acción del campo eléctrico aplicado —muy alto, porque las dimensiones de las capas del diodo son muy pequeñas, del orden de micras— se multiplican las cargas eléctricas que llegan a ser del orden de más de un millón de veces que la inicial.

Los voltajes de operación son del orden de 30 V, 60 V o menos, pero el campo eléctrico es muy alto. Por acción térmica, o fluctuación cuántica, también es posible que se liberen electrones y se establezca una corriente eléctrica; en este caso es una corriente oscura, no relacionada con la incidencia de un fotón. El circuito tiene una capacitancia intrínseca y se le coloca una resistencia para limitar su corriente eléctrica. Esto es un sistema RC y cuando el proceso de detección termina, el capacitor está cargado y se descarga a través de la resistencia R. La señal de salida también tiene la forma de la descarga de un sistema RC, la cual es la señal típica de un fotodiodo fotomultiplicador. Los diodos fotomultiplicadores se ensamblan en

tarjetas electrónicas para alimentarlos con el voltaje apropiado, ensamblarlos mecánicamente al material donde se producen los fotones y leer apropiadamente la señal; a veces el circuito digitalizador de la señal se ensambla en la misma tarjeta electrónica.

En el Laboratorio de Partículas Elementales de la Universidad de Guanajuato estamos investigando la posibilidad de usar líquidos iónicos, metales, y una serie de nuevos productos y materiales que existen en el mercado —pensados originalmente con otros propósitos— para la detección de fotones. Estos estudios son un avance en este tipo de tecnologías de detección de fotones y por consiguiente en la detección de radiación y rayos cósmicos.

## Ejemplos de detectores de rayos cósmicos

### Introducción

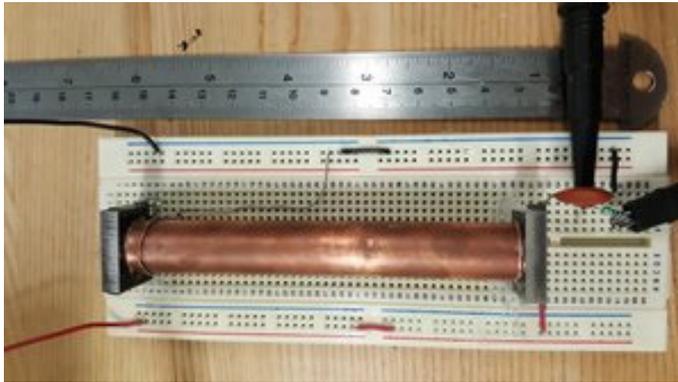
Los siguientes detectores son originales en su diseño. Todos diseñados y construidos con la intervención de estudiantes de la Universidad de Guanajuato, de la División de Ciencias e Ingenierías, campus León, en el Laboratorio Internacional de Partículas Elementales. Los principios físicos de operación son los mismos bajo los que opera cualquier detector de su tipo, en cualquier otro laboratorio del mundo. Los objetivos didácticos son entrenar a los estudiantes en este tipo de metodologías científicas: que aprendan y apliquen el método científico en todas sus fases; que se involucren en las etapas temprana de su formación en las metodologías científicas; que diseñen, construyan y operen equipo científico; que desarrollen nuevas tecnologías de detección; que estudien los rayos cósmicos y la radiación ionizante en general; y, finalmente, que apliquen tecnologías computacionales y matemáticas en todos los procesos anteriores.

### Un detector tipo Geiger-Müller

En la figura 9 está la foto de un pequeño detector de radiación de rayos cósmicos, tipo Geiger-Müller, y está construido como se explicó con anterioridad. Es un tubo de cobre de 1.27 cm de diámetro y 10 cm de longitud, fue limpiado y pulido, por dentro y por fuera, conectado a tierra mediante

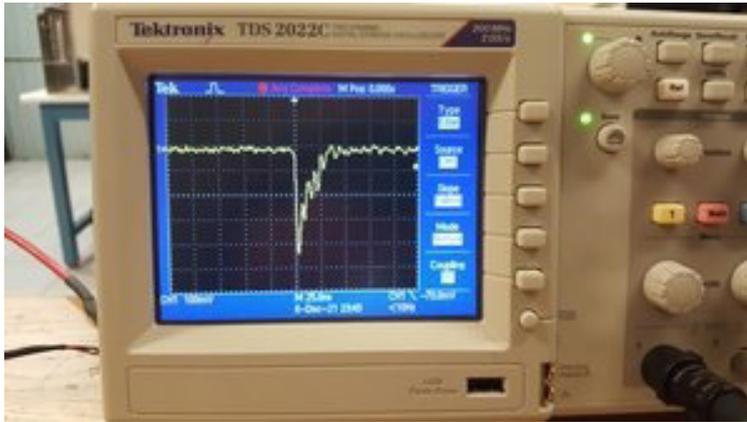
un alambre de Cu; la fibra coaxial es de cobre, tensada a 30 gramos, y de aproximadamente 0.1 mm de diámetro. Tiene una resistencia eléctrica entre la fuente eléctrica y la fibra coaxial para limitar la corriente eléctrica. En esta figura también se muestra el circuito RC de operación. El detector empieza a operar como a 1500 V con el gas de la atmósfera terrestre que quedó encerrado cuando cerramos la cámara.

Figura 9. Un pequeño detector tipo Geiger-Müller



En la figura 10 está la foto de un pulso generado por la incidencia de un rayo cósmico. El tiempo de duración del pulso es aproximadamente de 25 ns, coincide muy bien con el valor de RC del circuito, por lo cual, la impedancia entre este detector y el osciloscopio está bien acoplada. Las amplitudes de las señales detectadas son variables y el tiempo de duración de cada señal es básicamente el mismo. Por su parte, la incidencia de partículas es aleatoria y quizá siga una distribución de Poisson. Finalmente, los pulsos son debido a la incidencia de rayos cósmicos y las amplitudes están relacionadas con la energía depositada en forma de iones por las partículas incidentes en el detector o en el gas específicamente.

Figura 10. Señal detectada



### Una cámara plana de ionización

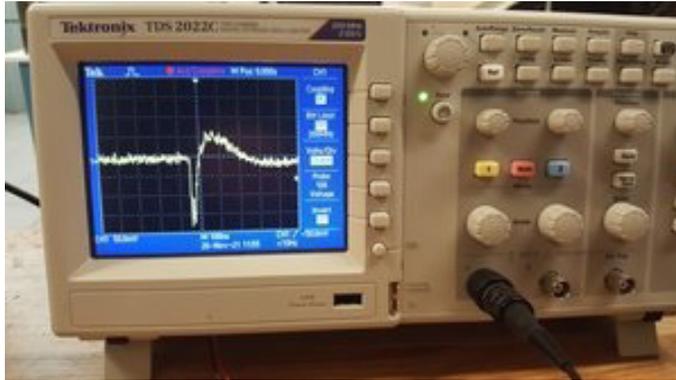
En la figura 11 está la foto de una cámara plana de ionización; fue construida con base en dos tarjetas electrónicas donde se depositaron los electrodos, que también funcionan como colectores, y las pistas para conectar la electrónica mínima de operación. Opera con el aire que quedó encerrado cuando cerramos la cámara y a aproximadamente 2 500 V.

Figura 11. Un prototipo de cámara plana de ionización



En la figura 12, por otro lado, se muestra la señal obtenida con rayos cósmicos. El tiempo de descarga es aproximadamente 50 ns, con un sobretiro hacia arriba que indica que el acoplamiento entre impedancias requiere un ajuste.

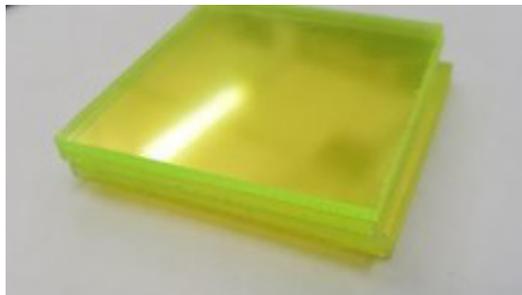
Figura 12. Señal obtenida con la cámara de ionización plana



### Un detector plano a base de plásticos centelladores y un tubo fotomultiplicador

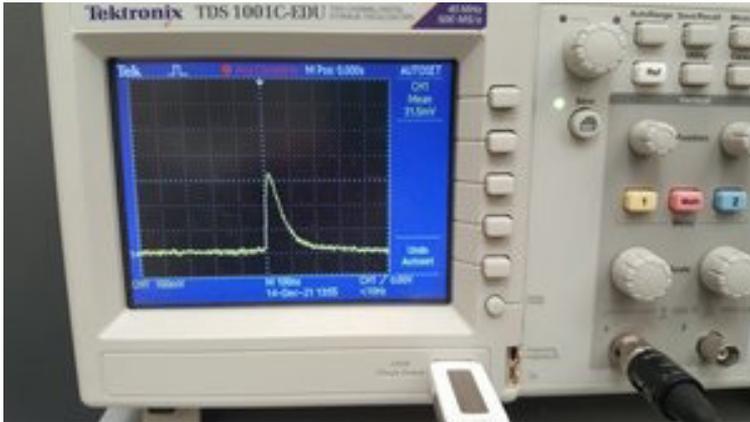
En la figura 13 se muestran los plásticos centelladores comunes, es decir, aquellos que no fueron diseñados originalmente para detectar radiación. El tubo fotomultiplicador empleado es de la marca Hamamatsu mostrado en la figura 6, por medio del cual el sistema se aísla ópticamente del medioambiente y se le acopla un tubo fotomultiplicador, del tipo mostrado en la misma figura.

Figura 13. Plástico centellador común



En la figura 14 se muestra una señal detectada, de rayos cósmicos, con este sistema detector. El sistema funciona satisfactoriamente.

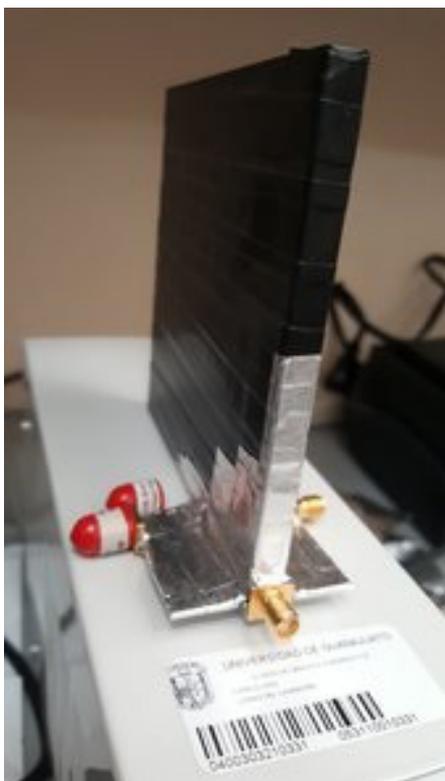
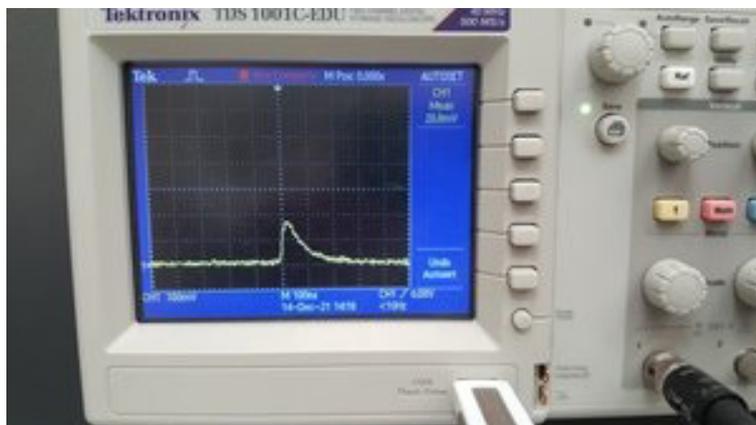
Figura 14. Señal detectada



### Un detector a base de un plástico centellador y un diodo foto multiplicador

En la figura 8 se muestra un diodo fotomultiplicador Hamamatsu empleado en este detector, aunque puede ser cualquier otro tipo de fotodiodo, en el mercado hay de varios tipos; para aprender a operarlos, se debe estudiar el *datasheet* correspondiente. En la figura 15 se muestra un plástico centellador ensamblado con el diodo fotomultiplicador y aislado ópticamente del medio ambiente.

En la figura 16 se muestra una señal obtenida con este ensamble plástico-diodo fotomultiplicador expuesto a los rayos cósmicos. He omitido todo el proceso de diseño, construcción y operación de cada uno de los prototipos. Pero como experiencia didáctica, la construcción y operación de los prototipos para detectar y estudiar los rayos cósmicos es excelente y única. Los estudiantes deben seguir todos los pasos que se hacen en la ciencia, especialmente en la física, para aprender los conocimientos de esta materia y sus aplicaciones a la hora de hacer tecnología.

Figura 15. *Plástico y diodo*Figura 16. *Señal detectada*

## Conclusiones

Para detectar radiación ionizante se detecta una pequeña porción de energía dejada por la partícula cósmica incidente en algún material que luego se amplifica hasta niveles medibles con instrumentos convencionales. La pequeña porción de energía dejada, o el rastro de energía, es en forma de un ion o de un fotón. Para producir los iones o los fotones se usan diferentes materiales: gases, líquidos, líquidos criogénicos, sólidos y otros. Los fotones y los iones se producen por diferentes formas en cada uno de los materiales. Las señales de iones se amplifican en el mismo material, mientras que las de los fotones se interconvierten a señales eléctricas mediante el efecto fotoeléctrico, para luego amplificarse a través de tubos fotodetectores o diodos fotomultiplicadores. Al final, todas las señales se leen en un circuito RC.

En el laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato desarrollamos tecnología a base de metales, de líquidos iónicos, y de materiales no convencionales para detectar radiación ionizante vía la detección de iones o la detección de fotones. Los estudiantes encuentran en estas metodologías una forma de aprender ciencia y física, a la vez que una manera de hacer y desarrollar tecnología. Con esto correlacionan integralmente la ciencia —física y matemáticas en particular— con la tecnología y con la economía, y así aprenden que todos los saberes —diseño computacional, física, matemáticas, electrónica, óptica, electricidad y magnetismo, simulación numérica y computacional, materiales, etc.— están interrelacionados entre sí.

## Referencias

- Charpak, G. (1992). *Premio Nobel en Física, 1992*. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/charpak-lecture.pdf>
- Charles-Augustin de Coulomb (4 de junio de 2022). En *Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin\\_de\\_Coulomb](https://en.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_de_Coulomb)
- DUNE. (2021). *Deep Underground Neutrino Experiment*. <https://www.dunescience.org/>
- Grupen, C. y Schwartz, B. (2008). *Particle Detector*. Cambridge University.
- HAWC (2021). *The High-Altitude Water Cherenkov Gamma-Ray Observatory*. <https://www.hawc-observatory.org/>
- IceCube (2021). *IceCube Neutrino Observatory*. <https://icecube.wisc.edu/>

- Ionization Chamber (21 de mayo de 2022). En *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ionization\\_chamber](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionization_chamber)
- Jackson, J. D. (2015). *Classical Electrodynamics*. University of Illinois. <https://archive.org/details/ClassicalElectrodynamics2nd>
- List of Neutrino Experiments. (21 de junio de 2021). En *Wikipedia* [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_neutrino\\_experiments](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_neutrino_experiments)
- MINERvA, (2021). *MINERvA: Bringing neutrinos into sharp focus*. <https://minerva.fnal.gov/>
- Mondragón, A. y Barnés D. (Ed.). (1978). *Manuel Sandoval Vallarta*. UNAM.
- NovA (2021). *Fermilab NovA*. <https://novaexperiment.fnal.gov/>
- Spieler, H. (2011). *Semiconductor Detector Systems*. Oxford University.
- Sauli, F. (Ed.), (1993). *Instrumentation in High Energy Physics*. World Scientific.
- Sauli, F. (2014). *Gaseous Radiation Detectors*. Cambridge University.
- Sitar, B. et al., (1993). *Ionization Measurements in High Energy Physics*. Springer-Verlag.
- Tanabashi M. et al. (2018) Review of particle physics: Particle Data Group. *Physical Review D*. 98, 030001. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.98.030001>
- The Nobel Prize. (1936). *Unsolved Problems in Physics: Tasks for the Immediate Future in Cosmic Ray Studies*. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1936/hess/lecture/>



# Capítulo 16. Planeación, diseño, construcción y desarrollo de un sistema experimental para caracterizar fotomultiplicadores tipo EMI 9954B

CARLOS ANDRÉS CERVANTES VERA<sup>1\*</sup>

LUIS JORGE ARCEO MIQUEL<sup>2\*\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>3\*\*\*</sup>

## Resumen

Los fotomultiplicadores son dispositivos característicos de los detectores de partículas, los cuales fueron utilizados, desde principios del siglo xx, en muchos experimentos alrededor del mundo. Para utilizar de manera óptima y eficiente tales detectores de amplio espectro de radiación, es necesario probarlos, evaluarlos y caracterizarlos. En el Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato ([laboratoriointernacionaldeparticulaselementales.net](http://laboratoriointernacionaldeparticulaselementales.net)) se planeó, diseñó y construyó un doble sistema experimental para evaluar y estudiar fotomultiplicadores tipo 9954B-EMI PhotoMultiplier, a través de la utilización de rayos cósmicos. El sistema consta de las siguientes partes: tarjeta electrónica (que comprende el divisor de voltaje de alimentación de fototubos, lectura de señal analógica y circuito digitalizador) y la caja oscura de cerramiento (que comprende contadores de veto superior e inferior, basados cada uno en un 10 cm × 10 cm × 0.6 cm de centellador de plástico y un fotodiodo Hamamatsu MPPC S12572-100P, y el material en estudio). En el presente estudio se presentan y discu-

---

<sup>1</sup> \* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5940-5246>

<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4915-2676>

<sup>3</sup> \*\*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

ten los detalles técnicos de este sistema de evaluación y los resultados físicos preliminares obtenidos.

**Palabras clave:** rayos cósmicos, fotomultiplicadores, foto-detección, fotones.

## Introducción

Los fotomultiplicadores son dispositivos característicos de los detectores de partículas utilizados desde principios del siglo xx, en muchos experimentos en varias partes del mundo. Para utilizar de manera óptima y eficiente tales detectores de amplio espectro de radiación, es necesario probarlos, evaluarlos, y caracterizarlos. En el Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato se planeó, diseñó y construyó un doble sistema experimental para evaluar y estudiar fotomultiplicadores tipo 9954B-EMI PhotoMultiplier, a través de la utilización de rayos cósmicos. El sistema consta de las siguientes partes: tarjeta electrónica (que comprende el divisor de voltaje de alimentación de fototubos y lectura de señal analógica, y circuito digitalizador) y una caja oscura (que comprende dos veto-detectores superior e inferior, cada uno utilizando fotodiodos Hamamatsu MPPC S12572-100P, y plástico centellador). Se presentan y discuten detalles técnicos de este sistema de evaluación y algunos resultados preliminares obtenidos.

## Objetivos

Caracterizar fotomultiplicadores utilizando rayos cósmicos por medio de una caja oscura con veto-detectores para validar las señales detectadas.

## Tubo fotomultiplicador

El tubo fotomultiplicador (PMT) es un instrumento muy sensible que se emplea para detectar fotones de baja energía, en el rango ultravioleta (UV), a visible alta energía, como por ejemplo rayos X, rayos gamma y partículas ionizantes mediante el uso de plásticos centelladores. Los PMT transforman la información de la luz (fotoelectrones) en un análogo eléctrico. Una señal obtenida por el PMT contiene información referente a un evento, la inten-

sidad de los fotones, posición de una señal detectada en el fotocátodo y longitud de onda. Si tenemos en cuenta el área de superficie de la ventana óptica, la intensidad puede referirse al número de fotones por evento o por unidad de tiempo. La tasa de incidencia de los fotones en el PMT puede llegar a ser constante o puede variar, a veces tener un intervalo de minutos entre una incidencia y otra.

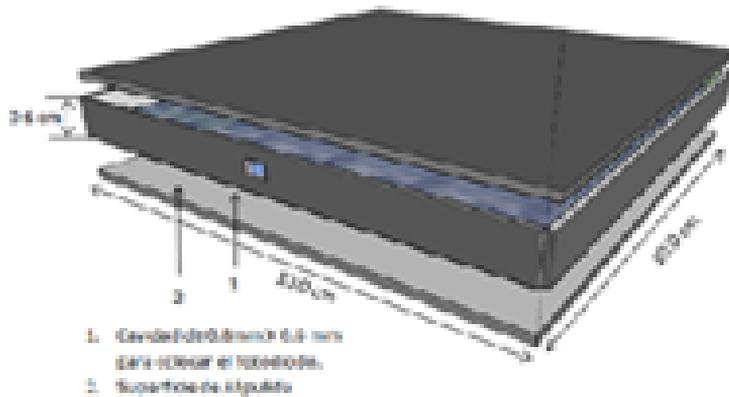
## Planeación

La intención de desarrollar un sistema que caracterice los fotomultiplicadores usando veto-detectores es mejorar el sistema previo al que se tenía y estudiar los datos obtenidos con fines de enseñanza e investigación. Se ha planificado un sistema a bloques constituido por una fuente de voltaje, una caja oscura, electrónica RC y un digitalizador de señal. Este sistema consta de dos veto-detectores superior (*top*) e inferior (*bottom*), que operan simultáneamente utilizando plástico centellador para validar la señal a través de fotodiodos Hamamatsu y una tarjeta electrónica que se suministra con alto voltaje al PMT, así como procesamiento de señal analógica a digital.

## Diseño

El sistema experimental está compuesto por distintos bloques: el primero de ellos es una caja oscura compuesta por madera y un recubrimiento de aluminio. Los veto-detectores se hallan constituidos por plástico centellador y placas de aluminio pulido, así como por una tarjeta electrónica que contiene un circuito RC y otro de lectura de señal. El sistema de veto-detectores consta de dos prototipos individuales de 10 cm × 10 cm × 1 cm, cada uno constituido por seis piezas de aluminio, un vidrio interno y un fotodiodo Hamamatsu MPP S12572-100P por canal. En la figura 1 se muestra el diseño completo del prototipo diseñado en SketchUp. Las piezas en color gris oscuro representan las piezas de aluminio sin pulir y las de color gris claro son las superficies internas pulidas.

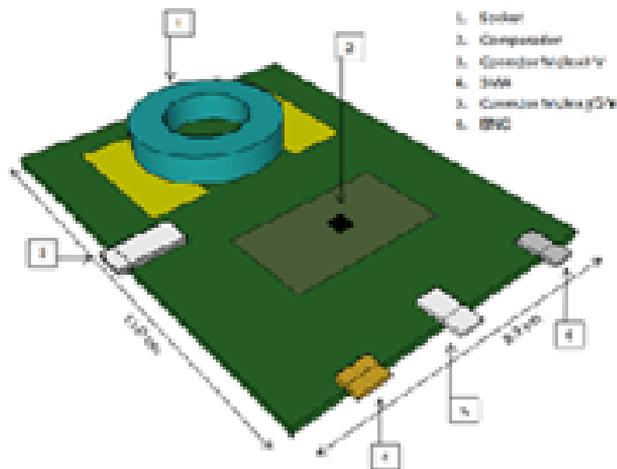
Figura 1. Vista frontal y vista interna del diseño del veto-detector



## Diseño de la tarjeta electrónica

La tarjeta electrónica es una de las partes más importantes en el sistema experimental, tiene dimensiones de 8.3 cm × 11.0 cm y está formada por tres secciones: divisor de voltaje, circuito discriminador, circuito de lectura de señal digital, cada uno cumple con una función específica (véase figura 2).

Figura 2. Diseño en SketchUp que representa a las distintas partes de la tarjeta electrónica del PMT



Las tres secciones de la tarjeta electrónica vistas de manera pormenorizada son las siguientes:

**Divisor de voltaje.** La tarjeta electrónica tiene un *socket* Modelo B19A de 19 dinodos, que da soporte mecánico al tubo fotomultiplicador, pues ensambla los pines de este último en las terminales del *socket*, el cual se encuentra unido a la tarjeta electrónica mediante soldadura de aleación de plomo-estaño. El *socket* está conectado, a su vez, con un circuito RC que distribuye el alto voltaje (1000 V-2800 V DC). En la figura 2 se muestra, en la sección tres, que consiste en un conector molex de dos pines por donde se suministra el alto voltaje; posteriormente, en la misma figura, hay una región en amarillo donde se encuentra el circuito RC que distribuye el alto voltaje a los pines del *socket* y estos al fotomultiplicador.

**Circuito comparador.** La tarjeta electrónica contiene sólo un circuito ADCMP582 con un retardo de propagación de 100ps (Analog Devices, 2016). Este circuito requiere 5 voltios para su funcionamiento. Su función consiste en comparar la señal analógica, procedente del circuito RC, con un voltaje de disparo fijo definido en el osciloscopio se emite la señal digital. En la sección 4 de la figura 2 se muestra la representación del circuito comparador en la tarjeta electrónica: la región sombreada en verde claro es el área que acompaña a los demás componentes del circuito digitalizador.

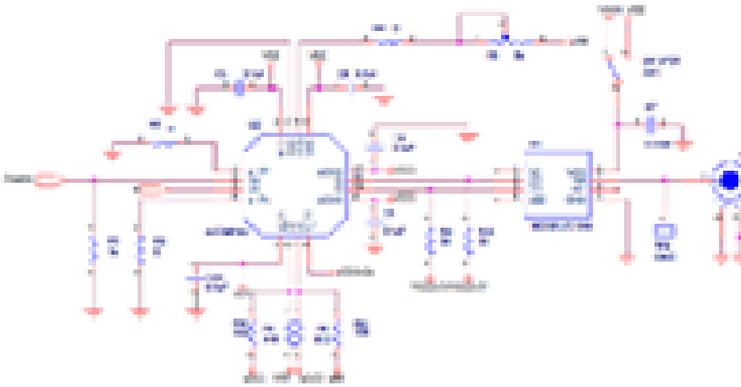
**Lectura de señal.** La señal digital proveniente del circuito comparador es enviada a una terminal, la cual es un conector BNC representado en la sección 6 de la figura 2. En el conector BNC es posible colocar un cable coaxial por donde se envíe la señal digital al DAQ. También en la tarjeta electrónica hay un conector SMA, por donde se realiza la lectura de la señal analógica, sección 4 de la figura 2.

## Circuito discriminador

Contiene un solo circuito integrado ADCMP582 con un retardo de propagación de 100 ps (Analog Devices, 2016). El comparador se alimenta con un voltaje de 5 voltios, su función es comparar la señal analógica proceden-

te del circuito RC del divisor de voltaje. En la figura 3 se muestra el esquema del circuito, donde se puede apreciar que la señal analógica entra por la banderilla marcada por <Discrim> y pasa al circuito discriminador que compara la señal y sale como una señal digital; después pasa por un circuito diferencial MC10ELT21DG, el cual convierte dicha señal digital PECL a TTL. Esto último para hacerlo compatible con el sistema de adquisición de datos, finalmente la señal pasa a un conector BNC.

Figura 3. Diseño del circuito discriminador



## Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos DAQ por sus siglas en inglés (Data Acquisition System) es una herramienta tecnológica desarrollada por National Instrument llamada CompactRIO 9025, que consiste en cuatro componentes principales: un controlador en tiempo real, un chasis, módulos de E/S (entrada/salida) y *software*. Se observan las dimensiones de la CompactRIO 9025 en la hoja de datos (National Instrument, 2015). La CompactRIO se programó de tal manera que se registren datos cada 1 ms en un archivo según el número de eventos ocurridos y el número de canales habilitados. El total de pulsos por ms es la suma de 4000 periodos de 25 ns de conteos para registrar datos. Se generan archivos cada treinta minutos en una carpeta llamada “cRIO NI\InterleavingFIFO-v10”, donde los datos se van registrando en columnas para tres canales. El programa Host-DMA-v10 genera archivos separados

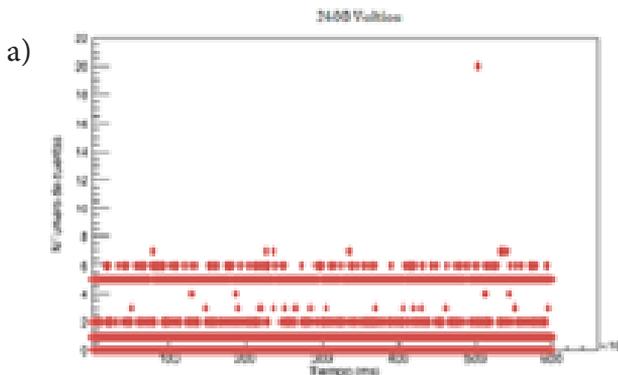
para cada canal cuando finaliza el tiempo establecido por el usuario. Ambos programas registran datos en un archivo distinto. La comunicación entre la CompactRIO y el sistema experimental se realizó a través de cables tipo BNC.

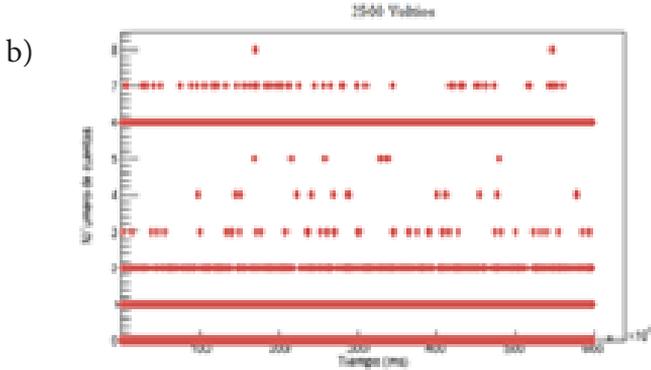
El registro de datos se procesa utilizando un *software* de programación llamado ROOT 5.34/23, el cual proporciona todas las funcionalidades necesarias para el procesamiento de grandes cantidades de datos. El código está escrito en lenguaje C++ integrado con otros programas como Python. La CompactRIO fue programada específicamente en para funcionar como sistema de adquisición de datos en un entorno de LabVIEW. Como la CompactRIO se halla conformada por varios canales, únicamente para nuestro propósito se activan tres de ellos, los canales 1, 2 y 3. El primero está destinado a la conexión con el tubo fotomultiplicador, el segundo el veto-detector top, y el tercero al veto-detector bottom.

## Caracterización del fotomultiplicador

La caracterización del tubo fotomultiplicador se lleva a cabo empleando diferentes materiales para el conteo de cuentas y utilizando diferentes voltajes en múltiplos de 100 V. Se inicia desde los 1 000 V DC de corriente negativa, hasta alcanzar los 2 500 V. Por ello, se realizaron dos mediciones de conteos usando la metodología anterior. Únicamente se utilizaron dos materiales de referencia: para la primera medición se utilizó como material de detección plástico centellador.

Figura 4. Incremento del número de cuentas en: a) 2 400 V y b) 2 500 V usando plástico centellador

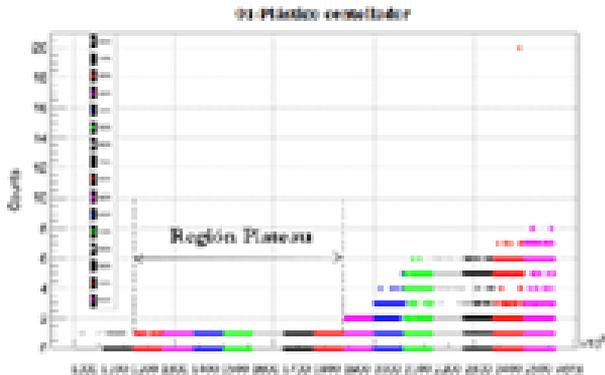




### Sistema de adquisición de datos

Esta región es una característica del tubo fotomultiplicador, ya que es un indicador de los valores óptimos de operación del voltaje implementado en el PMT, y se puede observar para los tubos PMT 9954.B en la figura 5. Dicho gráfico se desarrolla usando una fuente de alto voltaje y usando CompacTRIO, donde se cuentan los pulsos más altos que superan el Trigger establecido en la tarjeta electrónica 15mV. La metodología que se implementó fue la siguiente: se realizaron mediciones de 30 minutos, elevando gradualmente el voltaje de 100 en 100 y generando archivos FIFO para cada uno. En Code::Bloks 10.05 se abrieron todos los archivos generados para cada una de las mediciones y se compilaron en el programa Plot1Channel3.C.

Figura 5. Región Plateau obtenida utilizando plástico centellador



## Conclusiones

Se logró construir un sistema de caracterización de fotomultiplicadores, así como la electrónica para su funcionamiento. Asimismo, se comprobó que todos los bloques del sistema funcionan correctamente. Falta realizar más pruebas con más tubos fotomultiplicadores y obtener más resultados utilizando diferentes materiales de detección, con la finalidad de construir un detector utilizando este tipo de fotomultiplicadores.

## Referencias

- Analog Devices. (2016). *Data Sheet AD8000*. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8000.pdf>
- Arceo, L. y Felix, J. (3-10 de agosto de 2016). Basic Readout Electronic Board for Three Channel Cosmic Ray Detector. En *Proceedings of Science*. 38<sup>th</sup> International Conference on High Energy Physics, Chicago, USA. <https://pos.sissa.it/282/769/pdf>
- Eckert, P., Schultz-Coulon, H. C., Shen, W., Stamen, R. y Tadday, A. (2010). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. *ScienceDirect*, 620(2-3), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.03.169>
- Flyckt, S. O. y Marmonier, C. (2002). Photomultiplier Tubes: Principles and Applications. <https://web.archive.org/web/20060908113719/http://www.jhu.edu/iic/Photomultipliers.pdf>
- Hamamatsu, datasheet, (2015). <http://www.hamamatsu.com/jp/en/S12572-100P.html>
- Luis, A., Felix, J. (2018). Design, construction and characterization of a three-channel cosmic ray detector based on Aluminium blocks electronics. *Pistas Educativas*, 39(128), 154-168.



# Capítulo 17. Planeación, diseño y construcción de una minicámara multialámbrica de 5 cm × 5 cm

JUAN BECERRA ZAMUDIO<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

## Introducción

La detección de radiación es de suma importancia en muchos campos de la física, de la industria y la medicina. Es por esto por lo que constantemente se están produciendo e innovando nuevas formas de detectar radiación; hoy en día la cámara plana de alambres múltiples (o multialámbrica) es una tecnología de detección de radiación muy conocida y estudiada, con muchas ventajas sobre otras tecnologías de detección de radiación ionizante. Es importante que los estudiantes de pregrado sean capaces de entender los conceptos básicos detrás de estas formas de detección, porque complementa su formación académica, además de que facilita el proceso de aprendizaje de los temas vistos en cursos. El poder observar el funcionamiento de los métodos y aparatos de detección, así como de documentarse para aprender acerca de los conceptos físicos básicos detrás de su funcionamiento, le brinda al estudiante la capacidad de diseñar nuevos dispositivos de detección que tomen como base los métodos ya desarrollados.

La cámara multialámbrica fue desarrollada por Georges Charpak lo cual le valió el Premio Nobel en 1992. Dicha herramienta es un detector de radiación por ionización que funciona como un contador proporcional, el cual funciona a través de filamentos de material conductor colocados de

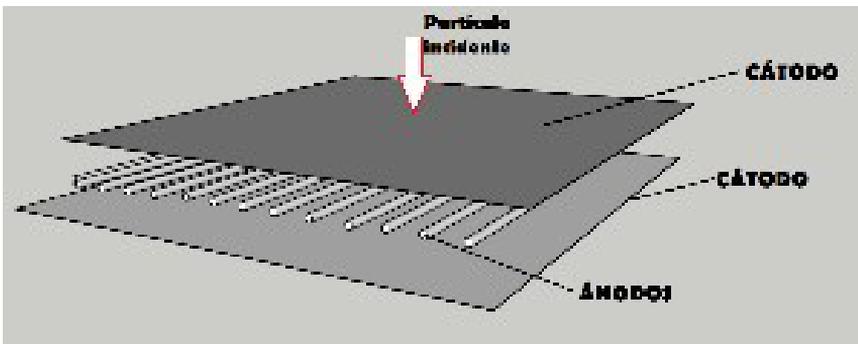
---

<sup>1</sup> \*

<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

forma paralela y espaciados por distancias del orden de mm (Charpak, 1992). Estos filamentos funcionan como los ánodos del detector, mientras que el cátodo serán piezas de material conductor colocadas superior e inferiormente a los filamentos. Los filamentos se encuentran sumergidos en una atmósfera de gas a ionizar que forman una cámara de gas entre ambos cátodos, de ahí el nombre de esta clase de detectores conocidos como cámaras multialámbricas.

Figura 1. Esquema de una cámara multialámbrica



La radiación incide sobre esta cámara con gas en su interior y energía suficiente para desprender electrones de los átomos del gas, es decir, para ionizar el gas y generar pares ion-electrón. Para esto los electrodos se someten a una diferencia de potencial, por lo que los electrones libres se trasladan hacia los filamentos o ánodos acelerados debido al campo eléctrico generado por el potencial entre electrodos. Los iones positivos, cuya masa es varios órdenes de magnitud mayor que la de los electrones, viajan a los cátodos, mientras que, debido al campo eléctrico entre electrodos, los electrones son acelerados hasta obtener una energía cinética tal que les permite ionizar otros átomos de gas en su trayecto a los filamentos. Esta ionización se conoce como ionización secundaria y permite multiplicar el número de electrones obtenidos por la ionización primaria (Leon, 1987). Finalmente, los electrones provenientes de las ionizaciones primarias y secundarias se recolectan en los filamentos, con lo cual se logra obtener señales eléctricas proporcionales a las partículas incidentes, medibles a través de sistemas electrónicos.

El que cada filamento funcione como un ánodo colector tiene como ventaja la posibilidad de obtener la localización de la ionización (Knoll, 2000). Es decir, debido a la separación reducida entre filamento y filamento, cuando la radiación incide e ioniza átomos a su paso será posible localizar la zona sobre la cual se está produciendo la ionización y con esto se sabrá la trayectoria de la radiación. Los gases usados para el llenado de la cámara generalmente son gases nobles como el argón o xenón, a los que se incorporan gases poliatómicos para lograr reducir los pulsos no deseados. Mientras que los filamentos son hechos de aleaciones de oro y tungsteno debido a su baja oxidación, alto punto de fusión y gran resistencia mecánica (Delgado y Castro, 2019).

Lo descrito en este trabajo tiene como objetivo la construcción de una cámara multialámbrica con fines pedagógicos para así entender el funcionamiento y principios físicos detrás de este método de detección. Es por esto que se siguió una metodología sistemática con el fin de lograr una planeación ordenada que permitiera una familiarización orgánica con los términos y conceptos detrás. Por otra parte, además del objetivo académico y de enseñanza, también se buscó diseñar dispositivos de detección únicos en su clase, basados en principios fundamentales, así como realizar todo el proceso detrás del desarrollo de un sistema de detección. Habilidades como el modelado en 3D, simulación y planeación son parte importante en el desarrollo de sistemas de detección, por lo que es importante también que el estudiante realice estas actividades.

## Planeación

### Cámara y piezas

La cámara multialámbrica usada fue un diseño exclusivo propiedad del Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato, dirigido por el doctor Julián Félix. Este diseño consiste de una tarjeta electrónica de 10 cm × 10 cm con una abertura cuadrangular interna de 5 cm × 5 cm donde se montó una cámara de gas por la cual circuló el gas a ionizar, de tal manera que esta fue el área efectiva de detección de la cámara. Para la conexión de los ánodos o filamentos se realizaron perforaciones

alrededor del área efectiva de detección, se consideraron 10 filamentos colocados cinco y cinco en forma de red, y como cátodos se usaron dos placas de aluminio, aisladas eléctricamente y colocadas en las tapas de la cámara de gas. Para la alimentación de los filamentos se incorporó al circuito de la tarjeta electrónica una conexión de alto voltaje; mientras que para la salida de las señales detectadas se implementó un circuito para cada ánodo o canal de detección. El circuito incorporó un capacitor y una resistencia variable para la señal de cada filamento, Por último, para la lectura de las señales, se usaron puertos RJ45 de ocho pines. Los diseños e imágenes para una mejor visualización de lo descrito se incorporarán en las siguientes secciones.

### **Vetodetectores**

Además de la detección producida en la cámara de gas y leída a través de los puertos RJ45 en la tarjeta electrónica, se incorporaron dos detectores de centelleo colocados inferior y superiormente a la cámara de gas, de tal forma que el área efectiva de ambos detectores coincidiera con el área efectiva de la cámara de gas con los multifilamentos. Estos detectores cumplieron la función de vetar las señales incidentes en la cámara multialámbrica y, a través de ellos, se identificaron señales incidentes en la cámara, al considerar como evento relevante toda radiación detectada en ambos detectores veto. De tal forma, esta radiación necesariamente incidió sobre el área efectiva de detección de la cámara multialámbrica.

Los vetodetectores planeados consistieron en una base cuadrangular de aluminio con dos soportes laterales en forma de “L”. Sobre la base cuadrangular de aluminio se incorporó un plástico centellador de la compañía ELJEN, a saber, el modelo del plástico centellador usado fue EJ-232. Para convertir los fotones emitidos por el plástico en señales eléctricas medibles se incorporó un fotomultiplicador de silicio (siPM) modelo microFJ-40015 de la compañía Onsemi.

### **Caja de aislamiento EM**

Para evitar cualquier interferencia en las señales incidentes en la cámara y vetodetectores, se planeó la implementación de una caja de aislamiento

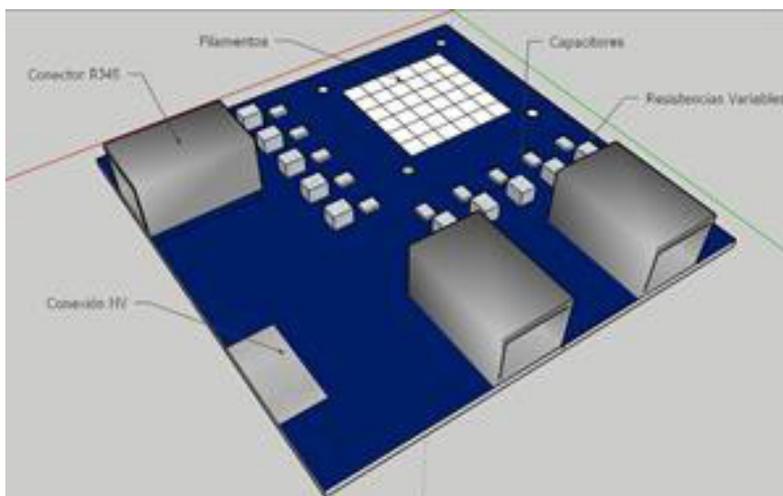
electromagnético, cuyo material, capaz de frenar cualquier tipo de radiación no deseada en la detección, debió cumplir ciertas características: la primera de ellas fueron las dimensiones, ya que era necesario que en ella pudiera ser montada la cámara, por lo que las dimensiones elegidas fueron de 30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  20 cm; el segundo fue el material elegido para su construcción, que consistió en láminas de aluminio de 2 mm de grosor; finalmente, la otra característica que debía tener esta caja era su capacidad para mantenerse aislada del entorno, por lo que fue necesario incorporar acoplamientos para los conectores usados en la cámara así como vetodetectores, de tal forma que se pudiera mantener montada la cámara en el interior de la caja sin tener que retirarla para poder desconectar estos cables.

## Diseño

### Cámara y piezas

El modelado de la tarjeta electrónica, así como de las piezas con las que se montó la cámara de gas, se realizó en el *software* SketchUp Pro 2021. El modelo realizado para la tarjeta electrónica con conectores y el circuito integrado se muestra en la figura 2.

Figura 2. Modelado tarjeta electrónica con conectores y circuito integrado para detección

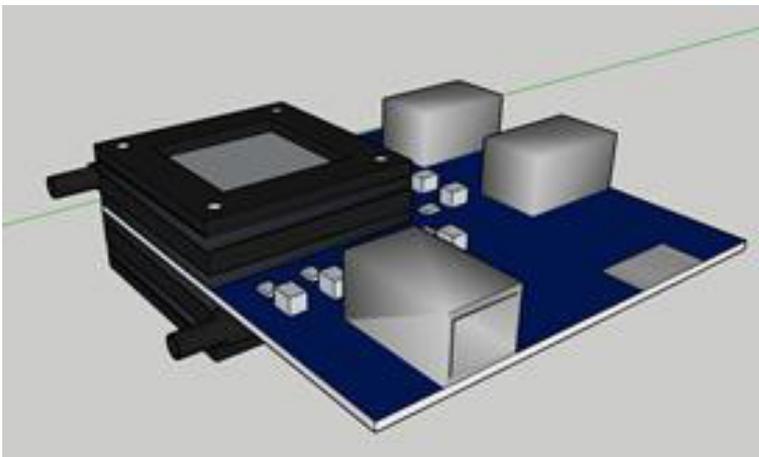


Para el diseño de la cámara de gas se modelaron las cuatro diferentes piezas con las cuales se montaría la cámara. El montaje fue en capas y de manera simétrica en la parte superior e inferior. El acomodo de las piezas se describe en la figura 3.

Figura 3. *Piezas para construcción de cámara de gas*



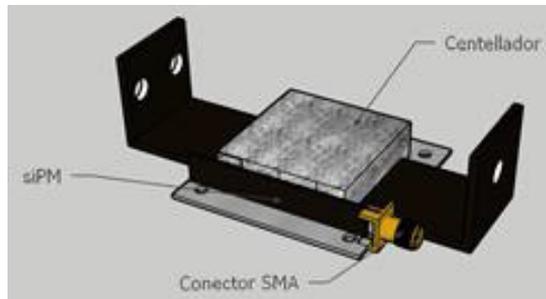
Figura 4. *Cámara de gas montada sobre la tarjeta electrónica*



## Vetodetectores

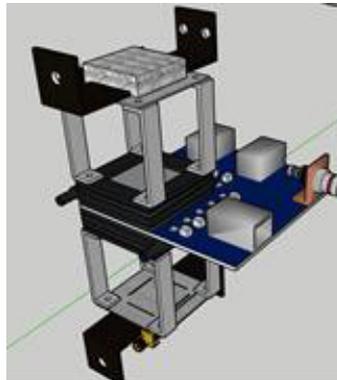
Para el diseño de los vetodetectores se siguieron las dimensiones especificadas en la ficha técnica de cada componente. El SiMP fue montado sobre una tarjeta electrónica con un conector SMA en el extremo, con el cual se leerá la señal eléctrica del detector de centelleo (véase figura 5). Además, se incorporó al diseño del montaje una placa de aluminio cuadrangular con dos soportes laterales, sobre la cual se realizó el montaje de las componentes del detector.

Figura 5. Detector de centelleo para vetar la radiación incidente en la cámara



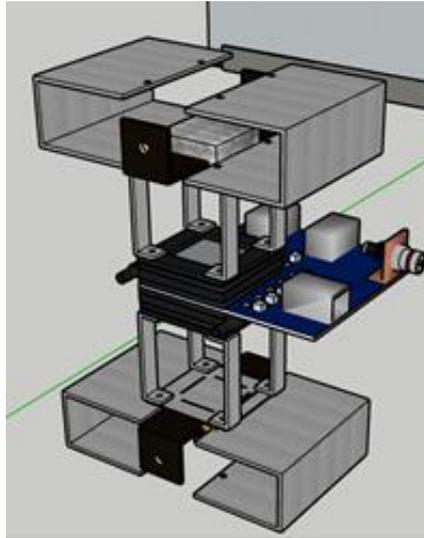
Para el montaje de la cámara con los vetodetectores se incorporó el diseño de ocho separadores de aluminio en forma de ángulos recto con una altura de cinco centímetros (véase figura 6).

Figura 6. Vetodetectores montados en la cámara multialámbrica



Para el montaje final de la cámara junto con los detectores se incorporó el diseño de cuatro bases con las cuales fuera posible colocar, de manera estable, todo el sistema montado en dos diferentes posiciones: vertical y horizontal (véase figura 7). Las bases consisten de piezas de aluminio en forma de “C”.

Figura 7. Montaje final incorporando las bases

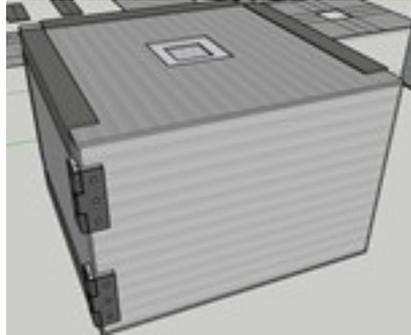


### Caja de aislamiento EM

Para el modelado de la caja se incorporaron dos marcos en las aristas superior e inferior. Estos marcos de  $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$  serán cubiertos con papel aluminio de tal forma que la radiación pueda incidir, a través de estos marcos, directamente sobre el área efectiva de detección de la cámara y los vetodetectores. Sobre la cara frontal de la caja se colocaron dos bisagras para que esa cara cumpla la función de puerta de la caja (véase figura 8).

En la cara opuesta a la puerta se realizaron las perforaciones correspondientes para colocar los acoplamientos para los conectores. Posteriormente se modelaron y colocaron estos acoplamientos siguiendo las dimensiones estándares vistas en los acoplamientos disponibles en el mercado. Por otra parte, para brindar soporte mecánico, a la caja se le colocaron piezas en

Figura 8. Puerta de la caja y marco superior



forma de “L” a lo largo de las aristas de la caja. Estas piezas son de aluminio con dimensiones de 2 mm de grosor y 1 pulgada de alto y largo.

## Construcción

### Cámara de gas

Una vez realizado el modelado y diseño de las diferentes piezas de la cámara se prosiguió con el montaje de esta. Para la tarjeta electrónica con el circuito de detección, se envió a una compañía de manufactura un diseño propuesto en el Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato, a cargo del doctor Julián Félix. Esta tarjeta, junto con las piezas de la cámara de gas a ionizar fueron entregadas por la compañía a la cual fueron solicitadas.

Figura 9. Tarjeta electrónica



Una vez que se tenía la tarjeta junto con las piezas, se comprobó la conexión entre los diferentes componentes del circuito con ayuda de un multímetro, y después de comprobadas las conexiones se realizó el montaje de la cámara de gas con el fin de comprobar que las piezas enviadas fueran las correctas. Las piezas fueron montadas según el esquema presentado en la sección de diseño (véase figura 10).

Figura 10. Vista lateral de la cámara de gas montada en la tarjeta electrónica



### Conector HV

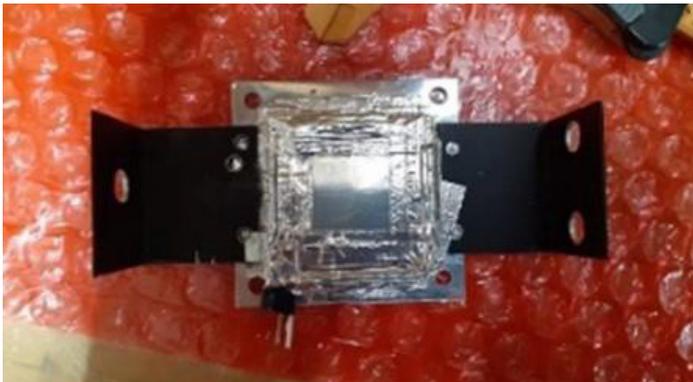
Posteriormente, se construyó el conector de alto voltaje con el cual se alimentará la tarjeta y los filamentos dentro de la cámara de gas. Para su construcción se cortó un tubo de cobre de alrededor de 1 cm de diámetro y el cilindro cortado fue de 0.9 cm de altura. Esta pieza fue aplanada y desbastada. Luego, la pieza fue perforada y doblada en forma de “L”, para fijar un conector SHV en la perforación circular. Finalmente, se soldó la pieza en forma de “L” a la tarjeta electrónica.

Detectores para vetar señal. Para los detectores con los cuales se vetó la señal incidente se montaron las piezas mencionadas en la sección de diseños, esto es, la placa de aluminio con los soportes laterales negros en forma de “L”, el fotomultiplicador de silicio y el plástico centellador fueron colocados según el diseño mostrado. Sobre el centellador, una vez adherido a la placa de aluminio, se colocó una capa de papel aluminio.

Figura 11. *Pieza usada para conector HV*



Imagen 12. *Centellador montado sobre la paca de aluminio con soportes laterales, el centellador está cubierto por una capa de papel aluminio*



### **Base y caja para asilamiento EM**

Con respecto a la construcción de las bases de la cámara y la caja de aislamiento electromagnético, aún nos encontrábamos realizando la planeación del método a seguir para su construcción, para lo cual se modelaron los cortes necesarios a fin de obtener las piezas requeridas. Una vez finalizados estos diseños se procedió a realizar los cortes de las diferentes piezas para

comenzar con su construcción. Posteriormente se realizó el pedido de los conectores mencionados en la sección pasada, para así fijarlos a la caja.

## Pruebas y resultados

Por el momento se continuó con la construcción de las diferentes piezas a usar, una vez que se culmine con la construcción se comenzará con la etapa de pruebas y caracterización de la cámara, así como de los vetodetectores.

## Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo fue necesaria una documentación sobre los conceptos básicos relacionados con la detección de los detectores, la forma de emplearlos y su historia. Durante dicha documentación se encontró que los conceptos básicos detrás del funcionamiento de los métodos de detección de radiación actuales están al alcance de los estudiantes de nivel superior de carreras afines a la física, por lo que es importante que los estudiantes conozcan las aplicaciones detrás de las teorías vistas en los cursos, para que así exista una mayor comprensión de los fenómenos físicos. Para un estudiante puede resultar de gran ayuda observar una aplicación funcional de algunos conceptos con lo cual se le facilite el proceso de aprendizaje y se complemente su formación académica y profesional.

Además de los objetivos académicos de este proyecto también están los de investigación, en donde se buscaba que, además de una introducción al área de la detección de radiación, se lograra el desarrollo de nuevos dispositivos de detección. Esto resultó un reto, ya que, al ser el primer acercamiento a esta área, la capacidad de innovar parecía alejada de la capacidad de un estudiante de este nivel. Sin embargo, conforme se ampliaba la investigación y el conocimiento acerca de estos temas, se encontró también que, pese a que los métodos y dispositivos de detección están continuamente reinventándose, aún es posible innovar y diseñar métodos únicos basados en principios básicos.

Se espera que este trabajo continúe con la construcción, caracterización y pruebas de este método de detección. Además, todavía es necesario ampliar la documentación sobre aspectos técnicos importantes como la recopilación

de datos y el uso de sistemas electrónicos avanzados, así como de conceptos teóricos específicos relacionados con el funcionamiento y operación de esta clase de detectores. A pesar de la etapa inicial en la que se encuentra el proyecto las posibles aplicaciones y extensión del trabajo que se identifican son muy amplias, por lo que se espera empezar con las pruebas de este sistema de detección para así poder reportar los primeros resultados.

## Referencias

- Charpak, G. (1992). *Electronic imaging of ionizing radiation with limited avalanches in gases*. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/charpak-lecture.pdf>
- Delgado, M. J. y Castro, H. F. (2019). Construcción y caracterización de un detector tipo A cámara proporcional multialambres. *Ciencia en Desarrollo*, 10(2), 103-112. <https://doi.org/10.19053/01217488.v10.n2.2019.8304>
- Knoll, G. F. (2000). *Radiation Detection and Measurement*. John Wiley and Sons.
- Leon, W. R. (1987). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. Springer Verlag.



# Capítulo 18. Diseño y construcción de una cámara multialámbrica compacta para uso académico, médico e industrial

EMMANUEL JUDA RODRÍGUEZ NACHEZ<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Detectar partículas cósmicas es una tarea importante para el estudio del universo, sin embargo, los detectores no son asequibles para todas las universidades lo que impide el progreso del conocimiento. Por otro lado, la detección de partículas cósmicas es una tecnología que no ha sido implementada en la industria, por la falta de detectores con costos que permitan su uso. Con detectores más asequibles se tendrá una mayor aportación de conocimiento a través de las universidades que, en condiciones socioeconómicas precarias, podrán llevar esta tecnología a la industria. Por tales razones, se planeó, diseñó y construyó un detector de partículas cósmicas, el cual cuenta con tres partes principales: una cámara multialámbrica, dos detectores veto y una caja de blindaje electromagnético. Presentamos los detalles técnicos y algunas características físicas, así como algunos resultados de este sistema de detección de rayos cósmicos.

**Palabras clave:** *cámara multialámbrica, detector, partículas.*

---

<sup>1</sup> \* División de Ciencias e Ingenierías, de la Universidad de Guanajuato. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4155-2405>

<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, campus León. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

## Introducción

Los detectores de partículas actuales cuentan con dimensiones muy grandes y precios elevados, lo cual impide que pequeñas universidades y centros de investigación los adquieran. Al no tener acceso a los detectores se impide el progreso en el estudio de partículas y su implementación en la industria. Las partículas cósmicas tienen la capacidad de atravesar objetos que encuentran en su camino: desde estructuras, seres vivos y planetas. Al mismo tiempo que las colisiones de estas partículas transitan por la materia, provocan que disminuya su energía y cuando se mide la pérdida de energía podemos determinar la trayectoria de la partícula. Con ello se pueden construir aparatos que permiten recrear el interior de los objetos que atraviesan las partículas, a través de tecnología similar a la de los rayos X en la medicina y análisis estructural.

La invención de la cámara multialámbrica se le atribuye a Georges Charpak, físico polaco nacido en 1924, lo que le hizo acreedor del Premio Nobel de Física en 1992. Una cámara multialámbrica es un detector de partículas basado en la detección por ionización de gases y consiste en una caja rectangular donde se encuentran fibras conductoras, colocadas en dos niveles, cada una con fibras paralelas, mientras que los niveles se montan de forma perpendicular sin tocarse. Todo esto dentro de una caja (donde se encierra un gas), normalmente en forma de prisma cuadrado, donde las caras superior e inferior se construyen con un material conductor y lo demás con material aislante (véase la figura 1).

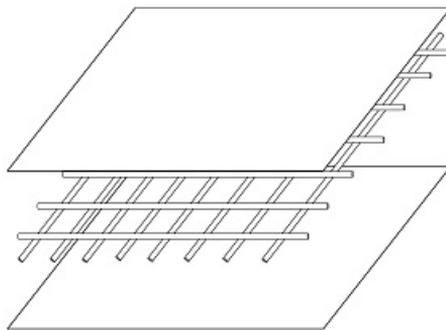
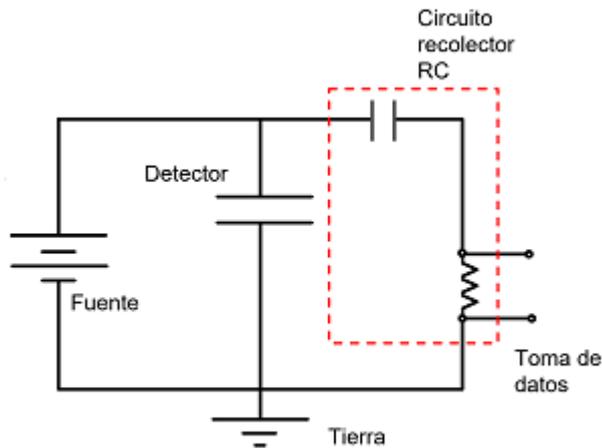


Figura 1. Diagrama básico de una cámara multialámbrica

La cámara multialámbrica está basada en el funcionamiento de la cámara de ionización, cuyo funcionamiento es como el de un detector que encierra gas en una caja conductora con un cable coaxial a esta, a través de la cual se aplica un diferencial de potencial, de tal forma que la caja que contiene el gas se convierte en un cátodo y el cable coaxial en un ánodo. Al pasar por la cámara una partícula ionizante provoca ionizaciones en el gas, lo que crea pares ion-electrón. Los electrones obtenidos por la ionización viajan por el gas, con una velocidad dependiente del voltaje suministrado: si el voltaje es lo suficientemente alto los electrones, mientras viajan al ánodo, pueden generar más ionización, lo que da una reacción en cadena. Los electrones obtenidos en este proceso llegan finalmente al ánodo y se crea una corriente eléctrica que se deposita en un capacitor, el cual se encuentra previamente cargado, por lo que al incidir más corriente el capacitor se descarga. Dicha descarga entra como un pulso a través de una resistencia y finalmente se mide.



El funcionamiento de una cámara multialámbrica es muy similar. En la cámara multialámbrica cada una de las fibras, que actúan como ánodos, funciona como una cámara ionizante independiente. Esto nos da la ventaja

de poder detectar la partícula y a su vez determinar la posición de impacto, pues al impactar en un punto el ánodo más cercano detectará la partícula y al detectarse en los dos niveles se puede obtener la posición como si de una malla coordenada se tratase. Además, el detector que se trabaja en laboratorio se compone de dos partes: la primera es la cámara multialámbrica y la segunda es un vetodetector. Este segundo detector nos ayudará a determinar: si lo que se capta en la cámara multialámbrica es ruido al detectarse la partícula en los dos centelladores, se toma como que hay una partícula que incide en el sistema y la cámara, al estar entre ambos detectores, deberá registrar también una partícula; por el contrario, si no existe detección en el veto, pero sí en la caja, se tomará como ruido. Este sistema se protege con una caja de aluminio, que aísla electromagnéticamente el detector. En este reporte se cubrirá la planeación y diseño de la caja de aluminio, además del montaje de la caja y la construcción del soporte para el conector de alto voltaje que alimentará a la cámara multialámbrica.

Figura 3. Vista superior de la cámara multialámbrica



## Planeación

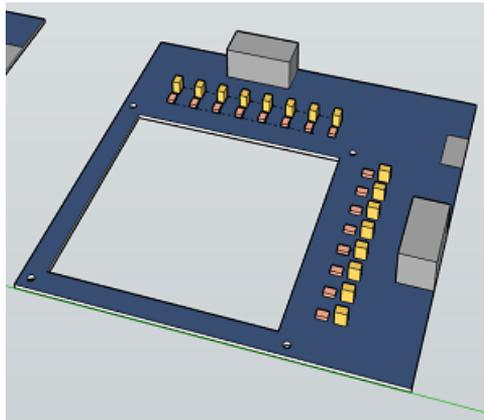
El proyecto se ideó a partir de la cámara multialámbrica construida por Georges Charpak, pero delimitando su tamaño. Además, se partió del circuito en la figura 2 para una cámara de unialámbrica: la planeación de la

cámara multialámbrica y el detector veto se realizó previamente en el Laboratorio internacional de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato, a cargo del Dr. Julián Félix Valdez. La caja aislante se planeó a partir de los consejos por parte de este último, quien sugirió una cámara con dimensiones de 30 cm × 30 cm × 20 cm y paredes de lámina de aluminio con un grosor de 0.12 cm. El propósito de la caja era blindar electro-magnéticamente el detector en una jaula de Faraday. Además, recomendó el diseño de un separador entre el detector veto y la cámara multialámbrica, la separación sugerida fue de cinco centímetros.

## Diseño

Como se hizo mención en la introducción, el detector consistió en una cámara multialámbrica, un detector veto y una caja aislante. El diseño se llevó a cabo con el *software* de modelaje 3D SketchUp. La cámara se compone de una tarjeta electrónica, previamente diseñada en el laboratorio, que cuenta con 16 fibras y su respectivo capacitor y resistencia. Las fibras van conectas a la fuente de alimentación de alto voltaje y un conector SHV provee a la cámara de ~3000 V. Esta conexión va a la placa con ayuda de un conector de cobre de 2 cm × 2 cm × 1 cm, el cual va soldado a la tarjeta electrónica. Las fibras son montadas en dos niveles de ocho fibras cada nivel. Mientras que los niveles son orientados perpendicularmente, uno respecto a otro, y cada nivel recibe un nombre. Los nombres asignados son X y Y, cada fibra va numerada del uno al ocho con su respectivo prefijo según el nivel, por ejemplo, fibra X1. Las fibras al acumular electrones mandan la señal a su capacitor, el cual es nombrado con el prefijo C y el nombre de la fibra a la que esté ligado, ejemplo, “capacitor CX1”. Después, pasa a una resistencia variable, la cual es nombrada con el prefijo R, por ejemplo, “resistencia RX1” y finalmente se manda la señal a un conector RJ45. En el RJ45 se usan los pines pares para la salida de información y los impares para conectar a tierra, los conectores RJ45 tienen ocho pines cada uno, por lo que tendremos cuatro conectores RJ45 en la tarjeta electrónica. En la figura 2 se aprecia un modelo en 3D de la tarjeta electrónica, donde se observa la disposición de los componentes electrónicos, el conector de alto voltaje y los conectores de datos (RJ45).

La tarjeta electrónica mide  $16.50 \text{ cm} \times 16.50 \text{ cm} \times 0.17 \text{ cm}$ . El cuadrado donde irán las fibras se encuentra a 1 cm de la cara más cercana, las fibras están equiespaciadas y cada nivel de fibras se suelda a una cara de la tarjeta electrónica. Las medidas de los componentes son las siguientes: RJ45: -ancho: 3.24 cm; -largo: 1.58 cm; -alto: 1.36 cm. -Distancia más corta al extremo de la placa: -conector: 4.73 cm; -extremo: 4.19 cm. Conector: -ancho: 2.00 cm; -Largo: 1.00 cm; -distancia más corta al extremo de la placa: 2.00 cm. Resistencias variables X: -distancia más corta al extremo de la placa de la primera resistencia: -extremo: 2.00 cm; - RJ45: 3.00 cm; -ancho: 0.36 cm; -largo: 0.51 cm; -alto: 0.55 cm; -distancia entre resistencia: 0.80 cm, Capacitores x: -ancho: 0.33 cm; -largo: 0.50 cm; -alto: 0.15 cm. - Distancia más corta al extremo de la placa de la primera resistencia: -extremo: 2.03 cm; -resistencia: 0.26 cm. Resistencias variables Y: -distancia más corta al extremo de la placa de la primera resistencia: extremo: 2.00 cm; -RJ45: 3.00 cm; -ancho: 0.36 cm; -largo: 0.51 cm; -alto: 0.55 cm; -distancia entre resistencia: 0.80 cm. Capacitores Y: -ancho: 0.33 cm; -largo: 0.50 cm; -alto: 0.15 cm. -Distancia más corta al extremo de la placa de la primera resistencia: -extremo: 2.00 cm; -Resistencia: 0.26 cm.



La caja que encierra el gas está compuesta por capas que se componen de marcos de plástico, los cuales tienen un tubo para entrada de gas, empaques de plástico y placas de aluminio. El montaje consistió en dos hemisfe-

rios simétricos, cuyo orden de montaje fue el mismo. Las piezas fueron en el siguiente orden: tarjeta electrónica, empaque de plástico, marco con tubo, empaque de plástico, placa de aluminio y marco de plástico. En la figura 5 se aprecia el montaje desglosado en 3D.

Los marcos con tubo son los únicos que son colocados de forma desigual en cada hemisferio y se colocan de tal manera que la toma de gas esté del lado opuesto a su contraparte en el otro hemisferio, esto también se aprecia en el desglose del montaje de la figura 5, el propósito de esta configuración es que el gas dentro de la caja circule correctamente. Las medidas de las partes que componen la caja que encierra el gas son las siguientes: Marco: -grosor: 0.32 cm; -ancho: 12.00 cm; -largo: 12.00 cm; - ancho interior: 1.00 cm. Tapa: -grosor: 0.06 cm; -ancho: 12.00 cm; -largo: 12.00 cm. Empaque: -grosor: 0.13 cm; -ancho: 12.00 cm; -largo: 12.00 cm; -ancho interior: 1.00 cm. Marco con tubo: - grosor: 0.53 cm; -ancho: 12.50 cm; -largo: 12.00 cm. -Medidas de tubo: -diámetro ext.: 0.53 cm; -diámetro int.:0.40 cm; -largo del tubo: 13.05 cm. -Ancho interior del lado opuesto al tubo: 1.00 cm; -ancho interior: tornillo: - diámetro: 0.31 cm, de cabeza plana.

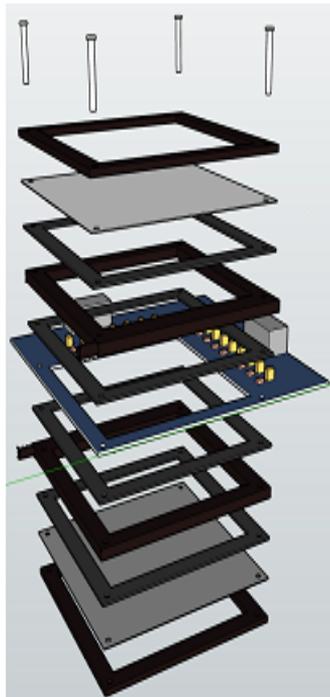


Figura 5. Desglose en 3D del montaje de la cámara multialámbrica

El detector veto consiste en dos detectores centelleantes con un fotomultiplicador que se montan sobre una placa de aluminio que contiene dos soportes, los cuales son usados para sostener la cámara dentro de la caja de blindaje electromagnético. En la figura 6 se aprecia el plástico centelleante que se usó en el detector.

Figura 6. Plástico centelleante antes de ser montado en el detector



El plástico centelleante es el modelo EJ-232Q-0.5% de la marca EJEN TECHNOLOGY, con medidas de  $6 \text{ mm} \times 101.6 \text{ mm} \times 101.6 \text{ mm}$ . El fotomultiplicador se compone de un circuito integrado que convierte los fotones del centelleo en pulsos eléctricos. El fotomultiplicador consiste en tres partes: un circuito integrado que transforma los fotones del plástico centelleante en pulsos eléctricos, un conector que lleva la información a la capturadora y una tarjeta electrónica que transporta la información y la energía del circuito integrado al conector. La tarjeta fue diseñada en el Laboratorio internacional de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato. Mientras que el circuito integrado es un MicroFJ-40035 de la marca Osemi, el cual se trata de un sensor fotomultiplicador de silicio, mejor conocido como SiPM, el sensor tiene dimensiones de  $0.4 \text{ cm} \times 0.4 \text{ cm} \times 0.037 \text{ cm}$ . La manipulación del SiPM debe llevarse con cuidado, pues la exposición prolongada a la luz

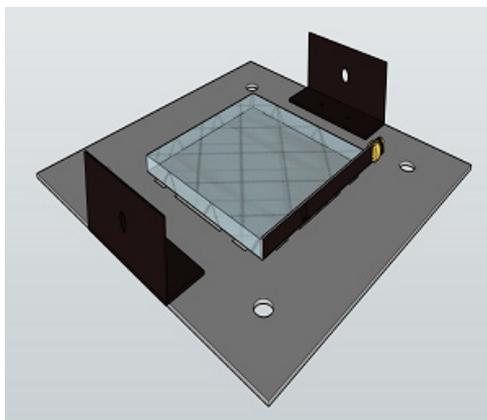
puede dañar el sensor. El conector de datos que lleva la información del fotomultiplicador a un procesamiento de datos es un conector tipo SMA. Además, una cámara de aluminio envuelve el plástico centelleante y el fotomultiplicador, de tal forma que los fotones generados por el plástico sean todos captados por el fotomultiplicador. En la placa de aluminio se montan los conectores que se usarán para fijar la cámara a la caja de blindaje.

Figura 7. Fotografía del fotomultiplicador montado en la tarjeta electrónica con un conector SMA para la recolección de información



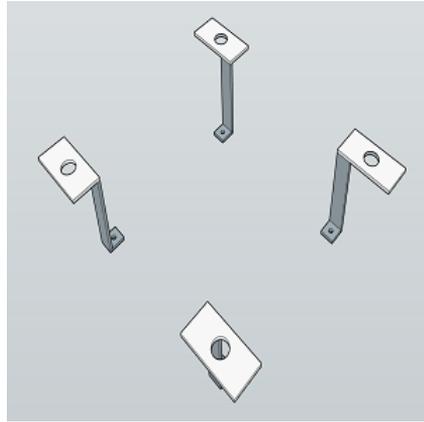
Para unir el detector veto a la cámara multialámbrica se diseñó un componente de aluminio, el cual sirve para fijar el detector a 5 cm de la cámara. Estos componentes se diseñaron de tal forma que se pueden atornillar en los cuatro agujeros de la placa del veto y de los tornillos que componen a la cámara multialámbrica.

Figura 8. Diseño 3D de uno de los hemisferios del detector veto



Los componentes que se muestran en la figura 9 son soportes en forma de C, diseñados para construirse con una lámina de aluminio de 0.12 cm. La parte adyacente a la cámara es de  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ , mientras la separación entre cámara y veto es de 5 cm y tiene un ancho de 1 cm. Por último, la cara adyacente al veto es de  $4\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  y los agujeros son centrados en el centro geométrico de las caras.

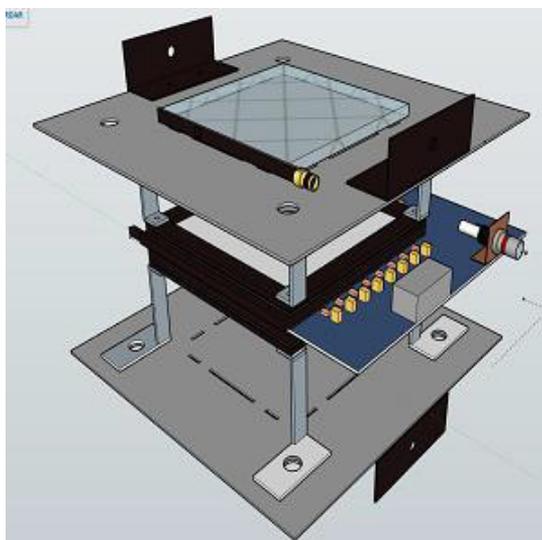
Figura 9. Piezas que conectan la cámara multialámbrica y el detector veto



En la figura 10 se aprecia el diseño del montaje final de la cámara multialámbrica, con los veto y el conector de alto voltaje. Para la caja de blindaje electromagnético se corrigió el tamaño, mientras que las medidas generales de la caja fueron de  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ . Se escogió el lado de 25 cm como el alto de la caja aislante. Asimismo, la caja tiene una puerta en la cara superior con el propósito de retirar y manipular el detector cuando sea necesario. Para el diseño de la puerta se usaron dos bisagras de 2.5 cm colocadas a 5 cm del extremo de la caja, de tal suerte que la puerta cuenta con dos broches en la pared opuesta a las bisagras para que la caja quedara sellada. En las caras laterales pertenecientes a las bisagras se encuentran dos cuadrados de  $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ , alineados al detector veto, con marcos interiores que dejan un agujero efectivo de  $11\text{ cm} \times 11\text{ cm}$ , el cual se cubre con papel aluminio. Estos agujeros sirven para permitir el paso de radiación ionizante, pero no de radiación electromagnética que genere ruido en las mediciones. En uno de los costados de la cámara, diferentes a los anteriores,

se encuentran los conectores de información de la cámara multialámbrica, el conector de alto voltaje, la toma de gas y los conectores del detector veto, los cuales se encuentran en tres columnas: la primera contiene cuatro conectores RJ45 y un conector SHV, la segunda y tercera son simétricas y contienen los conectores SMA y de toma de gas. Estos conectores son de tipo receptáculo-receptáculo, pues del detector se conectará a la cámara y de la cámara a la fuente de energía, fuente de gas y recolector de datos.

Figura 10. Montaje final de cámara multialámbrica y el detector veto



En la figura 11 se observa el diseño de la caja de blindaje, la cual cuenta con protección en las esquinas: para las inferiores se diseñó un ángulo de lámina de aluminio de  $20\text{ cm} \times 2.54\text{ cm} \times 2.54\text{ cm}$  con un grosor de  $0.12\text{ cm}$  para cada esquina; y para las laterales se optó por pestañas que se colocan de forma perpendicular a la caja, cada pestaña midió  $3.54\text{ cm} \times 3.54\text{ cm}$ , con medidas interiores de  $2.54\text{ cm} \times 2.54\text{ cm}$ ; de igual forma se diseñaron de una lámina de aluminio de  $0.12\text{ cm}$ . Cada pestaña está espaciada a  $5\text{ cm}$  de otra y de los extremos de las cajas, mientras que cada esquina cuenta con cuatro pestañas.

El propósito de la caja es también el de localizar partículas con el detector colocado de forma vertical y horizontal. En la figura 11 se aprecia la caja

en orientación vertical, mientras el diseño inicial de la caja permite sólo una posición horizontal. Para corregir esto se añadieron soportes a la cámara multialámbrica que centran el área efectiva de detección en el agujero, lo cual permite la entrada de radiación y hace que, con girar la caja, podamos conseguir una detección vertical. Asimismo, los soportes de las esquinas laterales previenen algún daño en la caja al efectuar esta operación. Por tal motivo, los soportes que se atornillan a la caja, se diseñaron para construirse con una lámina de aluminio de 0.12 cm. La cara adyacente a la caja es de  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ , la cara que separa el veto de la caja es de 4.88 cm y la cara adyacente al veto es de  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ . Finalmente, los agujeros son de 0.6 cm de diámetro y están centrados en el centro geométrico de la caja.

Figura 11. Diseño 3D de la caja de blindaje electromagnético para el detector

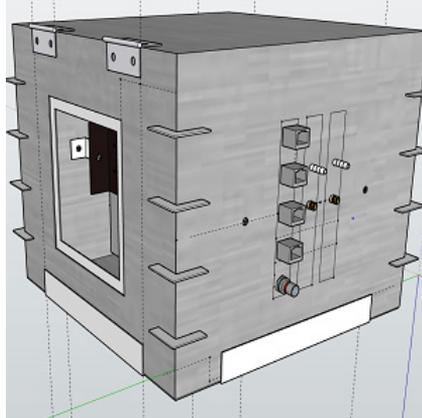
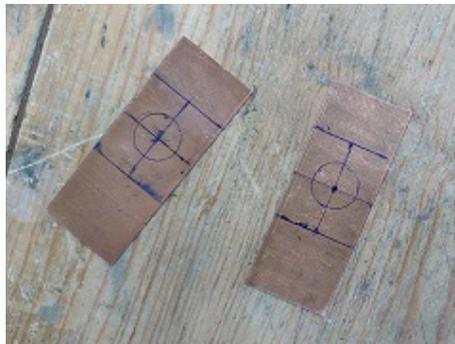


Figura 12. Dibujo de corte del conector de alto voltaje



## Construcción

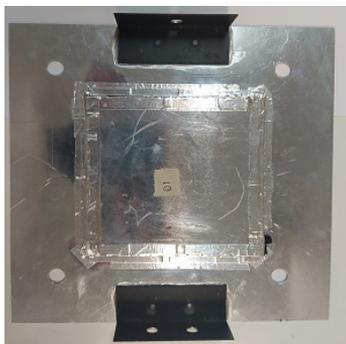
El conector de alto voltaje se construyó con cobre: se cortó una sección de 2 cm de un tubo de cobre convencional, después se aplanó, escuadró y se dibujó el área de corte. Luego, con la asistencia del profesor J. Félix, se agujeró y cortó el material sobrante. Una vez cortado se procedió a doblar la lámina con ayuda de un martillo. Cuando estuvo doblado se corrigieron abolladuras y se limó. El resultado final se encuentra en la figura 13.

Figura 13. En la imagen se muestra el conector de alto voltaje terminado



Por último, el conector se soldó a la cámara. Para ello se puso una capa uniforme de soldadura en la tarjeta electrónica, de suerte que el conector quedó sobre la capa de soldadura y se calentó con ayuda de un caudín, hasta que se adhirieron soldadura y conector.

Figura 14. Detector centelleante del detector veto



Para los componentes de la tarjeta electrónica, se imprimieron en una compañía extranjera, con el propósito de obtener un resultado más profesional, después se comprobaron las conexiones y se continuó con el ensamblaje de las piezas de la cámara, los marcos, empaques y tapas de aluminio. Estos componentes fueron impresos en 3D y la tapa de aluminio fue hecha a partir de una lámina y cortada con láser. Cabe mencionar que los detectores correspondientes al detector veto fueron construidos por estudiantes de generaciones anteriores, de igual manera, con supervisión del Dr. Julián Félix.

## Resultados

Después de seguir todos los pasos mencionados, se montó la cámara multialámbrica con sus componentes de plástico, tapas de aluminio y el conector de alto voltaje. También se terminó el montaje de los detectores centelleantes para los detectores veto. No obstante, se continúa trabajando en la obtención de las primeras mediciones con una sola fibra instalada en la cámara. En estas pruebas esperamos mediciones similares a las de un detector Geiger Muller, en el cual se aprecia la carga-descarga de un capacitor en un tiempo de 20 ns.

Finalmente se concluyó la construcción del primer prototipo del circuito de coincidencias que se implementará en el detector veto, el cual fue probado y se encuentra en la fase de caracterización para obtener el tiempo de desfase en el circuito. En posteriores fases se imprimirá en una tarjeta electrónica al igual que la cámara multialámbrica.

## Conclusiones

Al empezar el diseño del detector se idearon componentes muy elaborados, pero con el paso de los diseños se concluyó que siempre es mejor un diseño sencillo, pues es fácil de construir y mantener, además la relación entre sencillez y precio va ligada. Es importante conocer el funcionamiento básico de los aparatos con los que medimos, pues con ello podremos mejorar los diseños y las mediciones. Sin embargo, se requiere de mayor trabajo en el área de la instrumentación, no sólo para obtener aparatos más precisos, sino también para hacerlos más asequibles.

## Referencias

- Georges, C. (1992). *Electronic imaging of ionizing radiation with limited avalanches in gases*. Nobel Lecture.
- Leo, W. R. (1994). *Techniques for nuclear and particle physics experiments: A how-to approach*. Springer
- Onsemi (1 de diciembre de 2021). *Silicon Photomultipliers (SiPM), High PDE and Timing Resolution Sensors in a TSV Package*. <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/microj-series-d.pdf>
- Eljen Technology (1 de diciembre de 2021). *FAST TIMING PLASTIC SCINTILLATOR EJ-232, EJ-232Q*. <https://eljentechnology.com/products/plastic-scintillators/ej-232-ej-232q>



# Capítulo 19. El método de coincidencias aplicado en un detector de rayos cósmicos de 32 canales

LUIS JORGE ARCEO MIQUEL<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Los rayos cósmicos han sido estudiados por más de 100 años usando diferentes técnicas. En el Laboratorio Internacional de Partículas Elementales de la Universidad de Guanajuato hemos diseñado, construido y operado un detector de rayos cósmicos de 32 canales a base de barras de aluminio de 2.54 cm × 5.08 cm × 20.32 cm y un fotodiodo Hamamatsu S12572-100P, en cada una de las barras. Las barras de aluminio están arregladas en planos de cuatro barras y cada plano se ensambla 90 grados con respecto al anterior hasta formar ocho planos consecutivos y apilados verticalmente. El arreglo cúbico de barras de aluminio está en un campo magnético uniforme producido por dos bobinas de Helmholtz. Para determinar las trayectorias de los rayos cósmicos incidentes aplicamos la técnica de coincidencias de señales entre planos y celdas formadas por el cruce de las barras de aluminio. En el presente estudio presentamos detalles técnicos del detector de rayos cósmicos de 32 canales, describimos la técnica de coincidencias y ofrecemos algunos resultados preliminares al aplicar la técnica de coincidencias en la determinación de las trayectorias de los rayos cósmicos, todo desde un punto de vista didáctico.

---

<sup>1</sup> \* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4915-2676>

<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

**Palabras clave:** *detector de rayos cósmicos, fotodiodo, coincidencia.*

## Introducción

Para los científicos, académicos, estudiantes y público en general ha sido una fascinación incansable el estudio y la detección de los rayos cósmicos (aquel fenómeno descubierto por Víctor Hess en 1912). Los rayos cósmicos han sido detectados en la atmósfera, en la superficie terrestre y a muy pocos metros por debajo de la superficie terrestre (Nakamura *et al.*, 2012). En el Laboratorio de partículas elementales de la División de Ciencias e Ingenierías (DCI) de la Universidad de Guanajuato (UG), los estudiantes han diseñado, construido, caracterizado y probado detectores de rayos cósmicos (Félix, 2016). Nosotros presentamos un diseño propio de un detector de rayos cósmicos de 32 canales, a base de fotodiodos Hamamatsu S12572-100P (Hamamatsu, 2013), y barras de aluminio sólido como medio de detección. Con estas dos características obtuvimos una reducción de costos en su construcción, en comparación con el uso de fotomultiplicadores y plásticos centelladores. Un segundo objetivo de este detector de 32 canales fue medir y estudiar la trayectoria de los rayos cósmicos incidentes, dentro de un campo magnético uniforme, producidos por dos bobinas de Helmholtz (Gutiérrez, 2018), los resultados no se incluyen en este documento. Nosotros presentamos y explicamos el funcionamiento de las tarjetas electrónicas manufacturadas: el ensamble del detector de 32 canales con sus respectivos resultados preliminares, obtenidos con el método de coincidencias al exponer el detector de 32 canales a rayos cósmicos.

## Objetivo

Detectar la trayectoria incidente de los rayos cósmicos en el detector de 32 canales a base de barras de aluminio, por el método de coincidencias.

## Tarjetas electrónicas

En esta sección presentamos y explicamos el funcionamiento de cuatro tarjetas electrónicas: 1) tarjeta electrónica del fotodiodo (tarjeta-F); 2) tarjeta

electrónica extensión-1 (tarjeta Ext-1); 3) tarjeta electrónica extensión-2 (tarjeta Ext-2); y 4) tarjeta electrónica de alimentación, lectura y digitalización (tarjeta ALD).

### Tarjeta electrónica del fotodiodo (tarjeta-F)

El propósito de esta tarjeta electrónica es montar solamente el fotodiodo Hamamatsu S12572-100P, el cual fue diseñado para ensamblar únicamente la barra de aluminio con la tarjeta-F, separando la electrónica de alimentación, lectura y digitalización del ensamble. Por su parte, a las terminales de ánodo, cátodo y tierra se pueden acceder con un conector tipo Mini-DIM (conexión final) o 3-pin header. Se manufacturaron 16 tarjetas-F con el conector Mini-DIM y 16 tarjetas electrónicas con el conector 3-pin header.

En la figura 1, se exhibe la tarjeta-F, manufacturada con vista a la cara superior y con el fotodiodo soldado; mientras que en las figuras 2 y 3 se muestran las tarjetas-F manufacturadas con vistas a la cara inferior con el conector 3-pin header y Mini-DIM, respectivamente.

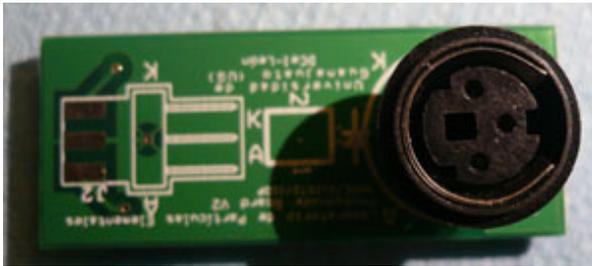
Figura 1. Tarjeta-F manufacturado, vista en la cara superior



Figura 2. Tarjeta-F manufacturado, vista en la cara inferior con conector 3-pin header



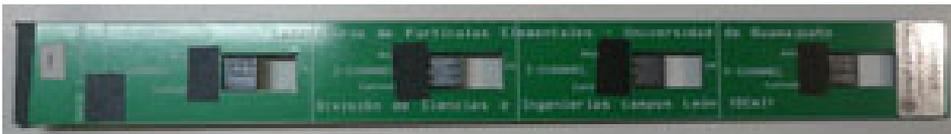
Figura 3. Tarjeta-F manufacturado, vista en la cara inferior con conector Mini-DIM



### Tarjeta electrónica extensión-1 (tarjeta Ext-1)

La tarjeta Ext-1 tiene cuatro conectores 3-pin receptáculo y permite conectar simultáneamente cuatro barras de aluminio (las tarjetas-F con el conector 3-pin header deben estar ensambladas a las barras) para formar un plano del detector. En uno de los extremos de la tarjeta Ext-1 tiene un conector 8-pin dual board-to-board que permite concentrar las cuatro conexiones de los fotodiodos. En la figura 4, se exhibe la tarjeta Ext-1 manufacturada.

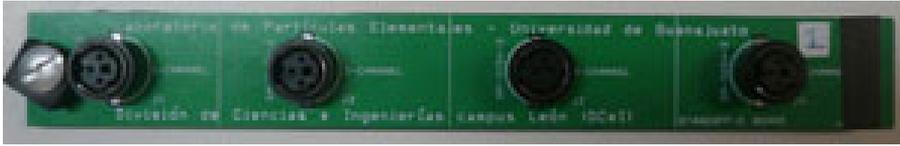
Figura 4. Tarjeta Ext-1 manufacturada



### Tarjeta electrónica extensión-2 (tarjeta Ext-2)

La tarjeta Ext-2 permite continuar la conexión con un ángulo a 90 ° con respecto a la tarjeta Ext-1. En un extremo, la tarjeta Ext-2 tiene el conector 8-pin receptáculo dual board-to-board y debe ser conectado al conector 8-pin dual board-to-board de la tarjeta Ext-1; la tarjeta Ext-2 tiene como conexión final cuatro conectores Mini-DIM, cada uno de los cuales tiene terminales de ánodo, cátodo y tierra de cada fotodiodo proveniente de la tarjeta Ext-1, así como cuatro tarjetas-F (cuatro barras de aluminio). En la figura 5, se exhibe la tarjeta Ext-2 manufacturada.

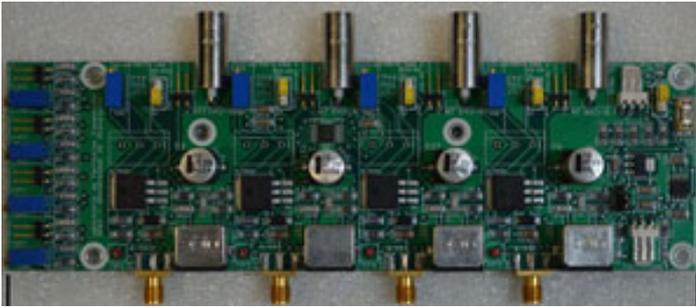
Figura 5. Tarjeta Ext-2 manufacturada



### Tarjeta electrónica de alimentación, lectura y digitalización (tarjeta ALD)

La tarjeta ALD tiene cuatro circuitos electrónicos con las siguientes características: circuito 1 es para alimentar el fotodiodo Hamamatsu S12572-100P con una fuente de voltaje externo entre +70 Vdc hasta +100 Vdc con referencia a tierra. La señal analógica del fotodiodo es extraída con un circuito RC, que obtiene voltajes entre +0 Vdc hasta +400 mVdc aproximadamente, con las siguientes características: señal analógica, positiva, forma de onda de exponencial de decaimiento, tiempos entre 20 ns a 40 ns. Enseguida, el circuito 2 consiste en ajustar, fijar y monitorear el voltaje de *threshold* y es generado por un circuito divisor de voltaje variable en el orden de +mVdc. Por su parte, el circuito 3 tiene como función comparar las señales analógicas provenientes de los circuitos 1 y 2 con el circuito comparador CMP401 de Analog Device (Analog Device, 2002): si la amplitud en la señal analógica del fotodiodo es mayor con respecto a la amplitud de voltaje de *threshold*, el circuito comparador CMP401 entrega una salida digital de 1 lógico (+3.3 Vdc), de lo contrario, la salida será de 0 lógico (0 Vdc), razón por la cual el circuito 3 requiere de dos voltajes externos con referencia a tierra (+5 Vdc y -5Vdc). Finalmente, el circuito 4 es para asignarle voltaje de alimentación independiente a cada fotodiodo con propósito de afinación. La tarjeta ALD consta de cuatro canales independientes. Los conectores Mini-DIM sirven para conectar las tarjetas-F y con los conectores BNC se obtiene la salida de la señal digital. En la figura 6, se exhibe la tarjeta electrónica ALD manufacturada.

Figura 6. Tarjeta ALD de cuatro canales manufacturada



## Ensamble del detector de rayos cósmicos de 32 canales

El ensamble requiere: ocho tarjetas ALD; 32 tarjetas-F (16 con el conector Mini-DIM y 16 con el conector 3-*pin header*); 32 barras de aluminio (cada barra se le incorporó un bajorrelieve de aproximadamente 5 mm de profundidad); 32 cables de Mini-DIM a Mini-DIM con longitud de aproximada de 8 cm; 32 cables coaxiales de BNC a BNC con longitud de 50 cm; un sistema compact RIO (CRIO) de 32 canales de la marca National Instruments (National Instruments, 2015, 2016a, 2016a) usado como sistema de adquisición de datos; y, finalmente, una computadora con LabVIEW<sup>TM</sup>. Los pasos para el ensamble son los siguientes:

1. Instalación de la tarjeta-F en una barra de aluminio. La tarjeta-F la cubrimos una sola vez con cinta aislante y dos veces con cinta de aluminio (excepto la apertura óptica del fotodiodo y los conectores 3-*pin header* y Mini-DIM); pulimos tipo espejo el bajorrelieve de la barra de aluminio; luego instalamos la tarjeta-F dentro del bajorrelieve y fijamos con cinta aluminio. Este proceso de instalación, lo repetimos para las 31 barras de aluminio y 31 tarjetas-F restantes.
2. Soportes del detector. Usamos una placa de aluminio de 20.32 cm × 20.32 cm (soporte-D) para instalar y apilar los planos del detector y una placa de aluminio de 6 cm × 20 cm (soporte-E) para instalar y apilar las tarjetas ALD.
3. Para montar el primer plano del detector, instalamos cuatro barras de aluminio sobre el soporte-D, hasta cubrir toda la superficie; para el

primer plano, iniciamos con las barras de aluminio con el conector 3-*pin header*, cuyo plano se encuentra rotado a 90 ° con respecto al soporte-E.

4. Instalación de la tarjeta Ext-1 en las cuatro barras de aluminio, para lo cual se verificó visualmente que los cuatro conectores 3-*pin header* de las cuatro barras de aluminio hicieran contacto con los cuatro conectores 3- *pin* receptáculo de la tarjeta Ext-1.
5. Instalación de la tarjeta Ext-2 con los conectores incorporados en los extremos de las tarjetas Ext-1 y Ext-2: unimos ambas tarjetas, las cuales quedaron orientadas a 90 grados.
6. Para montar la tarjeta ALD en el soporte-E, aquella fue fijada con tornillos y separada aproximadamente 8 cm de la ubicación de la tarjeta Ext-2.
7. Para la conexión entre la tarjeta ALD y la tarjeta Ext-2, se implementaron cuatro cables Mini-DIM a Mini-DIM, con un cable por canal (fin del ensamble del primer plano).
8. A fin de montar el segundo plano del detector, instalamos cuatro barras de aluminio con el conector Mini- IM, sobre el plano anterior, hasta cubrir toda la superficie del plano anterior.
9. Para montar la tarjeta ALD, esta fue asignada a este plano, luego la apilamos verticalmente sobre la tarjeta ALD anterior y la fijamos con tornillos.
10. La conexión entre la tarjeta ALD y los conectores Mini-DIM de las barras de aluminio, se implementó con cuatro cables Mini-DIM a Mini-DIM, un cable por cada canal (fin del ensamble del segundo plano).
11. Repetimos los pasos del tres al siete para ensamblar los planos tres, cinco y siete. Y repetimos los pasos del ocho al 10 para ensamblar los planos cuatro, seis y ocho. Cada plano se ensambla a 90 ° con respecto al anterior hasta formar ocho planos consecutivos y apilados verticalmente.
12. Conectamos y encendimos las dos fuentes de voltaje externo: 1) +75 Vdc para la alimentación de los 32 fotodiodos; y 2) para alimentar el circuito comparador en la tarjeta ALD.
13. Fijamos el voltaje de *threshold* a +70 mVdc en las ocho tarjetas ALD.
14. La conexión entre el sistema cRIO y las ocho tarjetas ALD fue realizado con 32 cables coaxiales de BNC a BNC.

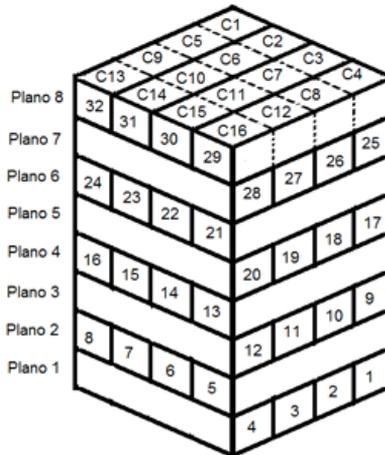
- 15. Encendimos el sistema CRIO y la computadora, luego abrimos, configuramos, y corrimos los programas de toma de datos. Finalmente grabamos por 30 minutos.
- 16. Al finalizar la toma de datos, apagamos la computadora, el sistema CRIO y las dos fuentes de voltajes externos; nosotros continuamos con el análisis fuera de línea con un *script* en ROOT-CERN.

En la figura 7 se exhibe el detector de rayos cósmicos de 32 canales ensamblado y en la figura 8 se exhiben las 16 celdas formadas por el cruce de las barras de aluminio.

Figura 7. Detector de rayos cósmicos de 32 canales ensamblado



Figura 8. 16 celdas formadas por el cruce de las barras de aluminio



## Método de coincidencias

En la figura 8, se exhibe un total de 16 posibilidades para determinar las trayectorias de los rayos cósmicos incidentes; la trayectoria del rayo cósmico debe atravesar los ocho planos, sin discriminar ningún plano y con una secuencia decreciente en estos (inicia en el plano 8, 7 y 6, hasta llegar al plano 1). Por ejemplo, suponiendo que el rayo cósmico incide únicamente sobre la celda número 16, los canales que se activarán son los siguientes: canal 29 del plano 8, canal 28 del plano 7, canal 21 del plano 6, canal 20 del plano 5, canal 13 del plano 4, canal 12 del plano 3, canal 5 del plano 2 y canal 4 del plano 1, en un tiempo de 1 ms (tiempo alcanzado en la toma de datos). En el caso de que faltara activarse algún canal que conforma la celda 16, significaría que la trayectoria estaría incompleta y, por consiguiente, no observaríamos coincidencia en el detector de rayos cósmicos de 32 canales.

En la tabla 1, se exhiben las 16 posibles trayectorias del detector de rayos cósmicos de 32 canales.

Tabla 1. *Definiendo las 16 posibles trayectorias incidentes del detector de rayos cósmicos de 32 canales*

Coincidencia Celda	Plano 8 Canales	Plano 7 Canales	Plano 6 Canales	Plano 5 Canales	Plano 4 Canales	Plano 3 Canales	Plano 2 Canales	Plano 1 Canales
1	32	25	24	17	16	9	8	1
2	31	25	23	17	15	9	7	1
3	30	25	22	17	14	9	6	1
4	29	25	21	17	13	9	5	1
5	32	26	24	18	16	10	8	2
6	31	26	23	18	15	10	7	2
7	30	26	22	18	14	10	6	3
8	29	26	21	18	13	10	5	2
9	32	27	24	19	16	11	8	3
10	31	27	23	19	15	11	7	3
11	30	27	22	19	14	11	6	3
12	29	27	21	19	13	11	5	3
13	32	28	24	20	16	12	8	4
14	31	28	23	20	15	12	7	4
15	30	28	22	20	14	12	6	4
16	29	28	21	20	13	12	5	4

## Resultados

Nosotros exhibimos 16 resultados que corresponden a las 16 celdas formadas por el cruce de las barras de aluminio y los ocho planos; el tiempo de toma de datos fue de 30 minutos. En la figura 9 y 10, se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 1 y 2, respectivamente.

Figura 9. Resultado en la celda número 1

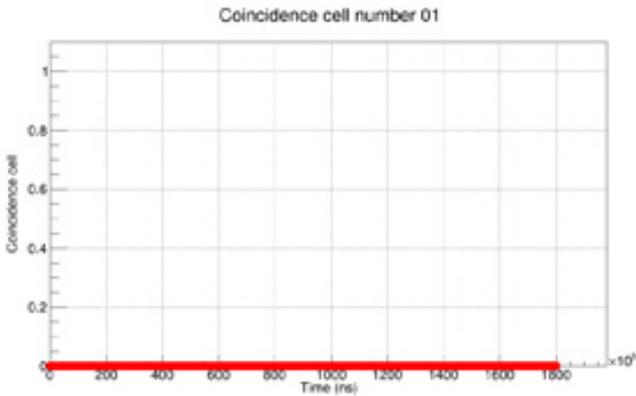
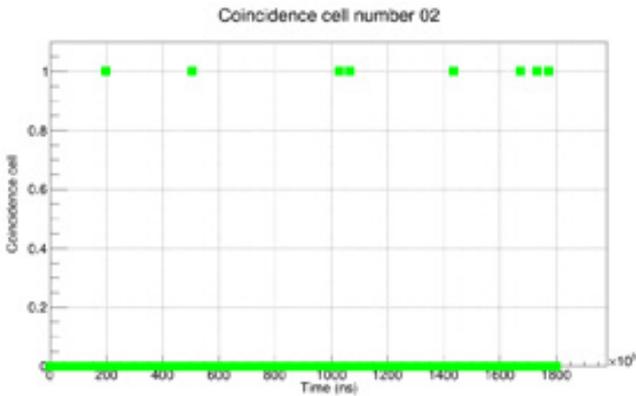


Figura 10. Resultado en la celda número 2



Por su parte, en las figuras 11 y 12 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 3 y 4, respectivamente.

Figura 11. Resultado en la celda número 3

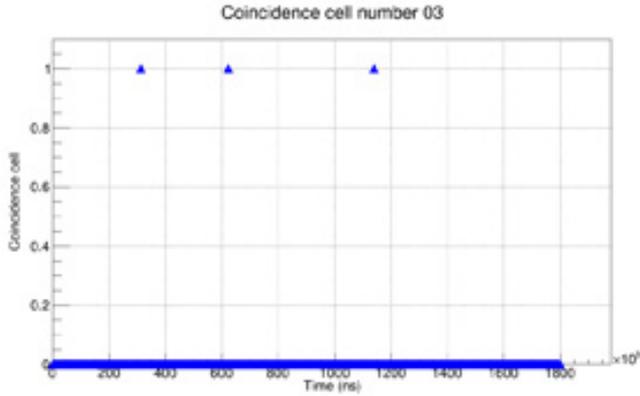
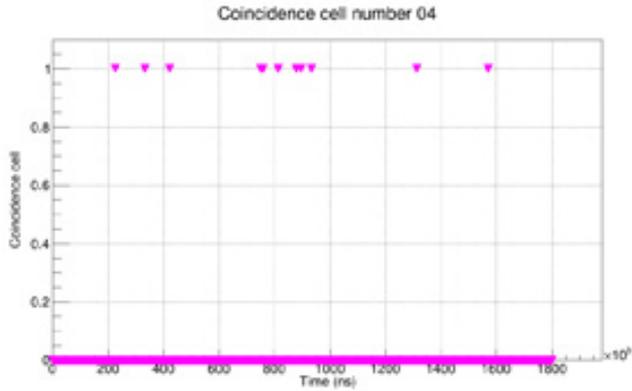


Figura 12. Resultado en la celda número 4



Asimismo, en las figuras 13 y 14 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 5 y 6, respectivamente.

Figura 13. Resultado en la celda número 5

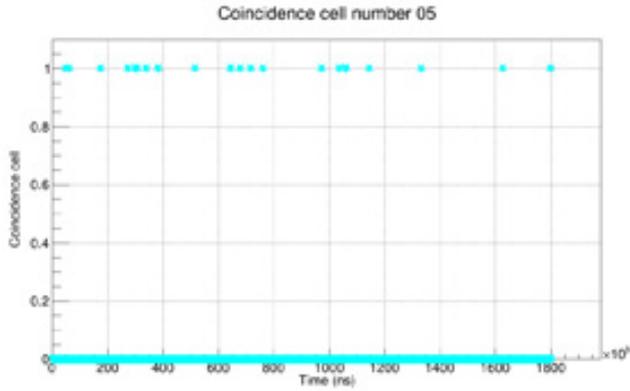
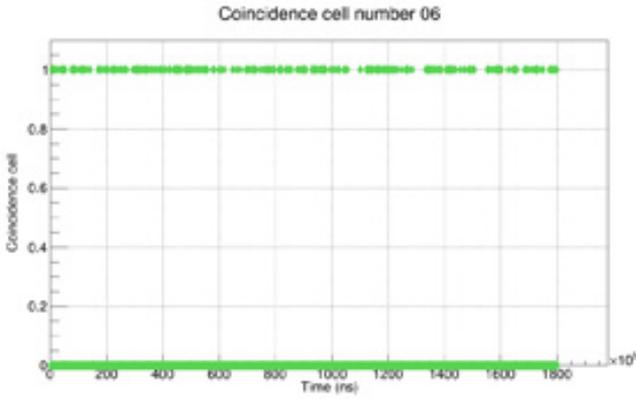


Figura 14. Resultado en la celda número 6



Igualmente, en las figuras 15 y 16 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 7 y 8, respectivamente.

Figura 15. Resultado en la celda número 7

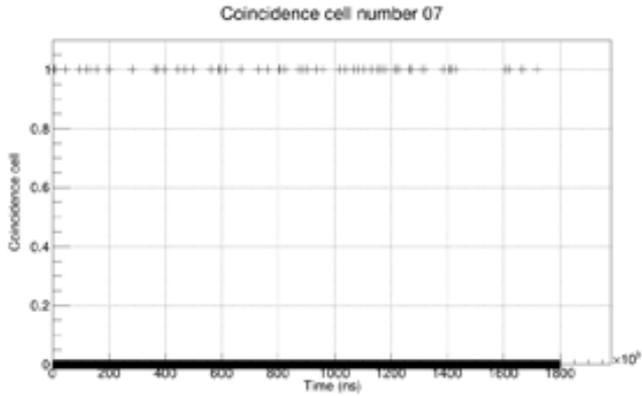
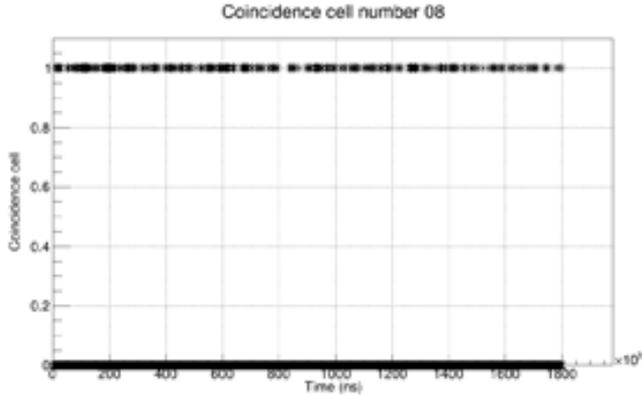


Figura 16. Resultado en la celda número 8



En las figuras 17 y 18 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 9 y 10, respectivamente.

Figura 17. Resultado en la celda número 9

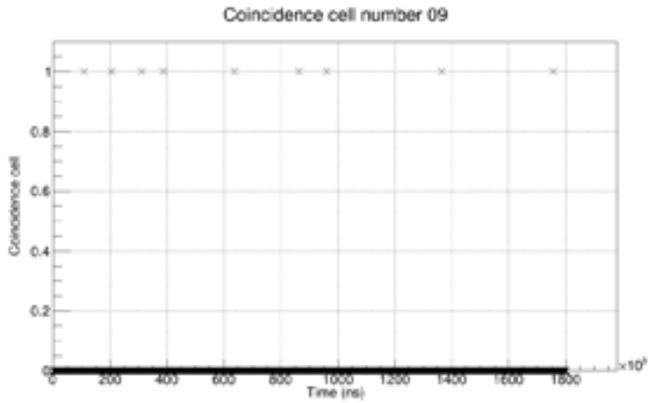
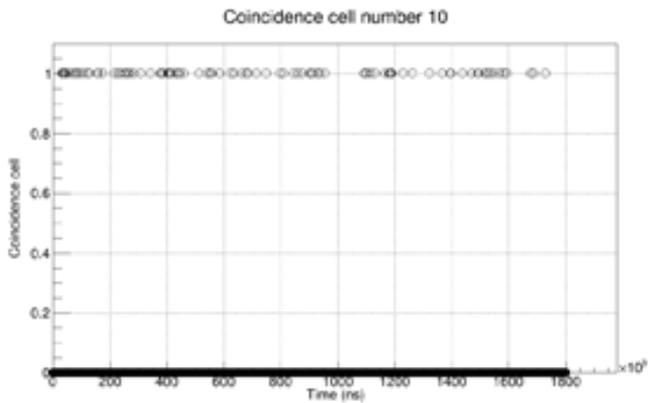


Figura 18. Resultado en la celda número 10



En las figuras 19 y 20, por su parte, se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 11 y 12, respectivamente.

Figura 19. Resultado en la celda número 11

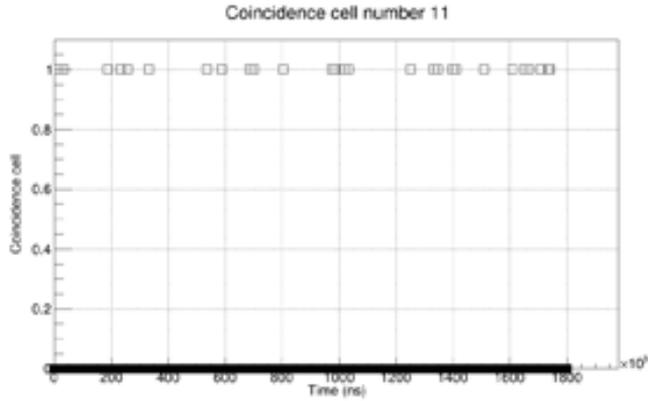
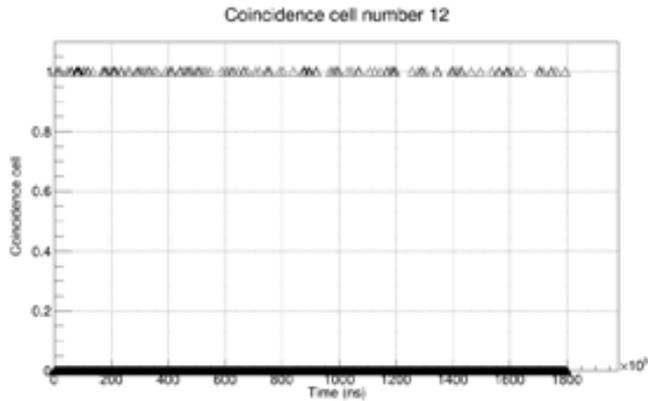


Figura 20. Resultado en la celda número 12



En las figuras 21 y 22 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 13 y 14, respectivamente.

Figura 21. Resultado en la celda número 13

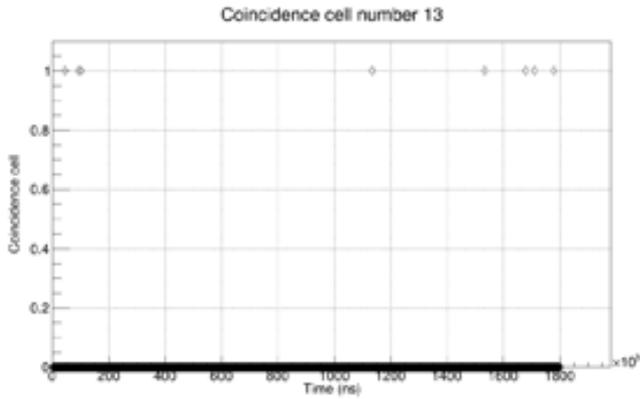
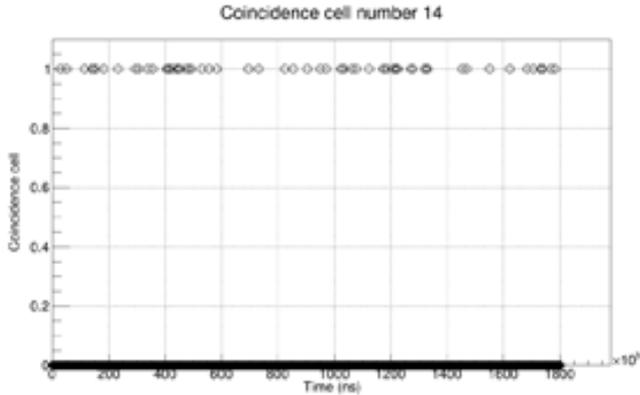


Figura 22. Resultado en la celda número 14



En las figuras 23 y 24 se exhiben los resultados por el método de coincidencias en las celdas 15 y 16, respectivamente.

Figura 23. Resultado en la celda número 15

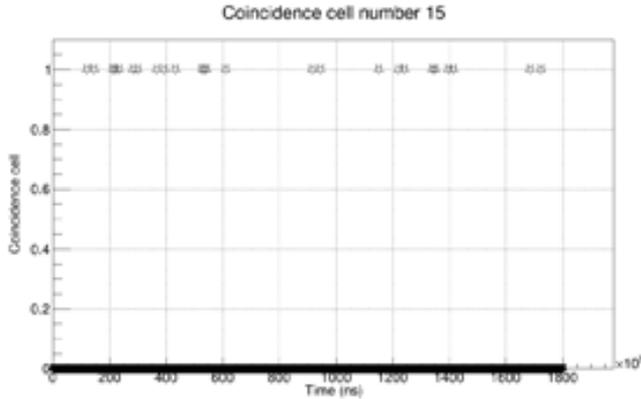
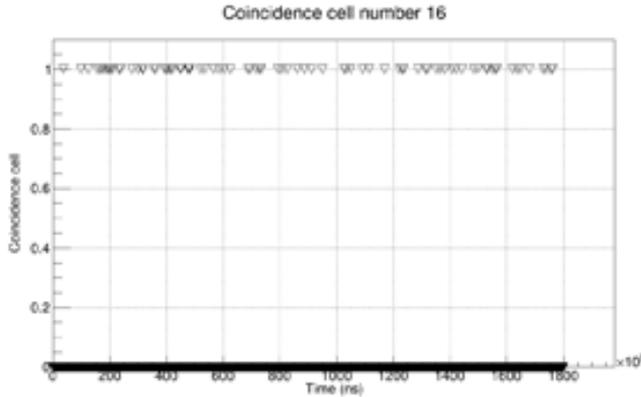


Figura 24. Resultado en la celda número 16



## Conclusiones

El detector de rayos cósmicos funciona perfectamente. La celda número 8 del detector de rayos cósmicos de 32 canales registró un alto número de coincidencias, mientras que la celda 1 no registró ninguna coincidencia.

Al final, se observaron un total de 15 trayectorias incidentes al exponer el detector de 32 canales a los rayos cósmicos.

Con tales resultados en mente, se tienen tres futuras propuestas: 1) mejorar el acoplamiento de la tarjeta ALD; 2) instalar vetodetectores arriba del plano 8 y abajo del plano 1; y 3) sustituir las 32 barras de aluminio por plástico centellador, tomar datos y comparar los resultados con las barras de aluminio.

## Referencias

- Analog Device. (2002). *23 ns and 65 ns low voltage comparators cmp401/cmp402*. <https://manualzz.com/doc/17693046/pdf-data-sheet-rev.-b>
- Félix J. (6 de agosto de 2016). *Design, Construction, and Operation of Small Cosmic Rays Detectors at Universidad de Guanajuato, México*. En 38th International 1185 Conference on High Energy Physics (ICHEP). Chicago, EUA.
- Gutiérrez, R. (2018). *Diseño, construcción, caracterización y operación de un detector de rayos cósmicos de 32 canales para la detección de partículas con carga positiva*. Universidad de Guanajuato, México.
- Hamamatsu. (2013). Mppc (multi-pixel photon counter). [http://www.hamamatsu.com.cn/UserFiles/DownFile/Product/s12572-025\\_etc\\_kapd1043e03.pdf](http://www.hamamatsu.com.cn/UserFiles/DownFile/Product/s12572-025_etc_kapd1043e03.pdf)
- National Instruments. (2015). CompactRIO cRIO-9025. <http://www.ni.com/pdf/manuals/375490d.pdf>
- National Instruments. (2016a). Ni crio-9111/9112/9113/9114/9116/9118 compactrio reconfigurable embedded chassis. <https://www.ni.com/pdf/manuals/375079e.pdf>
- National Instruments. (2016b). Ni 9402, 4 dio, lvttl, bidirectional, 55 ns. [http://www.ni.com/pdf/manuals/374614a\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374614a_02.pdf)
- Nakamura, K. et al. (Particle Data Group) (2012). *Cosmic Rays*. JP G, 37, 075021. <http://pdg.lbl.gov/2011/reviews/rpp2011-rev-cosmic-rays.pdf>

# Capítulo 20. Minidetectors de rayos cósmicos a base de plásticos centelladores

OMAR ALEJANDRO LEZAMA GALLEGOS<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Cuando un rayo cósmico atraviesa un material deja un rastro de energía que detectamos usando diferentes materiales. A la fecha sólo conocemos dos tipos de detectores usados para detectar radiación en general, y rayos cósmicos en particular: los basados en la detección de fotones y los basados en la detección de iones. Para detectar y medir el flujo de rayos cósmicos, planeamos, diseñamos, construimos y operamos un detector de radiación, basado en la detección de fotones, conformado por cuatro detectores elementales. La base de los detectores elementales es un plástico centellador —uno de 3 cm × 3 cm × 0.6 cm y tres de 10 cm × 10 cm × 0.6 cm— y un fotodiodo Hamamatsu MPPC S12572-100P en cada plástico centellador. Estos últimos, por su parte, estarán encerrados en cajas hechas con láminas de aluminio de 1.2 mm de espesor y pulidas a espejo, de suerte que los fotones emitidos por los plásticos centelladores se reflejen en las paredes hasta llegar al fotodiodo colocado en una de las caras laterales del detector. Para tal labor usamos dos detectores de 10 cm × 10 cm como vetos; y uno de 10 cm × 10 cm y el de 3 cm × 3 cm, como detectores colocados a diferentes distancias. Estudiamos el flujo de rayos cósmicos como función del ángulo

---

<sup>1</sup> \* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9670-471X>

<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

de incidencia y en función del tiempo. Presentamos detalles técnicos de la planeación, del diseño, de la construcción, de la operación y algunos resultados físicos preliminares.

**Palabras clave:** centelleo, fotones, cósmicos, detectores, técnicas, aluminio.

## Introducción

### Rayos cósmicos

La Tierra siempre está bajo bombardeo constante por partículas subatómicas de altas energías, las cuales conocemos como rayos cósmicos (Hess, 1936). Los rayos cósmicos son partículas cargadas eléctricamente de altas energías originadas en el espacio exterior, las cuales viajan con velocidades cercanas a la de la luz (Mewaldt, 1996). Por su parte, los muones son las partículas incidentes más abundantes a nivel del mar en la superficie de la Tierra (PDG, 2018) y no interactúan fuertemente con la materia, sin embargo, al pasar a través de ella dejan un rastro de energía que podemos detectar (CERN, 2020).

### Detección de rayos cósmicos

Actualmente sólo existen dos formas de detección de rayos cósmicos, la detección de iones y la de fotones. En este trabajo realizamos la detección de fotones usando plásticos centelladores, es decir, uno donde los fotones son el canal de detección. Para esto se requieren dos componentes principales, el material centellador y un fotomultiplicador. Cuando una partícula pasa a través de un material centellador deposita energía en él y la energía depositada se libera a través de fotones, con lo que el material centellador regresa a su estado inicial (Frass, 1996). Luego los fotones emitidos por el plástico centellador son colectados por un fotomultiplicador, de tal suerte que si detectamos el fotón decimos que también detectamos a la partícula.

## Método de coincidencias

Para la validación de señales, como rayos cósmicos, en los detectores, usamos el método de coincidencias propuesto por ganador del premio Nobel en 1954, Walther Bothe, por ejemplo, para tres detectores, D, V1 y V2 apilados. El criterio de validación a seguir es el siguiente: si dentro de la misma ventana de tiempo tenemos señal en V1 y V2, entonces, validamos la señal en D, si la hay. Esta es una técnica muy usada en física de altas energías para discriminar señales y limpiar señales.

## Actividad solar

Conocemos la actividad solar mediante la observación de su ciclo, el cual está relacionado con el número de manchas solares (NASA, 2020). Las líneas de campo magnético alrededor de las manchas solares se reorganizan continuamente y causan una explosión de energía conocida como llamarada solar, que es la liberación de energía y partículas al espacio (NASA, 2019).

Una eyección de masa coronal (*CME*) es la expulsión de grandes cantidades de plasma y campo magnético desde la corona solar (Space Weather Live, 2020). Algunas de las partículas emitidas durante una llamarada solar o una *CME* son partículas cargadas, pero no todas llegan a la Tierra porque el campo magnético de esta las desvía. Sin embargo, hay partículas que quedan atrapadas en la magnetósfera y eventualmente impactan en la superficie terrestre (Zell, 2017).

## Planeación y construcción

Tenemos dos detectores centrales, uno pequeño y uno grande, que constan de una base, cuatro piezas que conforman las paredes internas de una caja que contiene el material centellador y una tapa. El plástico centellador pequeño es de 3 cm × 3 cm × 0.6 cm, mientras que el plástico centellador grande mide 10 cm × 10 cm × 0.6 cm. Los diseños realizados para el detector grande y el detector pequeño, así como el ensamblado final de estos, los mostramos en las figuras 4 y 5, respectivamente. Los diseños fueron realizados en el *software* de diseño SketchUp.

Una de las caras de la caja tiene una perforación cuadrada de 5 mm por lado, en la cual colocamos el fotomultiplicador con el que detectamos fotones a partir de las emisiones del plástico centellador. El plástico centellador usado fue el Fast timing plastic scintillator EJ-232 Q de Eljen Technology. El diodo fotomultiplicador usado fue el MPPC de Hamamatsu de la serie S13360, modelo S12572-100 P. Al ensamblar los detectores, sellamos cada una de sus esquinas con cinta de aluminio para evitar posibles filtraciones de luz en el plástico centellador. Después, construimos los conectores necesarios para alimentar y obtener las señales de los detectores de fotones, usamos una tarjeta electrónica y un sistema de adquisición de datos que fueron construidos previamente dentro del Laboratorio de partículas de la Universidad de Guanajuato (Arceo y Félix, 2016)

Figura 1. Diseño y vista final del detector grande

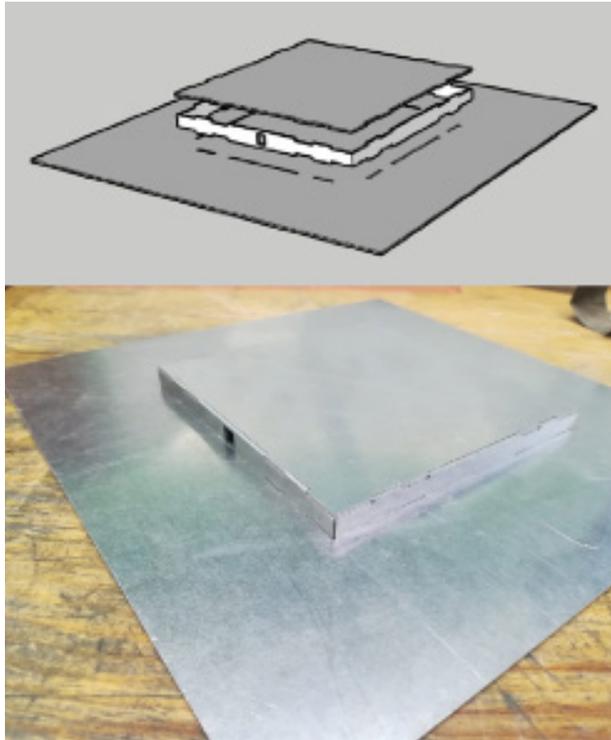
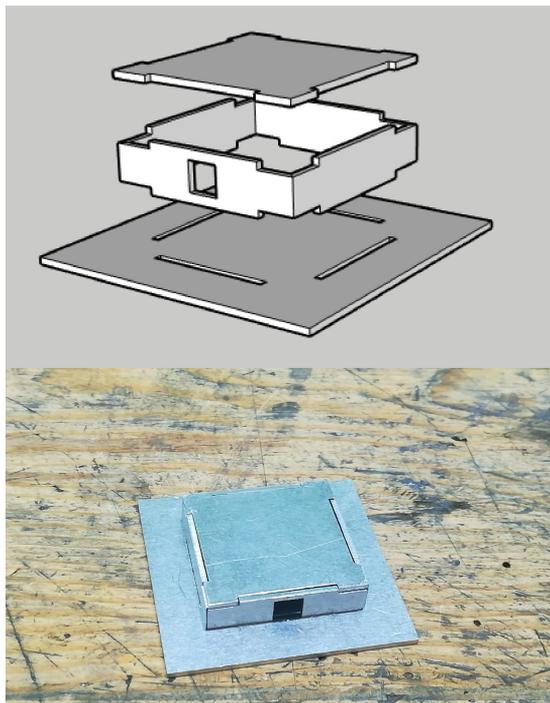
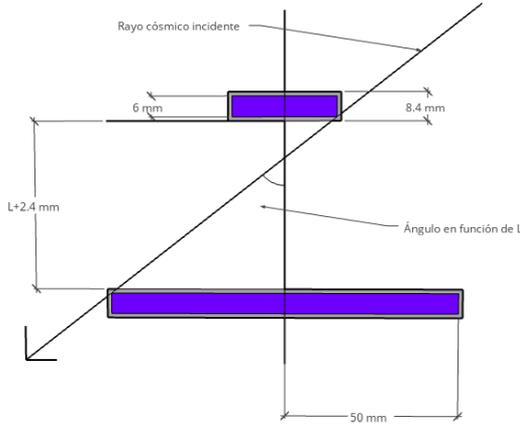


Figura 2. *Diseño y vista final del detector pequeño*



Posteriormente, estudiamos el flujo de rayos cósmicos como función del ángulo de incidencia (respecto a la vertical), pues para que una señal se considere rayo cósmico tiene que validarse con el método de coincidencias. Dependiendo de la separación de los detectores centrales es el ángulo de inclinación a estudiar. En la figura 3 observamos el diagrama que realizamos para determinar la dependencia del ángulo de incidencia de un rayo cósmico como función de la separación de los dos detectores centrales.

Figura 3. Diagrama del ángulo de incidencia en función de la separación de los detectores

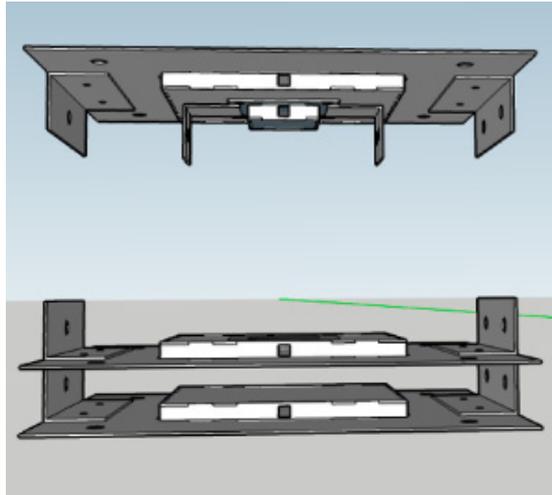


Si  $l$  es la separación entre los plásticos centelladores considerando el espesor del aluminio,  $D_1$  es la mitad de la longitud del lado del detector pequeño y  $D_2$  es la mitad de la longitud del detector grande el ángulo cenital de incidencia es

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{D_1 + D_2}{l} \right)$$

Usamos además dos detectores de veto, los cuales ya estaban contruidos y se encuentran en el Laboratorio de partículas elementales (Moreno, 2020). El arreglo experimental final se muestra en la figura 4.

Figura 4. Arreglo experimental final. Consta de cuatro detectores de fotones, dos de los cuales actúan como detectores de veto



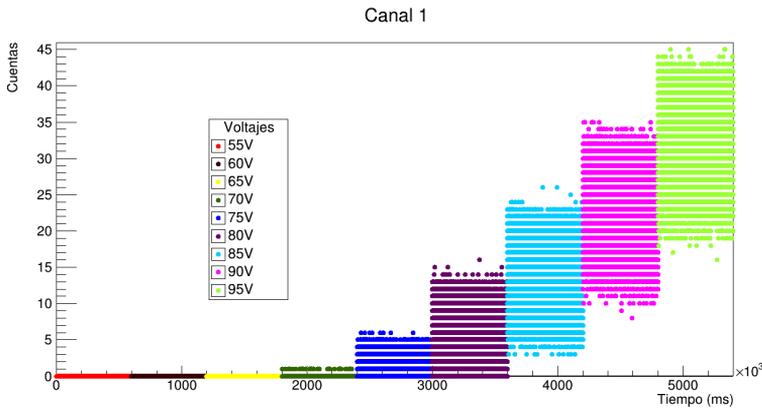
Finalmente, introducimos los detectores en una caja de aislamiento óptico para disminuir el ruido para evitar posibles filtraciones de luz en el sistema experimental y la inducción de campos electromagnéticos en los circuitos electrónicos (Cimental, 2018).

## Pruebas del sistema experimental

### Caracterización

En cualquier detector de partículas existe una dependencia entre el número de cuentas detectadas y el voltaje de operación, por ejemplo, en el detector de fotones —diodo fotomultiplicador—. La forma de caracterizar el detector es tomando datos por un intervalo de tiempo a un voltaje fijo, es decir, con un incremento del voltaje a intervalos iguales dentro del rango de voltaje de alimentación sugerido por el fabricante. El voltaje óptimo de operación es aquel que se encuentre dentro de la región plana, donde no hay dependencia entre el número de cuentas y el voltaje aplicado. Así, al analizar el gráfico de la figura 5 (para el canal 1), podemos determinar que el voltaje de operación es de 75 V. Este resultado fue análogo para los otros tres canales.

Figura 5. Caracterización del canal



## Otras pruebas

Realizamos dos procedimientos para probar el funcionamiento de la caja de aislamiento óptico y electromagnético:

1. Colocamos los cuatro fotomultiplicadores dentro de la caja de aislamiento óptico, y encendimos el LED con un generador de funciones a una frecuencia de 1 kHz, por lo que en los 10 minutos de toma de datos debimos detectar al menos 600 000 cuentas en cada uno de los cuatro canales. El resultado fue que medimos las 600 000 cuentas esperadas en cada canal.
2. En ocasiones puede generarse una señal eléctrica en el fotomultiplicador, aunque no haya incidido ningún fotón en él, a esto lo conocemos como cuenta oscura. Para la segunda de estas pruebas medimos las cuentas oscuras de los fotomultiplicadores retirando de su ventana óptica cualquier fuente luminosa. El resultado fue que no hubo cuentas oscuras para ninguno de los cuatro canales, es decir, no se producen señales en el fotomultiplicador que no sean por la incidencia de fotones en él.

## Medición del flujo de rayos cósmicos

Para medir el flujo determinamos la siguiente expresión:

$$F = 2N_1N_2t_s \left[ 4A_2 \tan^{-1} \left( \frac{D_1^2}{l\sqrt{2D_1^2 + l^2}} \right) \right]^{-1}$$

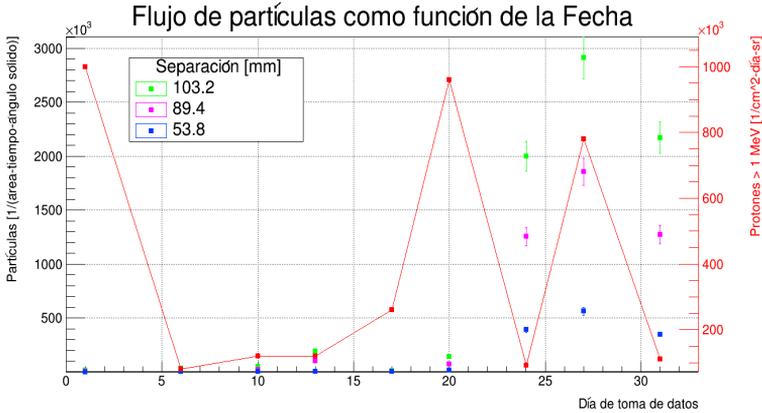
donde  $N_1$  y  $N_2$  son el número de cuentas validadas por los vetodetectores en el detector central grande y el detector central pequeño, respectivamente;  $t_s$  es el ancho de las señales emitidas por el fotomultiplicador de los detectores,  $A_2$  es el área de la cara cuadrada del plástico centellador grande y la expresión del arco tangente es el ángulo sólido subtendido por los detectores centrales. Cabe mencionar que reportamos cuentas por unidad de tiempo, por unidad de área y por unidad de ángulo sólido. Por otro lado, para medir la distribución angular variamos la separación entre los detectores centrales y aproximamos un ángulo cenital de incidencia de los rayos cósmicos dependiendo de los detectores en los que tengamos señales dentro de la misma ventana de tiempo.

## Resultados

### Correlación con actividad solar

Los datos con los cuales realizamos la comparación del flujo de partículas medido en el laboratorio los obtuvimos de la página Space Weather Live, donde se reporta el flujo de protones, con diferentes energías, y electrones. La correlación con el flujo de protones con energía mayor a 1 MeV y con electrones de energía mayor a 2 MeV se realizó por día de toma de datos, mientras que la correlación con protones de energía mayor o igual a 10 MeV se realizó por día de toma de datos, y se tomó en consideración el flujo de partículas medido en la mañana y en la tarde. Tras ello, mostramos el flujo de partículas medido con la condición de veto (figura 6).

Figura 6. Correlación de flujo de protones de energía > 1 MeV con el flujo de partículas medido en el laboratorio (con la condición de veto)



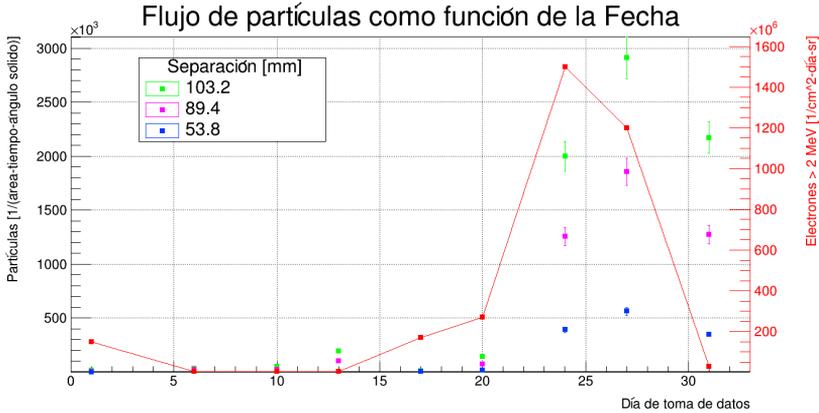
### Protones > 1 MeV

No existe correlación visible entre las mediciones realizadas en el laboratorio y el flujo de protones en este caso. Los máximos y mínimos locales de ambos resultados no coinciden, tampoco lo hicieron los máximos y mínimos totales. Además, no hubo relación observable entre los incrementos y decrementos bruscos en las mediciones del flujo.

### Electrones > 2 MeV

En la figura 7 podemos observar la correlación parcial entre el flujo de partículas medido en el laboratorio y el flujo de electrones. Notamos que el incremento repentino en las mediciones observadas en ambos gráficos coincidía, pero cuando hay un decremento espontáneo en el flujo de electrones no detectamos el mismo hecho en el laboratorio. Parece que durante los primeros días de la toma de datos el flujo de electrones reportado fue incrementando junto con el flujo de partículas medido en el laboratorio.

Figura 7. Correlación de flujo de electrones de energía  $> 2$  MeV con el flujo de partículas medido en el laboratorio (con la condición de veto)



## Protones $\geq 10$ MeV

El flujo de partículas medido en la tarde siempre fue menor al flujo medido en la mañana, lo cual se relaciona con el flujo de protones reportado, donde en general, el flujo de la mañana también fue mayor que el de la tarde (véase figura 8). Hay sólo una excepción y es la del día número 31 de la toma de datos. Sin embargo, sí hay una correlación generalizada cuando comparamos los datos de la mañana con los de la tarde para cada día.

## Distribución angular de los rayos cósmicos

Ahora mostramos los resultados de la medición del ángulo cenital de incidencia de los rayos cósmicos. En general, la distribución angular es la misma para todos los días, pero existe una mayor incidencia de partículas entre  $30^\circ$  y  $40^\circ$  en la mañana, y una mayor incidencia de partículas entre  $50^\circ$  y  $60^\circ$  en la tarde. Podemos decir, por tanto, que por las mañanas los rayos cósmicos incidieron de manera vertical en el sistema experimental.

Figura 8. Correlación de flujo de protones de energía  $\geq 10$  MeV con el flujo de partículas medido en el laboratorio (con la condición de veto)

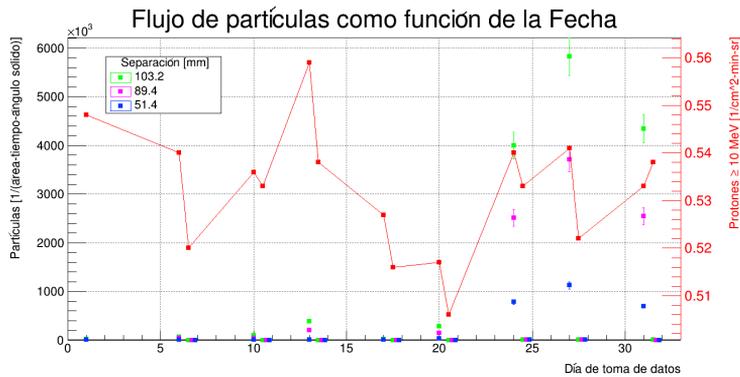


Figura 9. Distribución angular de la mañana 2 de octubre del 2020

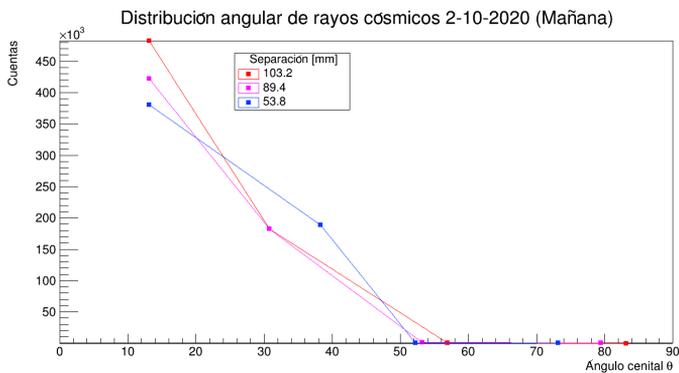
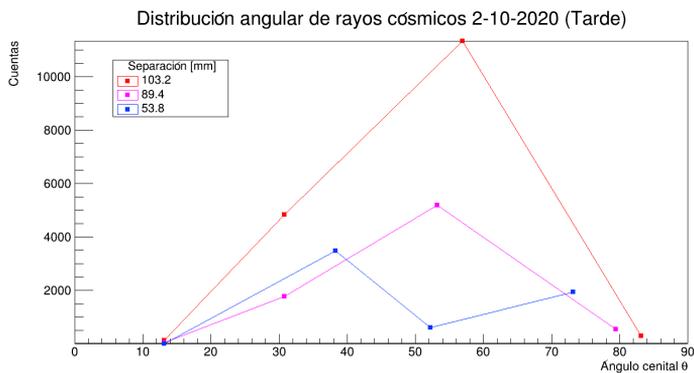


Figura 10. Distribución angular de la tarde 2 de octubre del 2020



## Conclusiones

Detectamos y estudiamos el flujo de partículas incidentes en el laboratorio. Debido a las consideraciones que realizamos al momento de trabajar con el sistema experimental (validación por el método de coincidencias; medición del ruido para fijar el *trigger*; caracterización de cada uno de los detectores; medición de cuentas oscuras; y colocación del sistema experimental dentro de la caja de aislamiento óptico) podemos asegurar que lo detectado coincide con la incidencia de rayos cósmicos.

El número de días de toma de datos fue muy corto para obtener conclusiones más sólidas acerca de la relación del flujo de partículas medido en el laboratorio con la actividad solar. A pesar del tiempo de toma de datos, existe una relación visible entre el flujo de partículas medido en el laboratorio y dos de los parámetros estudiados en este trabajo: el flujo de protones con energías mayores o iguales a 10 MeV.

El hecho de que no hayamos observado correlación entre algunos de los parámetros no implica que en el laboratorio no hayamos detectado esas partículas. Implica que, además de los flujos reportados por Space Weather Live, estamos teniendo otras contribuciones de rayos cósmicos que no fueron detectados por ellos, es decir, que posiblemente fueran partículas no originadas por la actividad solar; también implica que no todo lo que ellos detectan lo detectamos nosotros (y viceversa).

Podemos concluir que un aporte importante de la radiación detectada en el laboratorio proviene de la actividad solar. La medición de la distribución angular tuvo variaciones considerables en los últimos días comparada con la de los primeros. Estas variaciones sólo son apreciables en la mañana; en la tarde la distribución angular es igual, aunque el flujo vespertino fue mayor en los últimos días de toma de datos que en los primeros. Por esta razón, pudimos observar que el flujo de partículas, independientemente de la dirección con la que incidieron en el sistema experimental, fue incrementando con el paso de los días. Esto tiene relación con la progresión del ciclo solar, en el que la actividad solar incrementa hasta llegar a un máximo.

Un último resultado es que construimos dos detectores de fotones, los cuales funcionan tal y como fueron planeados.

## Referencias

- Arceo, L. y Félix, J. (2016). (3-10 de agosto de 2016). Basic Readout Electronic Board for Three Channel Cosmic Ray Detector. En *Proceedings of Science*. 38th International Conference on High Energy Physics, Chicago, USA. <https://pos.sissa.it/282/769/pdf>
- Beatty, J., Matthews, J. y Wakely, S. (Particle Data Group) (2017). *Cosmic Rays*. <http://pdg.lbl.gov/2019/reviews/rpp2018-rev-cosmic-rays.pdf>
- Bothe, W. (1954). *The Coincidence Method*. Nobel Lecture. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1954/bothe/lecture/>
- CERN. (2020). *Cosmic Rays: particles from outer space*. CERN. <https://home.cern/science/physics/cosmic-rays-particles-outer-space>
- Cimental Chávez, A. P. y Félix Valdez, J. (2018). Diseño, construcción, caracterización y pruebas de un detector de rayos cósmicos a base de un gas de electrones de 4 canales. *Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 657–662. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2418>
- Eljen Technology (2016). *Fast Timing Plastic Scintillator*. EJ-232, EJ-232Q. Estados Unidos. <https://eljentechnology.com/products/plastic-scintillators/ej-232-ej-232q?highlight=WyJlailsjlzMnEiLCJlasiAyMzJxI10>
- Frass, W. (1996). *C4: Particle Physics Major Option*. *Particle Detectors*. Oxford Physics. <https://www2.physics.ox.ac.uk/sites/default/files/Detectors.pdf>
- Gutiérrez, R. A. (2018). *Diseño, construcción, caracterización y operación de un detector de rayos cósmicos de 32 canales para la detección de partículas con carga positiva*. Universidad de Guanajuato.
- Hamamatsu (2018). *MPPCS12572-100 P*. Japón. <https://seltokphotonics.com/upload/iblock/79d/79dd6b2f84b2cacddf2716a8f04ce21e.pdf>
- Hess, V. (1936). *Unsolved Problems in Physics: Tasks for the Immediate Future in Cosmic Ray Studies*. Nobel Lecture. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1936/hess/biographical/>
- Mewaldt, R. (1996). *Cosmic Rays*. California Institute of Technology. [https://www.dartmouth.edu/~sshepherd/research/Shielding/docs/Mewaldt\\_96.pdf](https://www.dartmouth.edu/~sshepherd/research/Shielding/docs/Mewaldt_96.pdf)
- Moreno, N. (2020). *Detección y estudio de fotones producidos en aluminio por incidencia de rayos cósmicos*. Universidad de Guanajuato.
- NASA. (2019). *Manchas y llamaradas solares*. NASA. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/sp/>
- NASA. (2020). *¿Qué es un ciclo solar?* NASA. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/sp/>
- Space Weather Live. (2020). *Real Time Auroral Solar Activity*. <https://www.spaceweatherlive.com/>
- Zell, H. (2017). *Earth's Magnetosphere*. NASA. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/multimedia/magnetosphere.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/multimedia/magnetosphere.html)

# Capítulo 21. Planeación, diseño y construcción de una pequeña cámara multialámbrica para docencia e investigación

JOSÉ PABLO CUEVAS CÁZARES<sup>1\*</sup>

JULIÁN FÉLIX VALDEZ<sup>2\*\*</sup>

## Resumen

Las técnicas que detectan radiación han revolucionado el entendimiento de las partículas fundamentales que conforman la materia y, asimismo, han orientado a las teorías físicas que buscan una descripción completa y adecuada de su naturaleza. La cámara multialámbrica es uno de los detectores por conteo más comúnmente empleado y estudiado. En este trabajo se planeó, diseñó y construyó una cámara multialámbrica a base de gas junto con dos detectores veto. Asimismo, se diseñó y construyó un circuito electrónico de coincidencias que será acoplado al sistema de la cámara y los detectores veto, con el objetivo de detectar radiación incidente mediante el método de coincidencias. Finalmente, se diseñó una caja metálica que aislará los detectores electromagnéticamente, la cuál será posteriormente construida e incluida en el sistema de detección para la caracterización y realización de pruebas del mismo.

**Palabras clave:** *cámara multialámbrica, ionización de gases, caja aislante, método de coincidencias, radiación incidente.*

---

<sup>1</sup> \* Laboratorio de partículas elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3825-2516>

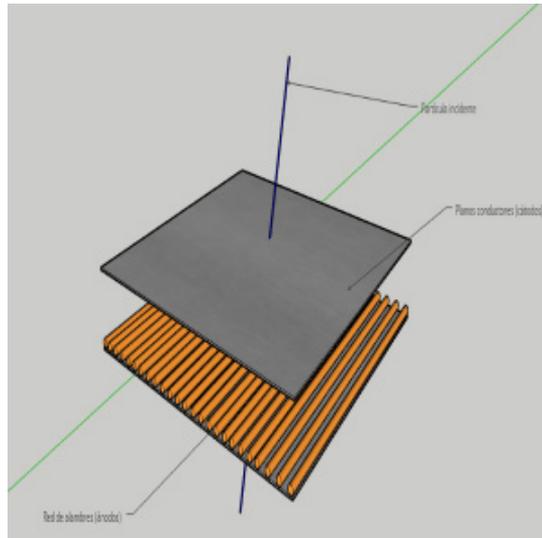
<sup>2</sup> \*\* Laboratorio de partículas elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato (Campus León). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5120-4300>

## Introducción

La cámara multialámbrica fue desarrollada por primera vez por Georges Charpak en 1967, cuando este trabajaba en alguna manera de desarrollar un detector cuyo análisis de datos pudiese ser hecho a través de un circuito digital (Charpak, 1997). Inicialmente, su mecanismo era a través del desarrollo de cámaras cilíndricas de un solo alambre, que consistían en el arreglo de un tubo hueco de material conductor, con un alambre coaxial dentro de él. Empleando algún tipo de gas (comúnmente aire o una mezcla de xenón y metano) como medio a ionizar, dispuesto entre el volumen del alambre coaxial y el tubo conductor (típicamente de cobre), se aplicaba un voltaje positivo al sistema, de tal manera que el alambre coaxial fuese el ánodo y el cilindro el cátodo. Entonces, si el voltaje era lo suficientemente alto, cuando una partícula cargada incidente atravesaba el cilindro (por ejemplo, radiación cósmica), esta ionizaba las moléculas del gas en el volumen entre el alambre y el cilindro y, mediante la diferencia de potencial, los iones producidos se recolectaban sobre el alambre, que a su vez estaba conectado a un capacitor, para almacenar esta carga iónica, y a una resistencia, para controlar la magnitud de la corriente de salida. Esta señal de salida puede entonces ser detectada, y mediante el uso de tecnologías modernas, comúnmente un osciloscopio, es posible ver gráficamente la señal producida por una partícula incidente. Se ha encontrado que la geometría del detector no es un factor que afecte la detección de partículas. Sin embargo, el voltaje aplicado entre al alambre coaxial y el tubo sí es un factor que afecta directamente la eficiencia de detección de radiación, así como la capacitancia entre el cable y el tubo.

Evidentemente, este tipo de detectores tienen la clara desventaja de no poder proveer con precisión suficiente el punto espacial de incidencia de la partícula, ya que solamente consta de un solo alambre y, por tanto, se sabe solamente que pasó una partícula a lo largo de él, pero no exactamente en qué parte del alambre. Para solucionar este problema, se emplea la cámara multialámbrica, que básicamente consiste en un conjunto de alambres dispuestos en forma de malla, los cuales actúan como ánodo entre dos planos o placas conductoras que fungen como cátodo (Leo, 1987). La figura 1 muestra dicha disposición.

Figura 1. Arreglo básico de una cámara multialámbrica



Como se puede observar en la figura anterior, debido a que existen muchos alambres que funcionan como ánodos del circuito, cuando una partícula incide y ioniza el medio gaseoso en el que se encuentran los cables, los iones generados serán atraídos hacia el alambre más cercano a ellos y, por tanto, podrá determinarse con mayor precisión en dónde incidió la partícula. La cámara discutida en este trabajo tiene un arreglo de alambres en forma de malla, lo que aumenta aún más la precisión en la posición de incidencia de la partícula.

## Planeación

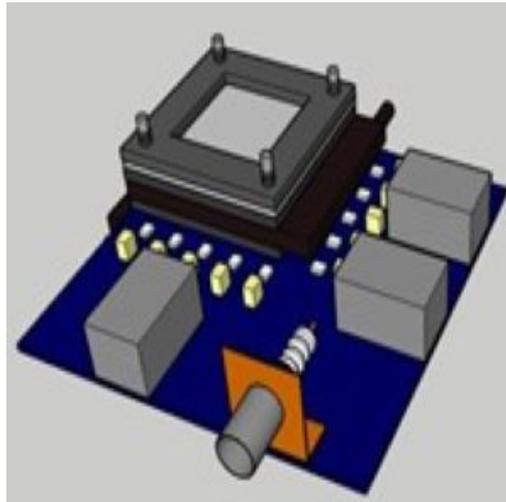
Para el montaje del sistema completo se decidió proceder por etapas secuenciales, de tal suerte que se comenzó por el ensamble de la cámara y se culminó con el diseño de la caja protectora. La primera etapa consistió en montar los componentes de la cámara multialámbrica sobre la tarjeta electrónica (que incluye el circuito de interpretación de la señal eléctrica). A continuación, se procedió a esquematizar la cámara con todos sus componentes en SketchUp, junto con las piezas metálicas que unirían un par de detectores veto a la cámara y a la caja al mismo tiempo. Para esto, los detec-

tores veto deben de estar dispuestos en los extremos opuestos de la cámara multialámbrica, ya que serán los componentes que discernirán si una partícula incidente consiste en un evento o no. Ambos detectores debían acoplarse a un fotomultiplicador de silicio para poder detectar e interpretar la señal eléctrica causada por la radiación incidente. La segunda etapa consistió en diseñar y construir el conector de alto voltaje SHV, que es necesario para suministrar un voltaje de entrada a la cámara multialámbrica, y el cual luego debe soldarse a la tarjeta electrónica. La tercera etapa consiste en diseñar la caja aislante y enlistar los componentes necesarios para la conexión entre ella y el sistema de detección.

### Diseño

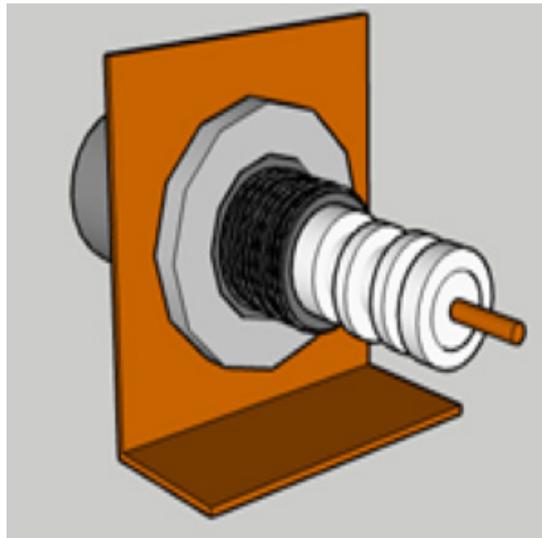
Mediante el uso del software SketchUp, se realizó una réplica escalada por un factor de 10 de la cámara, la tarjeta electrónica y sus componentes, como se muestra a continuación:

Figura 2. Esquema de la tarjeta electrónica con las respectivas piezas de ensamble de la cámara y el conector de alto voltaje



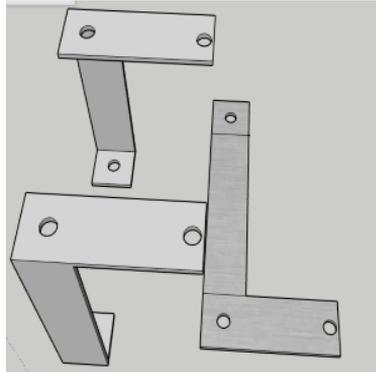
El diseño de la tarjeta electrónica, responsable de detectar y digitalizar la señal de la partícula incidente, es propiedad del Laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato. El área efectiva de incidencia de esta cámara es  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ , mientras que las piezas que la conforman tienen un área de  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ . Las piezas que componen a la cámara son dos tapas metálicas, cuatro empaques, dos marcos y dos marcos con tubo. Las tapas metálicas funcionaron como ánodos para la detección de radiación, los marcos tuvieron la función de mantener fijas las placas cátodo y los marcos con tubo funcionaron como entradas para llenar la cámara de gas. Adicionalmente, los empaques se colocaron entre los marcos para evitar el choque entre ellos y con ello asegurar un sellado lo más hermético posible de la cámara. En la tarjeta electrónica estuvieron dispuestos tres conectores RJ45 hembra y un total de 10 resistencias variables, así como 10 capacitores. Posteriormente, se diseñó el conector de alto voltaje a partir de una pieza en forma de L, la cual tenía un orificio central para poder introducir el cable SHV de alto voltaje (véase figura 3).

Figura 3. Diseño del conector de alto voltaje acoplado con la entrada del cable SHV



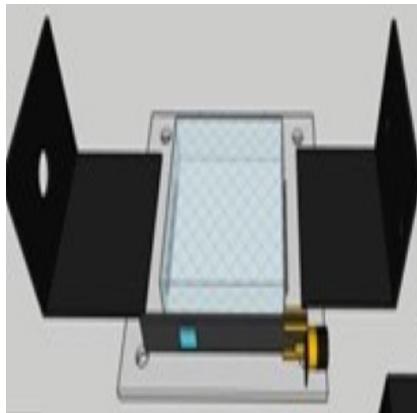
Una vez que se completó este diseño, se procedió a esquematizar ocho piezas metálicas que funcionarían como uniones mecánicas entre la cámara, la tarjeta electrónica, los detectores veto y la caja aislante (véase figura 4).

Figura 4. *Vistas inicial y final de la pieza metálica que une la cámara, veto y caja*



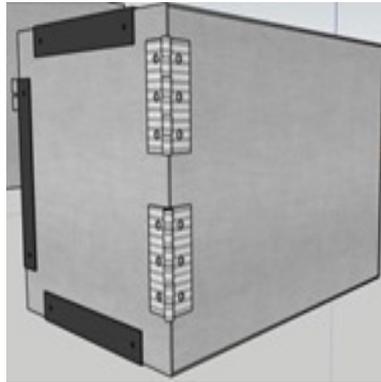
Al concluir el diseño de las piezas que fungen como uniones, se procedió a esquematizar el detector veto. Este consiste en una pieza de plástico centelleador dispuesto sobre una pieza cuadrada de aluminio y dos soportes metálicos en forma de L, unidos al fotomultiplicador de silicio SiPM Micro-FJ-40035 (véase figura 5).

Figura 5. *En la imagen se observa el diseño del detector veto acoplado con el SiPM y el conector SMA hembra*



En la figura anterior el SiPM está unido a un conector SMA hembra, el cual es responsable de transmitir la señal generada por el SiPM a una computadora para su posterior análisis. Después de terminar con el diseño del detector veto, se procedió a realizar el diseño de la caja aislante. Se decidió realizar el diseño de una caja metálica de aluminio de 30 cm × 20 cm × 20 cm como caja aislante.

Figura 6. Parte frontal de la caja aislante



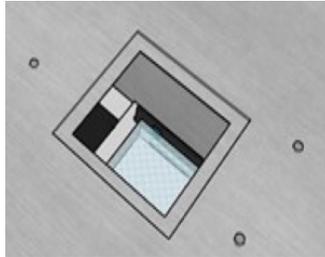
La caja se diseñó con estructuras metálicas en L que fueron atornilladas a las placas que conformaban la caja, con el motivo de unir sus paredes. A la cara frontal solamente se le agregaron dos bisagras, ya que en esta se introducirá la cámara multialámbrica. A continuación, se muestra el diseño de la parte trasera de la caja.

Figura 7. Vista trasera de la caja aislante



Como se puede ver en la imagen anterior, en el diseño de la cara trasera se realizaron seis agujeros del tamaño de las entradas RJ45, dos entradas para los cables SHV de alto voltaje, cuatro entradas para los conectores SMA de señal y cuatro entradas más para los tubos de gas de la cámara. Asimismo, se realizaron agujeros extras para todas las entradas necesarias para la operación de la cámara, con el motivo de asegurar su operación continua en caso de algún fallo en el sistema de conexión y alimentación del gas. Finalmente, en las tapas inferior y superior se realizó un agujero de 4.5 cm × 4.5 cm que será cubierto con papel aluminio, esto con el motivo de exponer el plástico centellador a la radiación incidente por ambas caras.

Figura 8. Abertura en la cara superior de la caja



Mediante las piezas que unen la cámara con los detectores veto, el diseño contempla que estas últimas sean usadas, utilizando tornillos y agujerando las caras inferior y superior, para unir todo el montaje (véase figura 9).

Figura 9. Montaje final de la cámara con los detectores veto y la caja aislante



## Construcción

Una vez completado el diseño, se procedió a montar las piezas de la cámara sobre la tarjeta electrónica mediante el uso de tornillos y tuercas. Por consiguiente, se procedió con la construcción de la pieza de cobre para el conector SHV. Para ello se trazaron dos líneas paralelas sobre la placa de cobre a alturas de uno y tres centímetros, respectivamente, y una vez hecho esto se encontró el centro geométrico del área comprendida entre ambas líneas, para así poder perforar un orificio con el taladro. Seguidamente, después de realizar el orificio, se limó hasta que cupo el conector de alto voltaje, cuidando que la forma circular fuera conservada lo más posible.

Figura 10. *Proceso de limado del orificio de la placa de cobre utilizada para construir el conector*



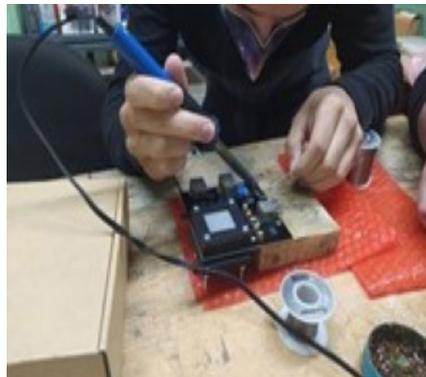
Enseguida se procedió a realizar un doblé a 90° a lo largo de la línea trazada a 1 cm de uno de los lados de la pieza. Finalmente se escuadraron las esquinas de la pieza y se cuidó que no existiesen esquinas puntiagudas para así prevenir que el campo eléctrico en la pieza adquiriese valores muy altos en ellas.

Figura 11. Conector de cobre terminado



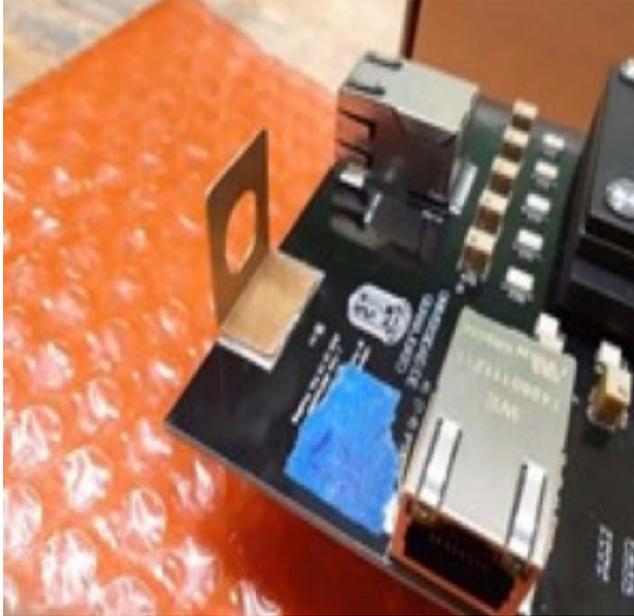
Una vez que se completó la pieza, se procedió a soldarla a la tarjeta electrónica. Esto se realizó depositando primero una capa de pasta fundente sobre el área de conexión de la tarjeta y, a continuación, otra capa de estaño por medio de un caudín. Se cuidó que la capa añadida de estaño no fuese muy gruesa, pero que lograra cubrir toda la superficie de la zona de conexión de la tarjeta. Después, se dejó enfriar la capa de estaño sobre la zona de conexión y, una vez que alcanzó la temperatura ambiente, se colocó el conector de cobre sobre la capa depositada, cuidando que el área de la base se alinea lo más exactamente posible con el área de conexión de la tarjeta. Enseguida, se presionó con el caudín la base de la placa de cobre dispuesta sobre la capa de estaño y se mantuvo ahí hasta que el calor transferido por el estaño a la placa fue el suficiente para derretir la capa de estaño debajo de esta.

Figura 12. Proceso de soldadura de la placa de cobre a la tarjeta electrónica



Finalmente, la pieza quedó soldada como se observa en la figura 13.

Figura 13. Soldadura final del conector de cobre a la tarjeta electrónica



## Conclusiones

En el presente artículo se resumió el trabajo realizado hasta ahora con respecto al diseño, planeación y parte de la construcción de la cámara multialámbrica, junto con la caja aislante. Cabe recalcar que se probó que hubiese contacto eléctrico entre la pieza de cobre y la zona de conexión de la tarjeta.

Ahora bien, aún hay cosas que quedan por hacer. En primer lugar, debemos obtener los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento completo de la cámara para, de manera paralela, comenzar con la construcción de la caja aislante. Asimismo, soldaremos un solo filamento de una aleación de oro-tungsteno a la cámara multialámbrica para probar su funcionamiento, y una vez que sean recabados los primeros datos y se compruebe el correcto funcionamiento del sistema de detección, se procederá a soldar el resto de los alambres a la cámara, para así poder construir un sistema de posicionamiento de la radiación detectada por ella.

## Referencias

- Charpak, G. (1997). *Electronic Imaging of Ionizing Radiation with Limited Avalanches in Gases*. The Nobel Prize. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/charpak-lecture.pdf>
- Leo, W. (1987). *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*. Springer-Verlag.

*La enseñanza de la física y el modelo STEM,*  
César Eduardo Mora Ley, Carmen del Pilar Suárez  
Rodríguez, Julián Félix Valdez (coordinadores) publicado  
por Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., se terminó de  
imprimir en diciembre de 2022, en los talleres de Litográfica Ingramex S.A.  
de C.V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad de México, en versión  
digital en los formatos PDF, EPUB y HTML.

La educación en física es una rama de la física que tiene una estrecha relación con diferentes disciplinas y modelos, los cuales ayudan a mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la física en todos los niveles educativos. Además, en años recientes el modelo STEM se ha revelado como una de las mejores estructuras y estrategias para la enseñanza de las ciencias. Por consiguiente, la División de Enseñanza de la Sociedad Mexicana de Física promueve su implementación para el mejoramiento de la enseñanza de la física, esto mediante proyectos educativos y de investigación interdisciplinaria en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas.



**César Eduardo Mora Ley** es profesor-investigador de tiempo completo en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (unidad Legaria) del Instituto Politécnico Nacional, donde en 2006 diseñó el Posgrado en Física Educativa. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel I) y miembro asociado de la Comisión Internacional de Educación en Física de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada.



**Carmen del Pilar Suárez Rodríguez** es doctora en Ciencias en Física Educativa y profesora-investigadora en la Coordinación Académica (región Huasteca Sur) de la UASLP. Es coordinadora del Teacher Fellowship y de Equipos Temáticos y experta en Educación STEM en la Red Interamericana de Organización Docente de la OEA. Es miembro del SNI (nivel I) y cuenta con perfil PRODEP.



**Julián Félix Valdez** es profesor-Investigador de tiempo completo del Departamento de Física de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; colabora en el Cuerpo Académico "Espectroscopia de Hadrones y Física más Allá del Modelo Estándar"; es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II), y fundador y director del Laboratorio Internacional de Partículas Elementales, donde se desarrolla investigación en detectores de rayos cósmicos.



Dimension



[DOI.ORG/10.52501/CC.037](https://doi.org/10.52501/CC.037)



**COMUNICACIÓN  
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES  
ARBITRADAS  
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

[www.comunicacion-cientifica.com](http://www.comunicacion-cientifica.com)

