EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay

EDICIÓN DIGITAL - ISSN: 3121-2239
Número 39 - Diciembre, 2025

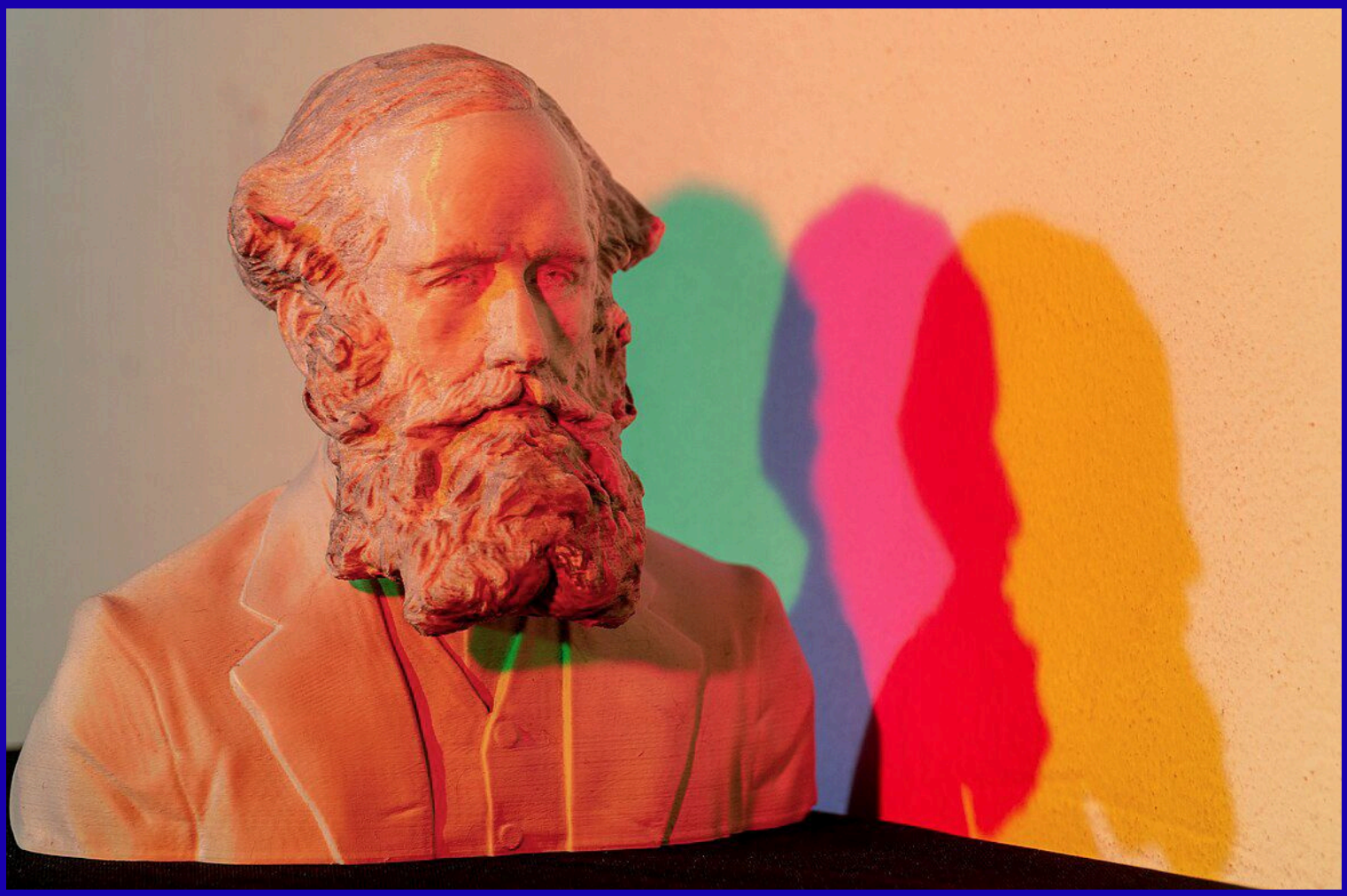


Foto: Andrea Marins - Concurso Foto.Física 2024 (SUF)

EDUCACIÓN EN FÍSICA
Una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay

Revista Educación en Física
Número 39 – diciembre 2025

Equipo editorial:
Caracé Gutiérrez
Agustín Machado
María José Parrado
Álvaro Suárez
Comisión asesora:
Marcela Ballesta
Fernando Fontán
Alejandro Parrella
Carolina Pereira
Marcelo Vachetta
Revisor de estilo:
Guzmán Trinidad
Editor en jefe:
Ismael Núñez
Comisión directiva de la APFU
Brian Guzmán, *presidente*
Daniel Baccino, *vicepresidente*
Victoria Batista, *secretaria*
Marco Pereira, *tesorero*
Raquel Pesce, *vocal*

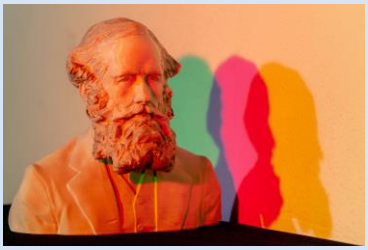


Imagen de portada:
Marins, A. (2024) *Sombras de colores*. Concurso Foto.Física, Sociedad Uruguaya de Física (SUF). Disponible en: foto.fisica.edu.uy.

Invitación a enviar sus artículos:

Queridas/os lectoras/es, no se queden con ganas de compartir sus trabajos y creaciones. La revista siempre recibirá sus aportes. Si están interesadas/os, no duden en contactarse a través del email: apfurevistacientifica@gmail.com, donde responderemos todas sus consultas e inquietudes.

A su vez, nuestra página web cuenta con una sección específica para las/os autoras/es donde pueden encontrar aspectos pertinentes como *líneas orientadoras* y el *formulario de envío de artículos* que cuenta con una *plantilla rellenable*.

☞ Aquí puedes acceder a la sección "para los autores".

¡Muchas gracias! Estamos esperando tu artículo.

Artículos en este número:

El salto de la rana, Tracker y los humedales.
Massaferro, M. _____ 3

10 metros llanos. Una posibilidad de introducir el tema de las medidas y sus incertidumbres desde el deporte.
Moreno, F. _____ 12

El rol articulador de la pregunta en la planificación de problemas abiertos. Trazando puentes entre la imaginación, el interés y la IA.
Parrado, M. _____ 15

La utilización de la historia de las ciencias como recurso de enseñanza activa.
Viera, E. _____ 22

"Sé que me quieres aquí, pero puedo ser mamá a tiempo parcial o una loca a tiempo completo". Abordaje de la física y la enseñanza de la física como profesiones desde una perspectiva de género.
Casais, F.; Trinidad, G. _____ 32

Del farol al láser: una recreación moderna del intento de Galileo para medir la rapidez de la luz.
Melissari, B.; Rinderknecht, F.; Del Pino, I.; Flores, M. _____ 45

Invierno Científico: fortaleciendo vocaciones científicas en estudiantes de Educación Media.
Amy, L.; De Polsi, G.; Favre, S.; Guzmán, B.; Rabin, C.; Vallejo, A.; Yelpo, C. _____ 53

Montevideo, diciembre del 2025

Esfuerzo de muchos/as para muchos/as más.

Llegó el momento. Un año atrás recibíamos la inquietud de María José y Agustín sobre la reedición de nuestra añorada revista *"Educación en Física"*, idea que tanto esta Comisión Directiva como las anteriores tenían dentro de sus objetivos según lo recogido en diversas instancias de la Asociación. Aquí el primer punto importante: se trata de la síntesis de muchas voluntades, esfuerzos que vienen de muy atrás en el tiempo y compromisos actuales con el proyecto.

En total fueron seis años sin editarla, mucho tiempo si pensamos en su valor académico, pero también como actividad que moviliza a nuestro colectivo y lo mantiene vivo, ya que son muchas las personas que trabajan para que la criatura pueda caminar y más aún, las que la reciben.

Luego de una búsqueda por generar un espacio amplio donde docentes e investigadores/as relacionados/as a la física y su enseñanza sientan que pueden volcar su trabajo, creemos haber llegado a una publicación que nos deja convencidos de haberlo logrado. Claro, con el margen de mejoras que nosotros mismos nos propongamos. Es que no solamente su valor material y simbólico es importante para nuestra Asociación. El objetivo es volver a tener una publicación que permita aportar sobre todo en el ámbito educativo y que, a su vez, potencie otras actividades como la escritura académica por parte de nuestros profesores y profesoras, tareas que deberemos acompañar con espacios de formación.

Cuando presentamos la idea durante el XXXV Encuentro Nacional de Profesores de Física en La Paloma, no pensamos que la convocatoria para el número 39 (primero en esta versión digital) tuviera tanto éxito. Es que nadie, en sus aspiraciones más optimistas, visualizaba que recibiríamos tantas propuestas y como verán, de tan diversa índole.

Por esto, resulta fundamental hacer llegar nuestro más cálido agradecimiento a todos/as quienes están involucrados/as con esta publicación: equipo editorial, comisión asesora, revisores/as y autores/as. Han sido meses de mucho trabajo, pero queremos decirlo, también de mucha alegría.

Estamos convencidos/as de que, tanto en nuestro país como fuera de él, hay personas interesadas en compartir sus experiencias y trabajos. Otras estarán expectantes de conocer lo anterior. En este sentido es que la revista tiene un valor inconmensurable. Nuestra idea es que sea un espacio al que todos/as puedan acceder, que su horizonte pueda plantearse más allá de los límites de nuestra Asociación.

"Educación en Física" está nuevamente entre nosotros. Deseamos que la disfruten y compartan, a la vez que esperamos los aportes de todas las personas vinculadas a nuestro colectivo de alguna forma. Es el próximo desafío y condición necesaria para que nuestra revista siga creciendo.

Les enviamos un fraterno saludo.
Comisión Directiva.

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.1

El salto de la rana, Tracker y los humedales.

Martín Massaferro [1]

[1] *Liceo N° 68 "Paulina Luisi", Dirección General de Educación Secundaria, Montevideo, Uruguay.*

E-mail: massaferro@gmail.com

(Recibido el 9/11/2025, aceptado el 3/12/2025)

Resumen

Este artículo presenta una experiencia interdisciplinaria entre Física y Biología desarrollada con estudiantes de segundo año de bachillerato opción ciencias y tecnología en Uruguay. La actividad, denominada *"El salto de la rana"*, propone analizar el movimiento de una rana mediante el uso del software Tracker y registros en video, con el objetivo de contextualizar el estudio del movimiento parabólico y establecer vínculos entre conceptos físicos y biológicos. A través del análisis cinemático de las fases de impulso y vuelo, los estudiantes identificaron magnitudes relevantes como velocidad inicial, ángulo de salida, aceleración y fuerza neta, comparando los resultados con modelos teóricos y observaciones biológicas. La propuesta favoreció la motivación, la comprensión significativa de los conceptos de cinemática y la integración de saberes científicos, demostrando el potencial de las actividades basadas en video análisis para la enseñanza interdisciplinaria en ciencias.

Palabras clave: interdisciplinario, Biología, Física, experimento, análisis de video, movimiento parabólico, Tracker, ecosistemas, rana.

Abstract

This paper presents an interdisciplinary experience combining Physics and Biology, carried out with second-year high school students in the science and technology specialization in Uruguay. The activity, titled "The Frog's Jump", involves analyzing a frog's motion using Tracker software and video recordings to contextualize the study of projectile motion and connect physical and biological concepts. Through the kinematic analysis of the take-off and flight phases, students identified key variables such as initial velocity, launch angle, acceleration, and net force, comparing their findings with theoretical models and biological observations. The project fostered student engagement, meaningful understanding of kinematics, and integration of scientific knowledge, highlighting the potential of video-based experiments for interdisciplinary science education.

Keywords: Interdisciplinary, Biology, Physics, experiment, video analysis, parabolic motion, Tracker, ecosystems, frog.

1. Introducción

En tiempos de interdisciplinariedad, diseños competenciales, aprendizaje basado en proyectos y tantos otros enfoques, volver a los aportes de Ausubel, Bruner o Morin, así como los de Pozo y Sanmartí, podría parecer nostálgico o caer en los mismos artículos de siempre. Sin embargo, cuando me propuse escribir sobre una experiencia didáctica, fueron justamente ellos quienes aparecieron en mis primeras líneas. Son la base de la construcción de mi planificación anual, claves en los andamiajes para mis actividades de aula y fundamentales en las dimensiones de mis evaluaciones. En definitiva, son parte estructurante de mi ser docente.

También me pregunté si, en la época de la inteligencia artificial, tenía sentido escribir un artículo o compartir una planificación. Pensé: "ya está todo inventado". Y quizá sí. Pero este trabajo busca, simplemente, compartir la experiencia de un docente con sus colegas, esperando que nos permita seguir pensando nuestras prácticas de aula, situadas y contextualizadas.

Este texto no tiene carácter investigativo. Muchas de las afirmaciones que contiene se sustentan únicamente en la práctica y la experiencia de quien escribe, y por tanto expresan una visión necesariamente parcial. Reconozco en este ejercicio de escribir para otros, la necesidad de seguir jerarquizando la formación docente y poner mayor atención en la investigación educativa y en la escritura académica. Pero, como se dice, eso ya es harina de otro costal.

1.1. Contexto

En el marco de la implementación de la llamada transformación educativa llevada a cabo a partir de 2023, los estudiantes de segundo de Bachillerato en 2025 se encontraban buscando una orientación que ya no existe[1]. Aquellos estudiantes que buscaban una opción académica dentro del área de las ciencias, debieron optar por el llamado "Espacio Ciencias y Tecnología" (CT).

Así, nuestras aulas comenzaron a mostrar una diversidad de intereses aún mayor que cuando el plan reformulación 2006 estaba vigente con "científico" y "biológico". Los estudiantes reclamaban más biología en el currículum especifico de ciencias. Esta situación abrió nuevas oportunidades para contextualizar los aprendizajes, pero también nos enfrentó a la tentación de caer en lo falsamente cotidiano o en lo no significativo para nuestros alumnos.

Un diagnóstico inicial realizado en un grupo matutino de un liceo de la zona centro de Montevideo reveló un fuerte interés por las ciencias biológicas y, al mismo tiempo, una debilidad en la integración de las ciencias con las matemáticas. Otro aspecto destacado fue la clara voluntad de continuar estudios terciarios y el deseo de que el liceo sea un espacio para aprender con sentido. Por tanto, el diseño de la planificación debía atender esa realidad concreta. Así es como surge el interés de trabajar para lograr actividades interdisciplinarias significativas para nuestros estudiantes y conseguir construir el conocimiento específico desde la experiencia.

Tabla 1. Secuencia de módulos de aprendizaje. Planificación anual 2025. Elaboración propia.

Módulos de aprendizaje:		Actividades experimentales:
Introducción		1. Velocidad media (Cronómetro)
Leyes de Newton	Cinemática en una dimensión	2. Movimientos Rectilíneos (Tracker) 3. Plano Inclinado con "carro" (fotopuerta) 4. Caída Libre (Tracker) 5. Tiro horizontal (Tracker) 6. Hooke (balanza) 7. Plano Inclinado con "bloque" (balanza) 8. **El salto de la rana**
	Cinemática en dos dimensiones	
	Tres leyes fundamentales	
Energía	Parte 1 - Conservación y sistemas	9. Sistema masa-resorte (balanza, fotopuerta)
	Parte 2 - Energía mecánica	

Este artículo no trata sobre la confección de un plan anual ni de una planificación por módulos, pero sí se considera importante situar la actividad propuesta

[1] Los documentos preliminares hacia 2026 incluyen nuevamente un curso de 2ºEMS Ciencias y Tecnología orientado a la Biología.

dentro de su contexto pedagógico. La tabla 1 presenta la secuencia temporal de los módulos de aprendizaje y algunas de las actividades experimentales que precedieron a la experiencia que aquí se describe.

La actividad "El salto de la rana" (Actividad exp. Nro.8) es una actividad enmarcada en un trabajo interdisciplinario y con enfoque experimental, que consiste en el análisis mediante video del movimiento descrito por una rana al efectuar uno de sus movimientos más característicos: el salto.

1.2. Objetivos de la actividad

El proyecto interdisciplinario "El salto de la rana" pretende ser un puente entre asignaturas (Física y Biología) de un grupo de segundo año CT para contextualizar movimientos en dos dimensiones, y así atender los intereses de los estudiantes identificados en las instancias de diagnóstico del módulo introductorio.

En esta actividad experimental de video análisis, se espera que los estudiantes determinen el o los tipos de movimiento a partir de la interpretación de gráficos posición-tiempo ($x(t)$ e $y(t)$). Asimismo, se espera que identifiquen las causas de dichos movimientos, tanto desde la física como desde la biología. En este punto cabe agradecer a la Prof. Mag. Alicia Cara (Docente de Biología del grupo 2°CT2) quien es parte importante del inicio de esta actividad.

Tabla 2. Objetivos del Proyecto Interdisciplinario.

Biología:	Física:
Identificar características anatómicas y fisiológicas que permiten el salto en ranas. Analizar el comportamiento del animal en relación con su hábitat y estrategias de supervivencia. Comprender la interacción de la rana con su ecosistema.	Determinar el tiempo de reacción de la rana y sus depredadores. Analizar la trayectoria de la rana durante el salto e identificar el tipo de movimiento. Calcular magnitudes cinemáticas (velocidad, ángulo de salida, altura máxima, alcance, entre otros). Determinar fuerza neta a partir de la aceleración.

1.3. Objetivos secundarios

Es interesante hacer una breve revisión bibliográfica sobre las oportunidades de contextualización que nos ofrecen los textos clásicos sobre física general, entre los que podríamos mencionar a autores como Blatt, Hecht, Hewitt, Tipler o Wilson, en donde los movimientos parabólicos o diversos problemas de lanzamiento se vinculan con disparos, flechas, cañones y balística en general.

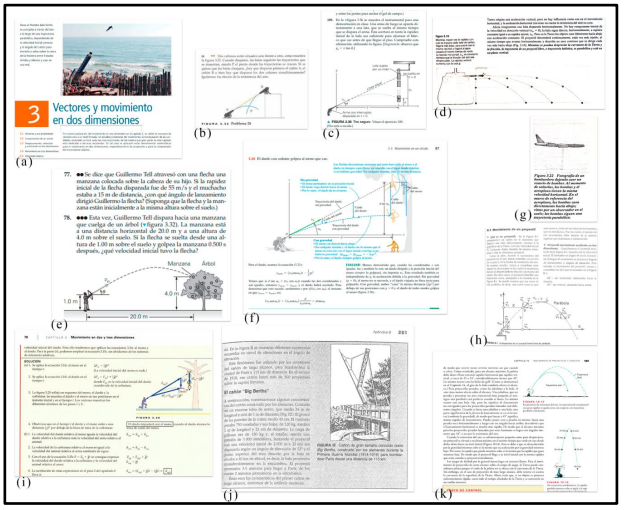


Figura 1. Contextualización de movimientos parabólicos con disparos (ver anexo 2).

Era una preocupación, al momento de planificar el módulo de movimientos parabólicos, poder encontrar opciones que dejaran fuera del aula las armas. Es de orden aclarar que mucha de la bibliografía disponible también contextualiza el modelo teórico en base a deportes como el básquetbol o el golf.

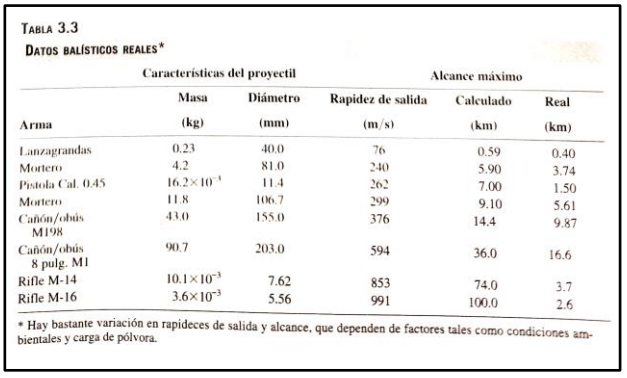


TABLA 3.3
DATOS BALÍSTICOS REALES*

	Características del proyectil			Alcance máximo	
Arma	Masa (kg)	Diámetro (mm)	Rapidez de salida (m/s)	Calculado (km)	Real (km)
Lanzagranadas	0.23	40.0	76	0.59	0.40
Mortero	4.2	81.0	240	5.90	3.74
Pistola Cal. 0.45	16.2×10^{-3}	11.4	262	7.00	1.50
Mortero	11.8	106.7	299	9.10	5.61
Cañón/obús M198	43.0	155.0	376	14.4	9.87
Cañón/obús 8 pulg. M1	90.7	203.0	594	36.0	16.6
Rifle M-14	10.1×10^{-3}	7.62	853	74.0	3.7
Rifle M-16	3.6×10^{-3}	5.56	991	100.0	2.6

* Hay bastante variación en rapideces de salida y alcance, que dependen de factores tales como condiciones ambientales y carga de pólvora.

Figura 2. Datos balísticos reales (Hecht. 1999. p.75).

2. Modelo teórico

Es posible modelar el salto de una rana como un movimiento bidimensional, el cual tiene al menos tres fases que se identificarán como: impulso, vuelo y aterrizaje. Cada una de estas fases tiene una implicancia directa con la anatomía del anfibio (articulaciones, músculos y centro de masa). En este artículo, el foco está puesto particularmente en la física del salto; un análisis cinemático con una incidencia menor de las leyes de Newton.

El *impulso*[2] es una fase de aceleración plena que ocurre en intervalos de tiempo de entre *100ms* y *150ms* (Astley & Roberts, 2014), y dependiendo del ángulo de salida encontraremos mayor o menor concavidad en los gráficos *x(t)* e *y(t)* para dicha fase.

Una segunda fase que llamaremos *vuelo* ocurre cuando la rana se encuentra completamente en el aire y la influencia de la gravedad acelera verticalmente al animal describiendo un "movimiento de proyectil". Dependiendo de cada salto y de la especie que se esté estudiando se deberá discutir la pertinencia de despreciar el efecto del rozamiento con el aire.

Por último, se identifica una tercera fase de desaceleración en el aterrizaje, que quedará fuera del alcance de este proyecto por tiempos y también por entender que no aporta nuevos conceptos a la discusión.

3. Experimento

3.1. Aspectos procedimentales

Si bien hasta el momento no fue posible encontrar filmaciones disponibles en línea que cumplieran con los requerimientos para realizar un análisis de video adecuado (como ser una cámara estática, un plano de cámara paralelo al plano de movimiento, el tiempo de filmación en velocidad normal y un lente sin efecto *ojo de pez*) un análisis[3] preliminar con un video tomado del documental "Cómo las ranas consiguieron su salto vertical"[4] (The New York Times, 2018), mostró que era posible hacer un análisis cualitativo del salto de la rana. Por lo tanto, se entiende que es posible cumplir con la mayoría de los objetivos planteados inicialmente para este proyecto interdisciplinario.

La falta de referencias en el fondo de los videos o la poca información disponible sobre las especies filmadas, implica un trabajo taxonómico previo para la identificación del anfibio en cuestión y una investigación sobre sus dimensiones. Esto último permite utilizar a la propia rana como vara de calibración del video.

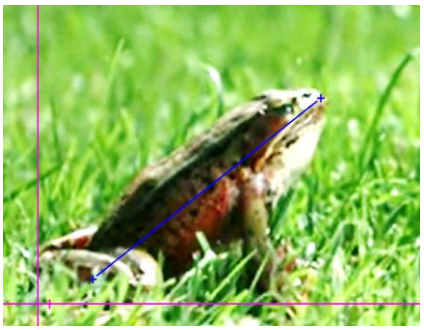


Figura 3. Vara de calibración de Tracker.

Como primer paso para la identificación de la especie se utilizaron diversas imágenes capturadas desde el video utilizado, que se cargaron en *Google Lens* para una identificación mediante el uso de la inteligencia artificial. Si bien la rana detectada (rana pretiosa)[5] no es ni una especie autóctona ni está presente en nuestros humedales, entendemos que la mecánica del salto es similar al de la Rana Monito[6].

Determinar el tiempo de reacción de la rana a partir de los videos en *cámara lenta* presenta un problema: la indeterminación del tiempo del fotograma. La solución escogida implica utilizar el tiempo promedio de impulso de la especie identificada para lograr establecer una calibración del tiempo del experimento, identificando el momento del video en que ya no hubiera contacto del anfibio con el suelo. La ecuación 1 muestra la transformación del tiempo en unidades arbitrarias (*u.a.*) a segundos (*s*).

$$t_{(s)} = t_{(u.a.)} . \frac{0{,}100}{2{,}5} \qquad (1)$$

Tabla 3. Datos para la calibración del video. Elaboración propia.

Largo de la rana aproximado:	10 cm
Tiempo de impulso aproximado:	100 ms

[2] Si bien *Impulso* no se utilizó durante la actividad como la variación en la cantidad de movimiento, sino por su acepción en el Diccionario de la lengua española (RAE, s.f.), podría servir para una futura introducción del concepto, dado que no produce en sí mismo una incongruencia conceptual.

[3] Análisis preliminar disponible en "Anexo 1".

[4] Traducción de "*How frogs got their vertical leap*." (2018)

[5] Conocida como "Oregon spotted frog" de unos 10cm de longitud (WDFW, s.f.).

[6] Nombre científico: Phyllomedusa iheringii de unos 6,5cm de longitud (CED , s.f.).

3.2. Procesamiento de datos

La secuencia de puntos experimentales indica un comportamiento según lo esperado, identificando dos tramos bien definidos. Los datos de posición para cada eje en función de los datos temporales corregidos en base a la ecuación 1, se presentan a continuación:

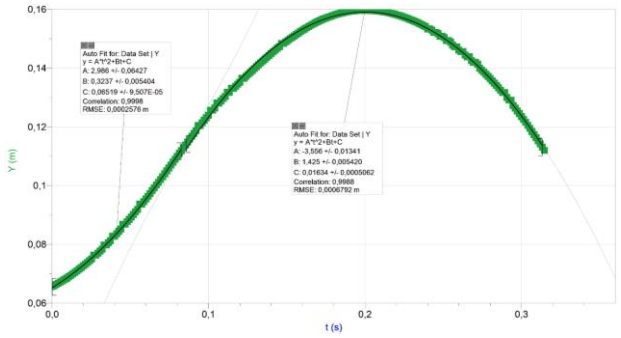


Gráfico 1. *Posición en eje y en función del tiempo.*

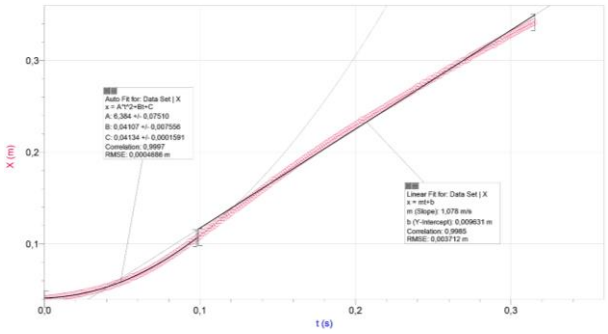


Gráfico 2. *Posición en eje x en función del tiempo.*

A partir de los gráficos obtenidos y la identificación de las fases de impulso y vuelo, se realizan ajustes de curva para obtener ecuaciones parametrizadas que describan las características del movimiento en cada tramo desde un punto de vista cinemático, siendo las ecuaciones para los movimientos rectilíneos de la forma general:

$$r(t) = At^2 + Bt + C \qquad (2)$$

Donde *r* es la posición, *t* el tiempo y los parámetros A, B y C la mitad de la aceleración ($^a/_2$), la velocidad (v_i) y la posición inicial (r_0) respectivamente
La tabla 4 muestra resultados que respaldan nuestras hipótesis de forma bastante aproximada. La aceleración en el segundo tramo tiene solo componente vertical y un valor $a_{(y)} = -7{,}12\ ^m/_{s^2}$, un poco menor que la aceleración gravitatoria medida en la tierra ($g = -9{,}80\ ^m/_{s^2}$). Dato que también concuerda con el modelo teórico. Por su parte, en el primer tramo (impulso), ambas ecuaciones muestran una aceleración positiva.

Tabla 4. Ajustes matemáticos para la posición en función del tiempo, identificando tramos 1) Impulso y 2) Vuelo, para cada eje. Elaboración propia.

Ecuaciones parametrizadas:	
Tramo 1	$x(t) = 6{,}38t^2 + 0{,}041t + 0{,}041$ $y(t) = 2{,}99t^2 + 0{,}324t + 0{,}065$
Tramo 2	$x(t) = 1{,}08t + 0{,}009$ $y(t) = -3{,}56t^2 + 1{,}43t + 0{,}016$

Si se analiza, a partir de los parámetros las condiciones iniciales del salto, más precisamente, la velocidad con la que el anfibio comienza el vuelo, obtenemos para el eje horizontal $v_{(x)\,i} = 1{,}08\ m/s$ y $v_{(y)\,i} = 1{,}43\ m/s$ para el eje vertical. Por tanto, el vector velocidad inicial del salto se calcula como:

$$v_0 = \sqrt{(1{,}08)^2 + (1{,}43)^2} = 1{,}79\ m/s$$

$$\theta = tan^{-1}(\frac{1{,}43}{1{,}08}) = 52{,}9°$$

Figura 4. Captura de video del instante final del impulso

3.3. Análisis y conclusiones

Asumiendo que en la etapa de vuelo las ranas describen un movimiento parabólico de proyectil, es sumamente interesante que a pesar de las aproximaciones ciertamente arbitrarias que se hicieron de calibración, el error porcentual es poco mayor al 25% respecto a la aceleración gravitatoria. No solo es un valor que podría ser relativamente aceptable en otras

experiencias de laboratorio clásicas, sino que permite la discusión sobre la incidencia de rozamientos.[7]

Por otra parte, es necesario aclarar que plantear como objetivo experimental "Determinar el tiempo de reacción de una rana" no es posible en este experimento, ya que "tiempo de reacción" implicaría para la presa detectar el peligro y actuar en consecuencia. Pero sí es posible determinar el tiempo necesario para "alejarse del peligro". Tomaremos ese tiempo como el intervalo temporal entre el reposo y el final del tramo de "impulso", siendo este un $\Delta t = 0{,}092\ s$, determinado a partir del gráfico 2 buscando la intersección de las curvas de mejor ajuste.

Además del relativo éxito de los resultados experimentales, es importante destacar que los estudiantes fueron capaces de identificar los aspectos matemáticos del modelo de movimiento parabólico, definir diferentes fases o tramos del movimiento, determinar aceleraciones y asociar dichos conocimientos a contenidos de la asignatura biología, como la explicación del aparato locomotor de la rana, tanto a nivel esquelético como muscular. Desde biología, los estudiantes pudieron estudiar particularmente la diferencia entre las extremidades anteriores y posteriores de la rana que le permiten realizar saltos que, en algunos casos, pueden superar varias veces su largo corporal. En el caso del salto analizado, el alcance del salto es apenas tres veces su tamaño (ver gráfico 3).

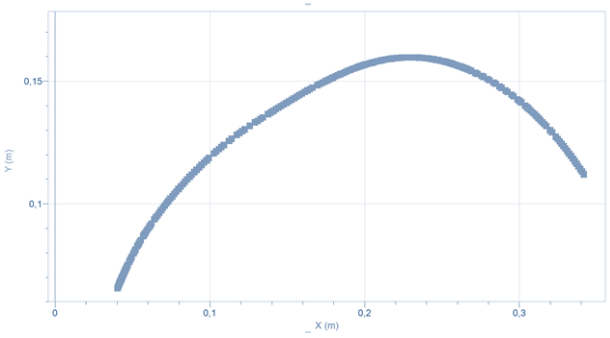


Gráfico 3. *Trayectoria de la rana y=f(x)*.

Para finalizar, destacar que, como ya se ha mencionado, este experimento no solo permite un análisis vectorial respecto a las componentes cartesianas de la velocidad de salto (v_0), sino también la posibilidad de aplicar las leyes de Newton en los diferentes tramos para determinar la fuerza neta aplicada sobre la rana.
Calcular la fuerza media ejercida por la rana para la fase de impulso es posible a partir de la aplicación de la segunda ley de Newton (ecuación 3), teniendo en cuenta un valor de masa estimado para la misma especie de $m=25g$.

$$|F_n| = m.|a| \qquad (3)$$
$$|F_x| = m.|a_x| = (0{,}025)(6{,}38)(2) = 0{,}32N$$
$$|F_y| = m.|a_y| = (0{,}025)(2{,}99)(2) = 0{,}15N$$
$$F_m = \sqrt{(0{,}32)^2 + (0{,}15)^2} = 0{,}35N$$

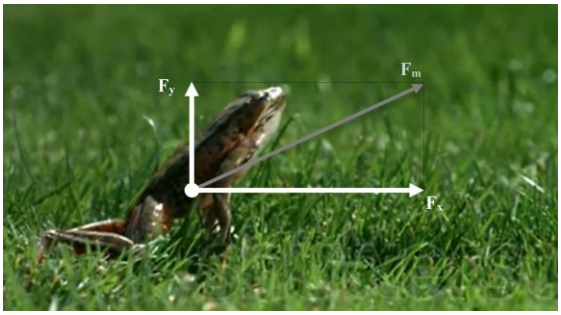


Figura 5. Análisis vectorial de la fuerza neta media aplicada sobre la rana durante la fase de impulso. Elaboración propia.

4. Reflexiones finales

A modo de cierre, e insistiendo con la subjetividad de este trabajo, es pertinente evaluar los aspectos pedagógicos de esta actividad experimental e interdisciplinaria. Por un lado, remarcar el entusiasmo y la motivación de los estudiantes por conocer los resultados del análisis de video y poder contrastar sus hipótesis. Por otro lado, el nivel de comprensión significativa de los movimientos por intervalos que demostró este trabajo interdisciplinario, y la determinación de existencia de aceleración a partir de las curvas de los gráficos de posición en función del tiempo vinculando con las leyes de Newton. Una posibilidad no contemplada por la planificación inicial es el análisis de la fuerza aplicada por la rana sobre el suelo como consecuencia de la determinación de la fuerza neta sobre la rana.

Un aspecto sumamente relevante del estudio del salto de la rana desde una perspectiva interdisciplinaria, es el análisis de la posición del centro de masa del ser vivo a lo largo del salto. Este aspecto tampoco fue contemplado inicialmente en la planificación de la actividad. A medida que avanzaba la indagación biológica respecto al sistema muscular y esquelético de la rana, el centro de masa surgió como un aspecto fundamental. Por cuestiones de coordinación

[7] Al momento de escribir el artículo, entiendo que también habilita a la discusión entre la trayectoria real y la trayectoria modelada de los proyectiles comparando el gráfico 3 con la imagen de la figura 1-k.

entre asignaturas durante el proyecto, no fue posible abordar en el aula la discusión de resultados experimentales tomando las diferentes referencias para el análisis de video: un punto fijo de la rana, como pueden ser los ojos (parte superior de la cabeza) o ubicando el centro de masa según cada tramo (durante el impulso se encuentra desplazado hacia la zona de la pelvis y las patas traseras, mientras que en la fase de vuelo se adelanta hacia la región troncoabdominal).

También destacar que la actividad no toma tiempos pedagógicos muy extendidos en el curso, pero sí exige una coordinación entre asignaturas para lograr el máximo provecho de descubrimiento y construcción de aprendizajes interdisciplinares.

Como último punto, es pertinente sugerir otras posibles aproximaciones a esta actividad como ser otros saltos de otros seres vivos (ejemplo: arácnidos), en función de los ecosistemas que se pretendan trabajar desde la biología y coincidir en las planificaciones; o aplicaciones deportivas en caso de tratarse de un enfoque más orientado a la biología humana (para lo que hay mayor material disponible).

5. Referencias

Astley, H. & Roberts, T. (2014). *Mechanics of elastic loading and recoil in frog jumping [Mecánica de la carga elástica y el retroceso en el salto de los anuros]*. *Journal of Experimental Biology*. Recuperado de https://journals.biologists.com/jeb/article/217/24/4372/12983/The-mechanics-of-elastic-loading-and-recoil-in

Blatt, F. (1991). *Fundamentos de física* (p. 45). Prentice Hall.

Cascadia Films. (2013). *Rana saltando en la hierba a cámara lenta* [Video]. Shutterstock. Recuperado en junio de 2025, de https://www.shutterstock.com/es/video/clip-4661927-frog-jumping-grass-slow-motion

Contenidos Educativos Digitales (CED). (s.f.). *Rana monito*. Recuperado 4 de noviembre de 2025, de https://contenidoseducativosdigitales.edu.uy/contenido/rana-monito/

Diccionario de la lengua española. (s.f.). *Impulso.* Recuperado 27 de octubre de 2025, de https://dle.rae.es/impulso

Dirección General de Educación Secundaria (DGES). (2024). *Programa de Física – 2° EMS*. ANEP Uruguay. https://www.anep.edu.uy/sites/default/files/images/te-programas/2024/2-3-EM/DGES/2do/F%C3%ADsica%202do%20DGES%20EMS.pdf (Consultado el 13 de febrero de 2025)

Hecht, E. (1999). *Física 1: Álgebra y trigonometría* (2.ª ed. p.75). Thomson.

Hewitt, P. (2016). *Física conceptual* (12.ª ed., p. 189). Pearson Education. México.

Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998). *Física general: Con experimentos sencillos* (4.ª ed., pp. 245, 251). Oxford University Press. México.

Open Source Physics. (s.f.). *Tracker (versión web)* [Software]. https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/

Serway, R., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de física* (9.ª ed., vol. 1, p. 56). Cengage Learning. México.

The New York Times. (2018). *How frogs got their vertical leap / Science Take* [Video]. YouTube. Recuperado en junio de 2025, de https://www.youtube.com/watch?v=wxvq4XA5Y5Y

Tipler, P., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología* (vol. 1, p. 78). Reverté. España.

Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007). *Física* (6.ª ed., p. 100). Pearson Education. México.

Washington Department of Fish & Wildlife. (s. f.). *Oregon spotted frog (Rana pretiosa)*. Recuperado el 31 de julio de 2025, de https://wdfw.wa.gov/species-habitats/species/rana-pretiosa#conservation

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria* (12.ª ed., vol. 1, p. 87). Pearson Education. México.

Anexo 1: Análisis cualitativo del salto de la rana

Las siguientes figuras muestran el análisis de video del salto de una rana en la aplicación Tracker recuperado de "*How frogs got their vertical leap /Science take*."

Este video fue dejado de lado del análisis principal por cuestiones de "impacto". Al ser un movimiento que ocurría hacia la izquierda, no coincidía con las demostraciones de movimientos de proyectil más abundantes en la bibliografía disponible. Esto no significa, claramente, que sea menos válido, pero no generaría el mismo impacto visual en los estudiantes.

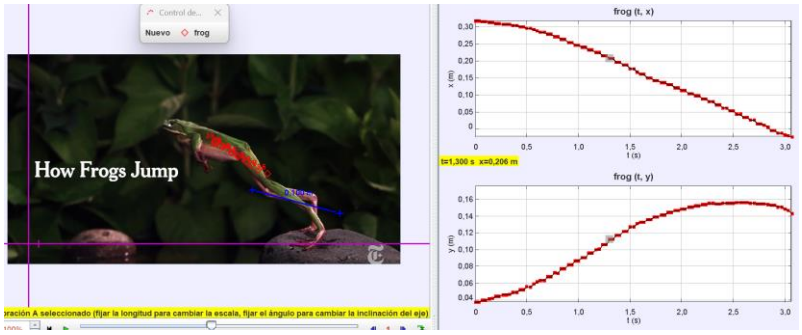
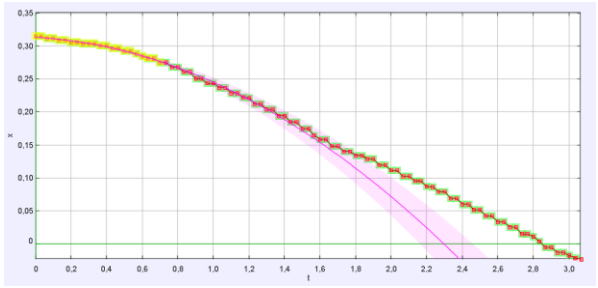
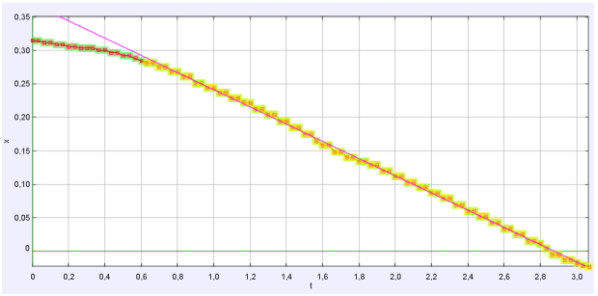


Figura 6. Captura de pantalla de aplicación Tracker. A la derecha los valores de posición para cada eje en función del tiempo en unidades arbitrarias.

Posición horizontal en función del tiempo:

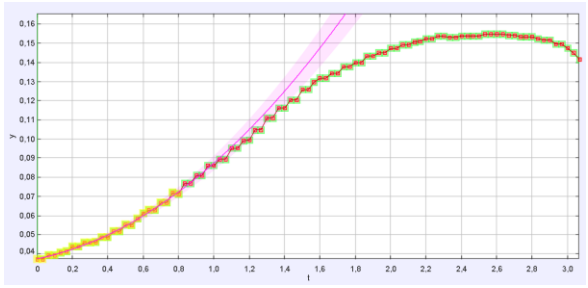


Tramo 1 – Ajuste parabólico.

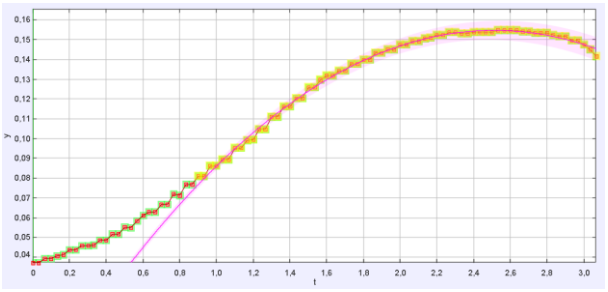


Tramo 2 – Ajuste lineal.

Posición vertical en función del tiempo:

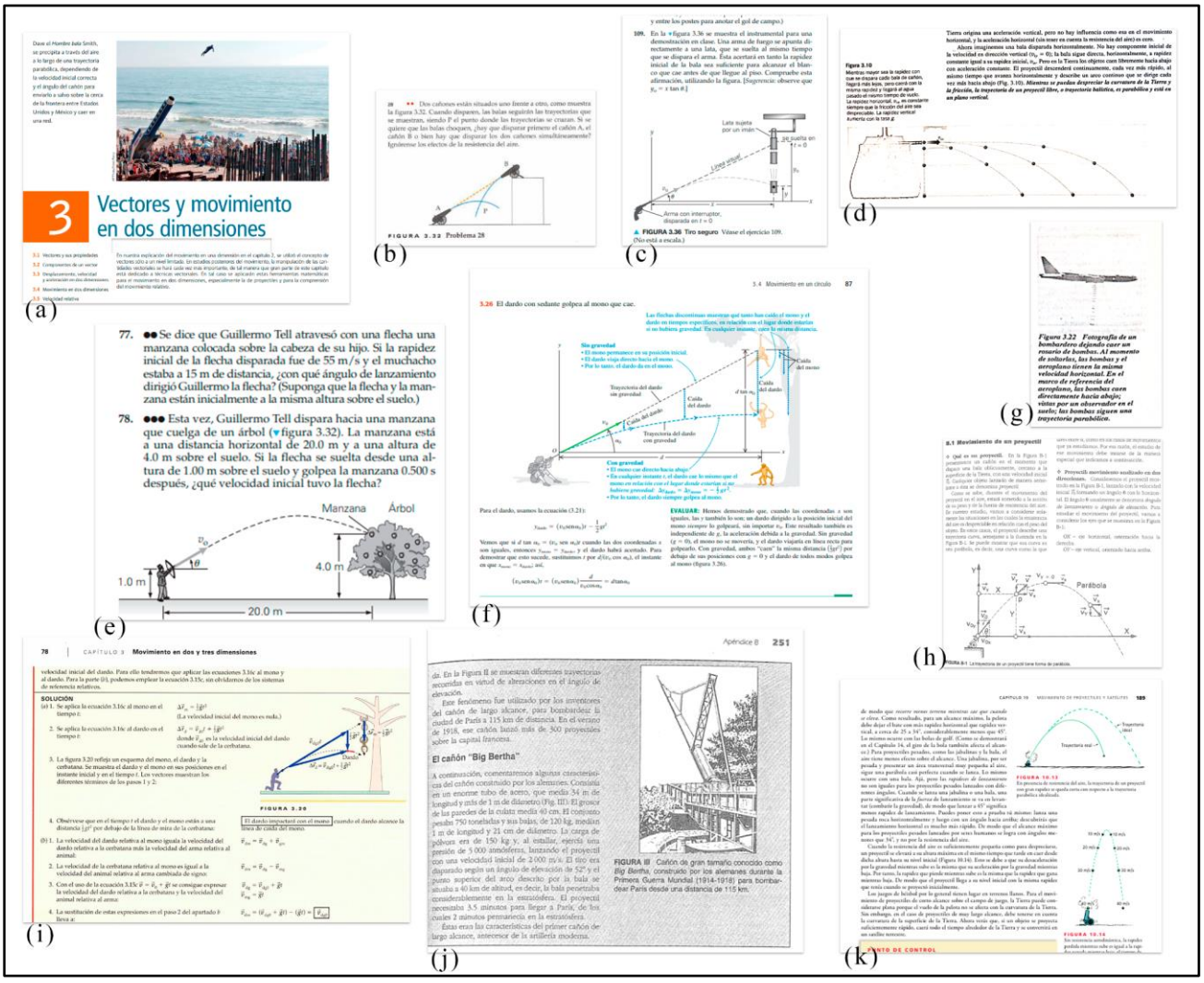


Tramo 1 – Ajuste parabólico.



Tramo 2 – Ajuste parabólico con concavidad de distinto signo.

Anexo 2: Recortes de libros de texto de física vinculados a balística



Elaboración propia.

Referencias de la imagen:

(a) Serway, R., & Vuille, C. (2012): "*Hombre bala*"
(b) Tipler, P., & Mosca, G. (2010): "*Problema con cañones*"
(c) Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007): "*Disparo de revólver*"
(d) Hecht, E. (1999): "*Disparo de cañón*"
(e) Wilson, J., Buffa, A., & Lou, B. (2007): "*Problemas de Guillermo Tell con arco y flecha*"
(f) Young, H., & Freedman, R. (2009): "*Cazador de monos con arma con mira telescópica y dardos*"
(g) Blatt, F. (1991): "*Avión descargando bombas*"
(h) Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998): "*Análisis de bala de cañón*"
(i) Tipler, P., & Mosca, G. (2010): "*Problema de muestra: cazador de monos*"
(j) Máximo, A., & Alvarenga, B. (1998): "*Cañón Big Bertha*"
(k) Hewitt, P. (2016): "*Análisis de bala de cañón"*

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.2

“10 metros llanos”

Una posibilidad de introducir el tema de las medidas y sus incertidumbres desde el deporte.

Fernando Moreno [1]

[1] *Liceo N°35 “IAVA”, Dirección General de Educación Secundaria, Montevideo, Uruguay.*

E-mail: fmfernanmore@gmail.com

(Recibido el 17/10/2025, aceptado el 27/11/2025)

Resumen

Como docentes muchas veces se cuestiona la mejor manera de comenzar nuestros cursos prácticos tratando el tema de las medidas y sus incertidumbres. Se busca que sea de una forma clara y motivadora para nuestros estudiantes y seguramente hay múltiples caminos para lograr ese objetivo.
En este artículo se trata de explicitar una estrategia que involucra al deporte, por lo que puede ser especialmente útil para los cursos que tratan la Mecánica Newtoniana.
La propuesta tiene una modalidad práctica y activa que intenta involucrar a todos los estudiantes del grupo.
Se presenta a continuación una propuesta experimental destinada a motivar a los docentes a implementarla, adaptarla a las características de sus grupos y realizar las mejoras que consideren pertinentes. El objetivo principal es ofrecer una idea inicial que sirva como punto de partida para desarrollar más estrategias que promuevan un aprendizaje más lúdico y significativo.
Se busca con esta actividad que los estudiantes aprendan los conceptos de medida, medida patrón, trazabilidad, medidas directas e indirectas, alcance, apreciación, precisión, estimación, incertidumbres, etc. También las magnitudes desplazamiento, tiempo, velocidad media y velocidad instantánea.

Palabras clave: metrología, medidas, incertidumbres.

Abstract

As teachers, we often question the best way to begin our practical courses by addressing the topic of measurements and their uncertainties. We aim to introduce these concepts in a clear and motivating way for our students, and there are certainly many possible approaches to achieve this goal.
This article seeks to present a strategy that involves sports, making it particularly useful for courses dealing with Newtonian Mechanics.
The proposal has a practical and active format designed to involve all students in the group.
Below, we present an experimental activity intended to encourage teachers to implement it, adapt it to the characteristics of their own groups, and make any improvements they consider appropriate. The main objective is to offer an initial idea that can serve as a starting point for developing further strategies that promote more playful and meaningful learning.
This activity aims for students to learn the concepts of measurement, standard measurement, traceability, direct and indirect measurements, range, resolution, precision, estimation, uncertainties, and more. They will also work with the magnitudes of displacement, time, average velocity, and instantaneous velocity.

Keywords: metrology, measurements, uncertainties.

1. Una carrera recta y corta

A continuación, se presenta una dinámica para atender el tema de las medidas y sus incertidumbres. En ella se incluye la participación activa de los estudiantes mediante una actividad deportiva, buscando a través de lo lúdico un aprendizaje significativo. Esto servirá de base para todo el trabajo experimental que se realice durante el año.

Se plantea al grupo que dos estudiantes del mismo competirán realizando una carrera de 10 metros. Ganará el que recorra esa distancia en menor tiempo. Todos los demás integrantes del grupo (excepto uno) tomarán los tiempos, la mitad para uno de los corredores, la otra mitad para el segundo corredor.

Se escribe "excepto uno" porque dicho estudiante se encargará de la filmación de la carrera. Evidentemente para realizar la carrera habrá que salir al patio o algún pasillo que tenga la medida necesaria.

Se sugiere no adelantar los instrumentos necesarios, ni la unidad de las medidas. Todo esto puede surgir de la discusión grupal. En dicha discusión es conveniente introducir la historia de las medidas, cómo la humanidad fue creando instrumentos y unidades para poder tomar y comunicar el valor de una medida. ¿Qué es medir? ¿Cómo han evolucionado los patrones de las medidas? ¿Qué dificultades se tienen para mantener inmutable un patrón de medida?, ¿Qué es la trazabilidad de un instrumento de medición? etc., pueden ser algunas de las preguntas a responder previo a la competencia.

También es importante mencionar cómo se ha llegado a unificar un Sistema Internacional de Medidas MKSA.

2. Manos a la obra

¿Cómo vamos a medir el desplazamiento de los corredores? Seguramente los estudiantes pidan una cinta métrica, o una regla larga. ¿Es lo mismo tomar una sola medida que ir desplazando el instrumento de medición para después sumar las medidas de las longitudes? Es ocasión de definir el concepto de alcance[1] de un instrumento. Y puede ser este el momento de hablar del concepto de incertidumbre e incluso de la suma de las incertidumbres. ¿Cómo vamos a trazar la línea de salida y de llegada?

¿Tenemos instrumentos para tomar el tiempo de carrera? Seguramente salga naturalmente el cronómetro con que cuentan nuestros celulares. ¿Será mejor en este caso uno que mida hasta la centésima de segundo o hasta la décima? Surge aquí la oportunidad de hablar de la apreciación si no lo hicimos antes con la medida de longitud.

¿Dónde deberá pararse la persona que tenga la voz de salida? ¿Cómo se genera el sonido de largada y dónde se ubica en las pistas de atletismo? Sabiendo que las carreras oficiales se definen por una centésima de segundo, puede con una operación sencilla (sabiendo la velocidad del sonido) reconocerse por qué ya no se hace el disparo de largada de un lado de la pista. ¿Será esto significativo en nuestro experimento de atletismo?

3. "Pronto, listo y ya"

Es momento de la acción. Salen los corredores. Se toman los tiempos y la filmación en la línea de llegada[2]. Entran al salón y en dos columnas se apuntan los tiempos tomados con la correspondiente unidad. Se aprecia que los tiempos para un mismo corredor difieren. ¿Por qué? ¿Qué es el tiempo de reacción? Con dos barreras ópticas unidas a un cronómetro pueden medirse el tiempo de reacción visual.

Quizás es la oportunidad de estimar la incertidumbre de los tiempos tomados y expresarla en el encabezado de cada columna.

¿Quién ganó? Normalmente si llegaron muy próximos depende del tiempo elegido en cada columna cuál es el ganador.

¿Puede ser el tiempo medio el valor más representativo de la medida? Determinarlo para cada corredor.

Determinar la desviación de cada medida respecto al valor medio y determinar la desviación media que puede considerarse como su incertidumbre.

¿Cómo se toma el tiempo en las carreras de pista oficiales? Puede verse algún video explicativo del "Photo finish" como video de alta frecuencia de muestreo.

Allí es posible pasar a la grabación para obtener un tiempo más preciso y apreciar al ganador (es bueno aclarar que se toma como llegada cuando el pecho del corredor llega a la línea final).

1 Todas las definiciones de estos conceptos pueden encontrarse en la bibliografía de referencia.

2 En lo posible se buscará que los corredores lleguen muy próximos a la meta

4. Y llegamos a la velocidad

Por último, podemos pasar al concepto de velocidad. Primero determinando la velocidad media con su correspondiente incertidumbre. Allí saldrá la necesidad de conocer cómo se determina la incertidumbre de una medida indirecta a partir de las incertidumbres de medidas directas.

¿Y si queremos saber la velocidad instantánea al momento de cruzar la meta? ¿Cuál será la mejor manera? Seguramente recurran al video para apreciar el desplazamiento realizado en el intervalo de tiempo más corto posible. Puede utilizarse un software de análisis de video para realizar dicha tarea. Por ejemplo, el Tracker. [3]

5. Conclusiones

El experimento puede ayudar a definir qué es una medida, cómo estas han sido creadas y han evolucionado con el tiempo. Como siempre, toda medida tiene una incertidumbre, ya sea una medida directa o indirecta. En este último caso se considera la incertidumbre de la suma y del cociente. ¿Cómo expresar las cifras significativas de una medida conociendo su incertidumbre?

En la práctica podemos hablar de los conceptos de alcance, apreciación, estimación, precisión, etc. También del valor medio y desviación media.

Se cree que el valor que tiene este experimento viene en la motivación que da la sana competencia y la participación activa de todos los estudiantes, siempre y cuando el profesor lleve la discusión con preguntas interesantes de una forma dinámica y atractiva.

Se espera que, si algún colega prueba esta manera de introducir el tema de las medidas y sus incertidumbres, corrija y mejore esta propuesta.

6. Referencias

Moreno, F. (2015). *Física en el Deporte* 2da Edición. Recuperado de: https://fisica.com.uy/wp-content/uploads/2024/12/FISICA-EN-EL-DEPORTE-F.Moreno.pdf

Taylor, John R. (2014). *An Introduction to Error Analysis. The Study of Uncertainties in Physical Measurements* 2da Edición. Editorial Reverté. Barcelona

3 Tracker es un software libre de análisis de video para enseñanza de la física, desarrollado por Douglas Brown en el marco del proyecto Open Source Physics (https://physlets.org/tracker/).

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.3

El rol articulador de la pregunta en la planificación de problemas abiertos.

Trazando puentes entre la imaginación, el interés y la IA.

María José Parrado[1,2]

[1] *Liceo N°61 "Villa Cosmópolis", Dirección General de Educación Secundaria, Montevideo, Uruguay.*

[2] *Colegio Fátima, Montevideo, Uruguay.*

E-mail: mjparradoberta@gmail.com

(Recibido el 16/10/2025, aceptado el 20/11/2025)

Resumen

Esta propuesta aborda un breve análisis acerca de la necesidad de reformular la enseñanza de las ciencias a través de preguntas fundadoras de problemas auténticos, contextualizados y genuinos, especialmente en el marco de la ubicuidad de la Inteligencia Artificial (IA) en el aula. Se parte de la premisa de que el objetivo no es enseñar a resolver problemas, sino que el estudiantado resuelva problemas con el cometido de aprender; abordando en esta oportunidad la reversión de un ejercicio de respuesta convergente a través de la matemática hacia un problema que requiera de una planificación centrada en la discusión entre pares mediada por el docente y la Inteligencia Artificial.

Palabras clave: inteligencia artificial, educación imaginativa, problemas, ciencia.

Abstract

This proposal addresses a concise analysis regarding the imperative to reformulate science education through foundational questions that underpin authentic, contextualized, and genuine problems, particularly within the framework of the ubiquity of Artificial Intelligence (AI) in the classroom. It proceeds from the premise that the objective is not to teach problem-solving, but rather for the students to solve problems with the aim of learning; this instance specifically tackles the reversion of a convergent-response exercise, conventionally addressed through mathematics, into a problem necessitating a planning process centered on peer discussion, mediated by the instructor and Artificial Intelligence.

Keywords: artificial intelligence, imaginative education, problems, science.

1. La resolución de problemas en ámbitos educativos

Si como docentes buscamos generar un perfil de estudiante que se caracterice por su curiosidad frente al entorno que lo rodea, algunas preguntas pueden guiarnos a la hora de reflexionar sobre nuestras prácticas: ¿estamos generando herramientas/estrategias didáctico-pedagógicas que apunten a ello? ¿O seguimos proponiendo actividades las cuales responden a un modelo que ya no funciona en la coyuntura contemporánea que día a día enfrentamos en nuestras aulas? Existe una gran belleza en la ciencia, pero es nuestra tarea como profesionales de la educación convencer a cada estudiante de ello, porque se trata de una "belleza educada"[1].

De este modo, considerando que la tarea científica intenta de manera intencionada "robarle" secretos a la naturaleza, tal vez sería necesario generar espacios que incentiven al estudiantado a que puedan concretar acciones a través de sus ideas que se parezcan a este quehacer científico. Y sí, nos gustaría convencerles para que, en algún momento, quieran ser científicos/as.

La enseñanza de las ciencias debe estar focalizada en tomar como base la experiencia de quien aprende para luego trabajar sobre ella en diálogo con su entorno con el cometido más superlativo de contrastar una predicción con la evidencia empírica. ¿Esto le interesa al estudiante promedio de Educación Media? La respuesta puede ser no (o es altamente probable que sea negativa) si posee diversas vías de búsqueda para saber si sus ideas son "ciertas o no". Por consiguiente, concierne a la tarea de planificar, el hecho de trazar puentes entre esas representaciones mentales y la forma en que se plantean las actividades de aula a través del diseño de verdaderos problemas auténticos, genuinos y sobre todo, disparadores de curiosidad.

Couso, Izquierdo y Merino (2008) profundizan en lo anterior tomando como base un aspecto muy pertinente en la vida de quien enseña unidades curriculares asociadas a las ciencias y es que "(...)la resolución de problemas es una actividad habitual en el aula de ciencias a la que se dedica una parte considerable del tiempo de enseñanza-aprendizaje." (p.37). Vale la pena profundizar en esta cuestión, entendiendo que los autores definen a los problemas como un "obstáculo" frente a una meta que cualquier persona se proponga, el cual oficia como oportunidad para "hacer algo" distinto o tal vez nuevo, mejor.

¿Qué constituye un problema entonces? Parafraseando a los autores, además de representar un "obstáculo", estos deberían cumplir con ciertos requisitos para que puedan ser catalogados como tal y pongan en marcha un conjunto de conocimientos (conceptuales y procedimentales): **1.** debe existir una pregunta o cuestión que no se sepa y constituya "algo" para resolver, **2.** que motive el deseo e interés de resolverlo y **3.** un desafío (entiéndase que no tenga solución aparente). (Couso, Izquierdo y Merino, 2008, p. 39)

El tercer requisito motiva la discusión de esta presentación puesto que, en la situación que el profesorado se encuentra, las soluciones "parecen aparecer" por todas partes con la integración en el aula de la inteligencia artificial[2]. ¿Cómo se puede diseñar problemas en donde la solución no sea tan fácil de encontrar? ¿Es realmente necesario que resulte difícil encontrar la solución o el problema está en cómo se propone? Pero no solamente aparece la IA, sino también un factor sumamente importante que está asociado al segundo requisito, y es la motivación. ¿Qué puede motivar tanto al estudiante como para que logre no utilizar de "primera mano" la IA? ¿Qué motiva al estudiante que recibimos actualmente en clase? De este modo, se entiende que es clave virar hacia una concepción como refiere Couso et al. (2008) cuando expresa que los problemas deben ser pensados y discutidos con la finalidad de ser resueltos para aprender, evitando "caer en la trampa" de enseñar para que se aprenda a resolverlos.

En este orden de ideas, crear un buen problema exige de buenas preguntas (que sean relevantes y auténticas) y, a su vez, que se traduzca en un reto finalmente alcanzable por parte del estudiantado (asociando así todos los requisitos enumerados precedentemente). Y sí, es un requisito saber generar preguntas que promuevan la autonomía en el proceso de aprendizaje por parte de quien intenta responderlas. Desde la mirada del estudiante pensemos lo siguiente: si no existe un desafío evidente, ¿para qué dedicar energía en dar una solución que puede ser obtenida fácilmente mediante la IA, quien posee un reservorio para la búsqueda y síntesis de respuestas? Si bien la IA no piensa, es capaz de ayudar ampliamente al estudiante en relación a muchos aspectos que antes insumían otros tiempos. Por tanto, es trascendental pensar en el diseño de

[1] Terminología adoptada por el autor Diego Golombek en su libro "La Ciencia es eso que nos pasa mientras estamos ocupados haciendo otras cosas" (2018). Siglo veintiuno editores. Argentina.

[2] Comenzaré a llamarle IA como abreviación de este concepto.

experiencias de aprendizaje alfabetizadoras donde se planifique con mucha atención qué rol decidimos otorgarle como profesionales de la educación a esta nueva herramienta que ingresa a nuestros salones.

Ahora bien, es posible que este tipo de problema (abierto y desafiante) surja con mayor frecuencia en espacios como lo es el laboratorio debido a la separación estructural que el propio sistema educativo promueve al separar las horas de aula en "teórico" y "práctico", aspecto que supone un cambio de contexto no solo edilicio, sino en número de estudiantes y condiciones de trabajo que permiten un seguimiento con más oportunidades para la investigación orientada, pero que resulta incoherente que una simple condición edilicia modifique tan profundamente cómo impartimos la enseñanza.

Gil Pérez et. al (1999) expresa a partir de resultados de investigación y reflexiones didácticas que la separación naturalizada entre teoría, problemas y actividades experimentales no se justifica. De este modo, puede considerarse que el problema siempre es problema si se trata de educar en ciencia, sea en el laboratorio como en un salón de clase.

La concepción que se utilizará durante todo el desarrollo de esta propuesta consiste en que el estudiante debe y necesita resolver problemas para aprender en cualquier ámbito de su vida, y en consecuencia, hace falta modificar la manera en que preguntamos, aspirando a una propuesta que se encuentre fundada en que no existan soluciones a priori, al menos evidentes para quien se enfrenta a tal situación (Gil, Martínez Torregrosa, 1983).

Cambiar la forma de preguntar es realmente posible, pero, ¿cómo motivar al estudiante? ¿qué genera emoción/curiosidad actualmente? La respuesta posiblemente cambie continuamente puesto que el mundo avanza en tal sentido, pero la base para poder generarlas en cualquier tipo de contexto se podría desprender de algunos principios necesarios a considerar al momento de planificar cualquier tipo de problema, como expreso a continuación.

Egan y Judson (2018) entienden que la *educación imaginativa* aborda aspectos como la generación de emociones para abrir caminos hacia la imaginación. Tal afirmación tiene inspiración en el marco teórico de los autores Bullosa et al. (2017), los cuales expresan que "puede enseñarse cualquier materia a cualquier estudiante si empleamos las herramientas que aprovechan sus emociones" (p. 13).

¿Qué se entiende por emociones? Me remito a las palabras del autor Immordino-Yang (2015) para expresar que “las emociones son, en esencia, el timón que dirige el pensamiento.” (p. 28.). Son aquellas que originan los cimientos de la imaginación ya que despliegan interés y, por consiguiente, generan conexiones humanas y emocionales comunes. Las construcciones/representaciones mentales de las personas ocurren como resultado de lo que logran imaginar acerca del mundo que los rodea, utilizando sus capacidades predictivas sobre aquello que puede ser, o no, posible.

¿No resulta muy adecuado tenerlo en cuenta en unidades curriculares de corte experimental en lo que refiere a predecir/construir hipótesis?

Se trabajará con el foco puesto en enfatizar y abordar un problema en que se pueda percibir sintiendo y pensando, de acuerdo a la sigla que denomina al estudiante como “perfinkers[3]”. (Bullosa et al., 2017, p. 14). La finalidad es entonces, modificar el contexto de aula entendiendo que dicho cambio no solamente hace referencia a las disposiciones materiales sino también al intercambio y puesta en común de pensamientos e imágenes mentales, en colectivo, y sin esperar una respuesta única y verdadera, sino dando apertura a un abanico de herramientas cognitivas que se ponen en juego para resolver, valga la redundancia, un problema.

La búsqueda de la verdad en las grandes ideas o teorías que explican cómo funciona la sociedad, el gobierno, la cultura o la naturaleza, aflora a través de las certezas; siendo este fenómeno el encargado de asegurar la intelectualidad y así lograr expresar una postura personal, es decir, la metanarrativa en este contexto es clave para la introducción paulatina posterior de anomalías o limitaciones de los esquemas generales presentados (Bullosa et al., 2017, p. 16). A su vez, la imaginación no es algo innato o característico de algunas pocas personas, sino que se trata de una habilidad para pensar sobre lo posible que no se encuentra aislada o disociada de la racionalidad puesto que responde a la capacidad que tiene de potenciar la misma, estrechamente ligada al poder que tienen los individuos de formar imágenes mentales vinculando emociones.

A partir de la corriente que acerca Egan (2000), en las secciones siguientes se propone el replanteo de un problema sobre Leyes de Newton donde la herramienta cognitiva implementada respecto a la comprensión romántica será el *sentido de realidad* para la manifestación de ideas previas y posturas implicantes y,

[3] Palabra que no tiene traducción al español ya que Kieran Egan la inventó en inglés para detallar las acciones mencionadas en el cuerpo de texto. Las palabras unificadas en el término son “perceive”, “feeling” y “thinking” que significan percibir, sentir y pensar.

en cuanto a la comprensión filosófica, se dará el paso a la *seducción de la certeza* y *búsqueda de la autoridad y la verdad* a partir de la profundización académica formal del contenido ya conocido por el estudiante de cursos anteriores, complementándose con la oportunidad de enriquecer su postura argumentada en un nivel superior. Se detalla a continuación, cada herramienta cognitiva mencionada:

Comprensión romántica

Sentido de realidad

Esta herramienta cognitiva tiene por foco la necesidad de lograr en el estudiantado una mirada crítica y profunda sobre la relevancia práctica y real de los conocimientos que se encuentra adquiriendo, no solamente por el desarrollo cognitivo que implica tal proceso sino también por su impacto que conlleva el logro de la triangulación entre lo teórico, el mundo real y sus propias vidas.

Ejemplos de implementación en el aula podrían ser actividades pensadas con la finalidad de que los/as estudiantes compartan experiencias personales asociadas a la temática presentada por el/la docente, estudios de casos reales que evidencien explícitamente el uso de un cierto conocimiento para resolver/explicar diversos problemas/situaciones o también, llevar a cabo proyectos que tengan un verdadero impacto de lo aprendido en la comunidad/sociedad.

Comprensión filosófica

Búsqueda de la autoridad y la verdad

Su foco se encuentra en investigar conocimientos de manera formal y académica para validar/refutar a partir de fundamentos, ciertos conocimientos o posturas. Esta actitud supone, por ejemplo, la búsqueda de fuentes fiables, la evaluación crítica de la información adquirida u obtenida así como también la lectura crítica y estudio de cualquier dato obtenido a partir de información real.

Algunos ejemplos de abordaje podrían ser las actividades experimentales donde se contrastan datos obtenidos de la realidad con algún marco teórico de referencia, la comparación de diferentes fuentes de texto para extraer conclusiones o la síntesis de diferentes fuentes para dar respuesta a una pregunta de investigación que requiere de más de un campo de conocimiento para ser resuelta.

2. ¿Resolver problemas como excusa para el aprendizaje?

El ejercicio que se toma como base se detalla a continuación[4]:

> *"Lucía mueve un sillón aplicando una fuerza horizontal de 200 N a una velocidad constante de 3.0 m/s. Por lo tanto, la fuerza de rozamiento para mover el sillón vale:*
> *□ 0 N □ 66.6 N □ 200 N □ 600 N"*

Este tipo de ejercicio es muy común encontrarlo en las propuestas de los profesores de Física (incluyéndome), el cual supone una respuesta cerrada y única, además de explicitar absolutamente todas las condiciones/suposiciones. ¿Qué modelo construye quien lo resuelve si la consigna implica seguir una serie de instrucciones claras y concisas? La peculiaridad se encuentra en que la persona que lo intentará resolver no necesita mucho más que buena habilidad para operar matemáticamente y un nivel de desempeño mínimo en relación al conocimiento sobre la disciplina. ¿A qué me refiero con esto? A que la persona se encuentra tan guiada que nunca se sentirá perdida, porque para que exista un problema, el sentimiento inicial debe ser éste, sin que se vuelva paralizador o bloqueador de la motivación por completo (a esto nos referimos anteriormente al afirmar que debe implicar un reto alcanzable).

La tarea fundamental y más interesante de enseñar ciencia es hacerlo con ciencia y, esto implica, proponer a cada estudiante problemas que requieran de procesos mentales tales como: hacer suposiciones, tomar decisiones, construir un modelo que pueda ser probado empíricamente, discutir posturas y argumentar a partir de ellas. Después de todo esto, ahí se debe de incorporar la matemática. Es como un divorcio temporal para poder encontrarnos con la Física. Usualmente, el estudiantado se queja de "los problemas con letras" y solicita constantemente "que aparezcan números", pero la causa de tal asunto recae en que tal vez, no se les está dando la oportunidad de trabajar diferente, desde el momento en

[4] El mismo fue brindado por un colega, en acuerdo de ser trabajado y divulgado.

que se encuentran por primera vez con un problema en ciencias.

Ahora bien, ¿cómo se podría replantear dicha situación para abrirla hacia el pensamiento que se propone? Una posible pregunta que convierte el ejercicio[5] anterior en un problema podría ser:

> *"Lucía está moviendo un sillón de un lado a otro de su living y se siente muy cansada porque ya estuvo arreglando otros sectores de su casa. ¿Cómo puedes ayudarla para que lo haga de la forma más fácil posible?"*

Una muy buena dinámica de abordaje para este problema podría ser: **1-.** proponerlo de manera individual para dar espacio al diálogo introspectivo, **2-.** llevarlo a la discusión en parejas solicitando argumentos con base sólida (entiéndase disciplinar), **3-.** sumar un integrante a la discusión: la IA y finalmente, **4-.** debatir en plenario sobre todas las posibles respuestas que nacen de cada equipo (explicitando de manera fundada qué aspectos consideraron sumar para el argumento final y cuáles descartaron), agregando tal vez una formalización matemática (como última instancia).

¿Qué es lo valioso de este tipo de propuesta? Que el estudiante pase por diferentes etapas en las cuales se percibe en la emergencia de construir un nuevo conocimiento sin recurrir como primera opción al uso de la IA (o de varias), fomentando así una instancia inicial "desierta" que poco a poco se convierte en certezas para poder lograr así un argumento que conforme al modelo seleccionado (incluso el modelo puede no ser único e ir mutando en la medida que se desarrollan los intercambios). Por otra parte, en discordancia con la propuesta cerrada, no tendría por qué terminar siendo un problema enfocado de Primera Ley de Newton (habría que discutir en qué condiciones o bajo qué consideraciones podría cumplirse), sino por ejemplo oficiar de disparador para abordar la Segunda Ley de Newton ya que "entran" en juego factores experienciales a la hora de responder una pregunta tan abierta.

El problema reformulado fue ingresado en tres inteligencias artificiales (DeepSeek, Gemini y chatGPT) para evaluar sus respuestas sin repreguntar:

a-. la primera (DeepSeek) otorga una explicación sumamente cualitativa que no posee a primera vista fundamento teórico formal y su resumen dice lo siguiente:

"Lucía, no lo levantes. El mejor consejo es que consigas un par de felpudos viejos o mantas, los pongas debajo de las patas del sillón y lo deslices empujando con las piernas y la espalda recta. Si puedes, quítale los cojines primero para aligerarlo. Y, sobre todo, si hay alguien que te pueda ayudar, aunque sea un minuto, ¡llámalo! Entre dos personas es mucho más fácil y evitas que te canses o te lastimes la espalda."

No parece ser explícito, pero con una discusión colectiva hay enunciados que permiten generar nuevas preguntas tales como: ¿por qué un felpudo bajo las patas del sillón aportaría a que "deslice" mejor?, ¿qué quiere decir cuando manifiesta que con dos personas la tarea será más fácil? Incluso, se podrían originar intercambios muy interesantes y enriquecedores con perspectivas de ser abordadas de forma interdisciplinaria al referirse, por ejemplo, sobre posturas específicas en relación a las piernas y espalda.

b-. La segunda y tercera, comparten características con la anterior, pero como las uso a diario, poseen memoria y la respuesta es dirigida hacia mi perfil frecuente de pregunta; sus resúmenes son:

"Lo más fácil es reducir la fricción usando algo para que el sillón se deslice. Coloquen trozos de tela, toallas o deslizadores debajo de las patas y empujen usando la fuerza de las piernas y no de la espalda."

"Lo más fácil sería usar algo que reduzca la fricción (como telas o cartones) y no hacerlo sola si ya está cansada."

Para estos resúmenes, se incorporan otras cuestiones explícitas como reducir la fricción (dejando de manifiesto con qué materiales podría lograrse), pero limitando expresamente la situación a un proceso donde el mueble es arrastrado (al caso anterior puede suponer lo mismo, pero no lo hace de manera directa).

El análisis realizado anteriormente tiene por objetivo detallar algunas respuestas que, podrían modificar la secuencia didáctica en aspectos de implementación de la IA en lo que refiere a la instancia de

[5] Existen numerosas investigaciones sobre la diferencia entre "ejercicios" y "problemas" pero no es lo que compete abordar en el presente artículo, lo que no significa que sea un gran asunto a definir para los educadores que trabajan con estos a diario.

trabajo número 2[6], siendo el abanico de posibilidades muchísimo más amplio, por ejemplo: que cada dupla utilice una IA diferente generando una implicación por parte de cada estudiante más comprometida y personalizada, o también, que utilicen más de una y comparen como tarea metacognitiva en cuanto a generar conciencia sobre su uso.

Este breve compendio que pone sobre la mesa las distintas IA utilizadas (existen muchas más[7]) lleva a concluir que no solamente es necesario generar buenas preguntas a nuestro estudiantado, sino que también este debe lograr hacerlo cuando realizan actividades orientadas a la investigación/búsqueda de información puesto que, ocasionalmente, se debe repreguntar si no se otorga un contexto adecuado en función de la respuesta que se desea recibir. Este matiz presentado, motiva ampliamente a discutir socráticamente en nuestras prácticas cotidianas sobre cómo construir lo que se denomina "**PROMPT**" para optimizar el tiempo de trabajo en cualquier IA, chatGPT lo define así:

"Es una instrucción o entrada que se da a un sistema de inteligencia artificial para que genere una respuesta"

Existen tipos y estructuras diversas en relación a cómo diseñar prompts (la propia IA puede ilustrarnos sublimemente al respecto) y esto permite al estudiante situarse en alguno de ellos para repreguntar a la IA de manera dirigida, contextualizada e intencional. ¿Qué cambia entonces? Quien guía la clase no otorga tales directrices (en su sentido amplio), sino que es el propio estudiante quien traza su camino para descubrirse en el conocimiento. Esta idea podría parecer poco relevante, pero, no lo es. Cuando las preguntas que ofrece el docente son convergentes (aquellas que buscan una única respuesta que suele ser correcta y específica) pone al estudiante en una situación de necesidad de acertar. Sin embargo, al generar preguntas de corte abierto o divergentes, cada persona dentro del aula se encontrará en un clima de clase que invita implícitamente a la multiplicidad de respuestas y cada individuo necesitará de un despliegue de diferentes habilidades, herramientas cognitivas y conocimientos que abrirán las puertas al debate y la discusión colectiva.

En la medida que la situación que se proponga sea aún más contextualizada a la vida cotidiana del grupo-clase, dará mejores resultados respecto de sus posibilidades de imaginar y por tanto, predecir. La habilidad denominada como "imaginación" es una forma de idear aquello que podría ser posible, y resulta muy acertado fortalecer tal competencia en disciplinas como la Física que tiene por tarea central la predicción al encontrarse en el conjunto de aquellas denominadas como "experimentales".

3. ¿Problema resuelto?

Este artículo intenta ilustrar una posible reversión de un ejercicio típico cerrado hacia un problema abierto acorde a lo que el estudiantado disponga, con el cometido de poner en debate el formato de enseñanza de la Física a través de una herramienta de trabajo típica como lo son los ejercicios matematizados y las situaciones problematizadoras contextualizadas. ¿Cómo se podría hacer este pasaje? ¿La solución es "abrir" los problemas como condición para ello? No, valga la redundancia, la idea es convocar a la ampliación de esta discusión desde una mirada donde el foco no sea enseñar a resolver problemas, sino proponer problemas que su resolución traiga como efecto un aprendizaje.

Parafraseando a Couso et al. (2008), no aumenta la competencia y el conocimiento por el simple hecho de haber podido concretar la resolución de un problema si detrás de este no hubo un aprendizaje significativo. Una de las características más importantes a la hora de pensar en ellos es que deben suponer la autonomía del estudiante para ser resuelto y que, a su vez, implique un reto alcanzable para quien se propone hacer un recorrido a partir de este.

Al mismo tiempo, el ejemplo que se trabaja apela a poner en diálogo únicamente la forma de presentación al estudiante, abriendo las puertas a la interpelación que conllevan cuestiones tales como qué preguntar buscando dar espacio a la educación imaginativa, donde el/la estudiante también sea capaz de poder construir preguntas para con la respuesta, dar paso al conocimiento. Como sostienen García y Furman (2014), "la formulación de preguntas de investigación es una capacidad central del pensamiento científico", y esto es lo que se pretende lograr cuando referimos anteriormente a educar en relación a la "belleza" de la ciencia.

¿Es necesario hacer un sondeo de los intereses de cada estudiante o resulta imposible motivar a todos/as por igual? ¿Resulta pertinente presentar contextos desconocidos para aumentar el acervo cultural de nuestra población estudiantil o son causal para la

[6] Mencionado en párrafos anteriores acerca de cómo sumar esta nueva herramienta en el aula.

[7] Por ejemplo "Claude" y si le consultas a cualquier IA puede sugerir más opciones.

desmotivación y abandono inminente? ¿Cómo se puede mediar entre "lo nuevo" y "lo necesario"?

Sintetizando, los problemas que se presentan en las aulas, muchas veces, son un problema. Por eso, cambiar la filosofía en relación a la propuesta requiere de un desafío en cuanto a generar preguntas pertinentes al planificar problemas de aprendizaje abiertos, lo que permitirá comenzar a conectar nuestras intenciones de educar futuros/as científicos/as con la puesta en práctica de ello. En este contexto, el desafío que le concierne al profesor consiste en lograr que sus estudiantes ponderen por sobre sus habilidades matemáticas para dar respuestas de corte cerrado, su progreso en lo que refiere a la capacidad de construir de manera autónoma suposiciones/hipótesis/predicciones que pongan (o puedan poner en instancias posteriores) a prueba empíricamente un modelo definido para cualquier problema que se les presente (con sus condiciones iniciales y restricciones que eso implica). La ciencia se enseña con ciencia. Y la curiosidad se siembra con preguntas.

4. Referencias

Bullosa, P.; Judson, G.; Acuña, S.; Grimaldo, A. (2017). Educación imaginativa. Una aproximación a Kieran Egan. Ediciones Morata S.L.

Couso, D., Izquierdo, M., Merino-Rubilar, C. (2008). La Resolución de Problemas. En A. Gómez, C. Merino & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Áreas y estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 59-82). Servei de Publicacions de la UAB.

Egan, K. (2000). Mentes educadas. Cultura, instrumentos cognitivos y formas de comprensión. Editorial Paidós.

Egan, K. y Judson, G. (2018). Educación Imaginativa. Herramientas cognitivas para el aula. NARCEA, S.A. Ediciones.

García González, S. M., Furman, M. G. (2014). Categorización de preguntas formuladas antes y después de la enseñanza por indagación. *Praxis y Saber*, *5*(10), 75-91.

Gil Pérez, D., Carrascosa Alís, J., Martínez Terrades, F., Valdés Castro, P., & Salinas, J. (1999). El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimientos. *Revista Educación y Pedagogía*, *11*(25), 13–65.

Gil Pérez, D. y Martínez Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.

Immordino-Yang, M. H. (2015). Emotions, Learning, and the Brain: Exploring the Educational Implications of Affective Neuroscience. Ediciones W.W. Norton & Company.

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.4

La utilización de la historia de las ciencias como recurso de enseñanza activa.

Emilio Viera [1,2]

[1]*Liceo N°1 "Presbítero Mariano Soler", Dirección General de Educación Secundaria, San Carlos, Maldonado, Uruguay.*
[2]*Instituto de Profesores Artigas, Consejo de Formación en Educación, Montevideo, Uruguay.*

E-mail: emilio.viera.1982@gmail.com

(Recibido el 28/10/2025, aceptado el 26/11/2025)

Resumen

En este artículo se analizan algunos aspectos subestimados en la enseñanza de las ciencias: la concepción de ciencia y de modelo científico que se transmiten en los procesos de enseñanza, y su impacto en la motivación de los estudiantes. También se analiza la visión de conocimiento científico que se modela en el aula y cómo repercute en la concepción de los estudiantes. Se plantea el uso de la historia de la ciencia como un recurso capaz de promover en los estudiantes una visión de ciencia más cercana a la real: por medio del análisis de casos históricos los alumnos pueden comprender cómo funciona la ciencia y cómo produce su conocimiento. Este enfoque estimula la reflexión sobre los modelos científicos, sus características y limitaciones, a la vez que permite contextualizar socialmente el trabajo científico. Con el objetivo de que este trabajo promueva la reflexión sobre este enfoque de enseñanza, se discuten sus limitaciones y se incluyen ejemplos de casos históricos y recursos de libre acceso.

Palabras clave: Historia de las ciencias, metodologías activas, modelos científicos.

Abstract

This article analyzes some underestimated aspects of science education: the conceptions of science and scientific models transmitted in teaching processes, and their impact on student motivation. It also examines the view of scientific knowledge modeled in the classroom and how this influences students' understanding. The article proposes the use of the history of science as a resource capable of fostering a more realistic view of science in students: through the analysis of historical cases, students can understand how science works and how it produces knowledge. This approach stimulates reflection on scientific models, their characteristics, and limitations, while also allowing for the social contextualization of scientific work. To encourage reflection on this teaching approach, the article discusses its limitations and includes examples of historical cases and open-access resources.

Keywords: History of science, active methodologies, scientific models.

Introducción

La IV Encuesta Nacional de Percepción Pública de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimientos realizada por ANII (Agencia Nacional de Investigación e Innovación), durante el año 2021 arroja varios resultados particularmente llamativos: el interés por temas científicos en la población alcanza el 17%, y un 37% considera estar informado sobre cuestiones científicas. De las personas que se encuentran desinformadas sobre temas científicos, el 83 % lo está por falta de interés en estos temas (Monteiro, L., Reyes, C., & Usher, X., 2023). Estos resultados son llamativos porque vivimos en una sociedad global con un alto nivel de desarrollo científico y tecnológico, debido a que la población en nuestro país tiene acceso a formación científica durante gran parte de su escolaridad. Este desinterés promueve el desarrollo de posturas anticientíficas como las observadas durante la pandemia, donde se manifestó un alto índice de desconfianza hacia las ciencias.

Según Gellón, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M., & Golombek, D. (2018), esto se produce porque "*Los estudiantes llegan a comprensiones superficiales y frágiles, cuando no francamente erróneas, de las ideas científicas…la educación tradicional en el aula ignora casi por completo el proceso de generación de las ideas, enfocando su atención casi exclusivamente en el producto final de la ciencia"*. Esta afirmación permite cuestionar qué es lo que se enseña en las aulas. Los productos de las ciencias son importantísimos y necesarios para la educación científica de los alumnos, pero si solo se muestra esa cara de la ciencia (la ciencia como producto), se está omitiendo la parte más interesante y potente de las ciencias: las preguntas que dieron origen a las investigaciones, cuáles eran los problemas que querían resolver, qué decisiones tomaron los científicos para resolver estos problemas, cuáles fueron las controversias, discusiones y acuerdos en la comunidad científica. En otras palabras, se está omitiendo mostrar a la ciencia como proceso (Furman & Podestá, 2024), y es en ese proceso donde los alumnos pueden entender la generación del conocimiento científico, y entender que la ciencia es más que un conjunto de datos e información.
Entender a la ciencia como un proceso permite además comprender el papel de los modelos científicos como el motor de la actividad científica (Adúriz-Bravo, A., 2001), ya que son los modelos los que dan sentido a los datos permitiendo explicar, predecir y comunicar fenómenos.

El ejemplo más famoso es el experimento de Michelson y Morley (Michelson, A. A., & Morley, E. W., 1887), que intentaba medir la velocidad de la Tierra en el "éter luminífero". En el modelo de la época de Michelson y Morley la luz necesitaba de un medio para propagarse como cualquier otra onda. El resultado nulo del experimento, puso en duda el modelo, que fue reemplazado paulatinamente por el modelo propuesto por Albert Einstein al postular su teoría de la relatividad especial. En el modelo propuesto por Einstein, la luz no necesita de un medio para propagarse y su velocidad es constante para todos los observadores (Einstein, A., 1905). Este ejemplo muestra en forma clara cómo un conjunto de datos puede tener diferentes interpretaciones según el modelo.

En este punto, es posible preguntarse cómo repercute la concepción de ciencia que se transmite en las aulas. La respuesta puede ser alarmante: la concepción y visión de la ciencia de los alumnos, se empobrece después de cursar asignaturas científicas como Física (Suárez et al., 2021). Aunque paradójico, los alumnos después de finalizar sus estudios de ciencia, tienen una visión más empobrecida del proceso científico, de la ciencia en general, y de la vinculación entre la ciencia y el mundo real. Entendiendo a la ciencia como una colección de datos, fórmulas y leyes, no resulta necesario desarrollar un pensamiento de orden superior para entender la misma, y consideran el aprendizaje de la ciencia en forma puramente memorística (Suárez et al., 2021).

Esta concepción sobre la ciencia y de cómo aprenderla contrasta con las intenciones de los docentes, quienes aspiran a desarrollar habilidades de pensamiento superior en sus estudiantes. Pero como indican Gellón y Furman (2011), los alumnos no aprendieron lo que los docentes estiman y se acostumbran a no comprender o a comprender a medias. Otros autores como David Perkins afirman que "*Los alumnos aprenden un saber superficial, fragmentado y poco relevante*", aprobando sus cursos desarrollando el "*oficio"* de estudiantes (Perkins, 1997) . Los autores Ron Ritchhart, Mark Church y Karin Morrison van más allá en sus afirmaciones sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje que se produce en las aulas, al referirse a la postura de los docentes expresan: "*Él sabe que sus estudiantes realmente no comprenden lo que se les está enseñando, pero dentro del paradigma educativo de ofrecer información, se enfoca en cubrir el contenido para el examen y mantiene el pensamiento de sus estudiantes invisibles, con la ilusión de que los resultados de una prueba sean evidencia de sus aprendizajes"* (Ritchhart et al., 2014).

Con la intención de aportar un marco de reflexión sobre cómo transmitir en las clases de ciencias una concepción de ciencia como proceso, más cercana la ciencia real, se argumenta en favor de la utilización de un enfoque de enseñanza activo, basado en la enseñanza de las ciencias por medio del estudio de pasajes históricos,

vinculados a la historia de las ciencias, cuidadosamente elegidos.

Se discutirán los pro y contra de este enfoque de enseñanza, utilizando diferentes ejemplos y analizando diferentes recursos ya existentes, con la convicción de que puede ser una herramienta interesante para incluir en nuestro bagaje de recursos didácticos.

La ciencia como producto y como proceso.

"*La religión es una cultura de fe;*
la ciencia es una cultura de duda."
Richard Feynman

Considerando que se está realizando la introducción a un nuevo tema, surge la pregunta de cómo realizar la misma. ¿Se debe explicar el concepto directamente, analizar sus implicaciones o debe contextualizarse? Por ejemplo, al enseñar el espectro electromagnético es posible abordar la relación entre la frecuencia y la energía de cada parte del espectro, la peligrosidad de cada tipo de radiación o incluso sus aplicaciones en la vida cotidiana: celulares, rayos X, microondas, etc. Esta postura, lejos de estar equivocada, muestra solo una parte de la ciencia: muestra a la ciencia como producto (Furman & Podestá, 2024), y puede llevar a los alumnos a una concepción de ciencia equivocada donde vean al conocimiento científico como un conocimiento formado, estático e inmutable. Y ante esta concepción de ciencia, no resulta necesario desarrollar una actitud crítica ante el aprendizaje (Suárez et al., 2021).

Con este enfoque se omite un aspecto interesante y estimulante de la ciencia: el proceso creativo de cómo se llegó a ese conocimiento, los problemas que surgieron y hasta las controversias que ocurrieron entre los científicos en el proceso. Por ejemplo, un alumno curioso podría cuestionarse: ¿cómo se descubrió todo esto? ¿Cómo la humanidad descubrió que la luz es una onda, la existencia de diferentes tipos de ondas o la forma en cómo la luz interactúa con la materia? Al analizar este aspecto de las ciencias estamos analizando a la ciencia como un proceso (Furman & Podestá, 2024), siendo el aspecto más interesante y rico de su desarrollo. Por ejemplo, para poder estudiar el descubrimiento del espectro electromagnético, y sus implicaciones, se podría recorrer el camino trazado por Isaac Newton, William Herschel, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen entre otros, para descubrir cuáles fueron las preguntas que se hicieron, los experimentos que idearon, las críticas que recibieron, los conflictos y los acuerdos con otros científicos[1]. Esta postura permite analizar que la ciencia es una actividad colectiva, donde la curiosidad, la creatividad y el pensamiento crítico trabajan aunadas para poder entender la naturaleza, y es llevada a cabo por personas que tienen ideas, creencias y posturas muy diversas.

Cómo se construye el conocimiento científico.

"Lo bueno de la ciencia es que es cierta,
creas o no en ella."
Neil deGrasse Tyson

La visión del científico solitario, en bata blanca, en un laboratorio realizando ciencia individualmente, es un mito. Si bien han existido casos de científicos que han desarrollado ideas en forma aislada, la realidad, sobre todo en los últimos siglos, es que la ciencia se caracteriza por ser una construcción social. Los científicos trabajan en equipos, colaboran con otros científicos, y el proceso de producción científica se identifica por la revisión permanente y exhaustiva por parte de pares de todos los trabajos que aspiran a ser publicados. En muchas series o películas muestran a un científico que observando algunos datos es capaz de llegar a un resultado imprevisible en contra de todo el cuerpo de teoría, y obviamente al final tiene razón. Esta visión simplista y reduccionista de la ciencia, y del papel de las observaciones, desconoce la complejidad y riqueza del proceso de investigación científica. Por un lado, muestra a una persona que parece "saberlo todo", y sobre la base de una serie de observaciones (que pueden estar realizadas con sus sentidos), es capaz de generar un modelo a través de diferentes procesos mentales, en lo que constituye una visión aristotélica del conocimiento. Esta visión refleja la mitificación existente con respecto a los genios y desde los libros de texto o en las clases se promueve, al hacer referencia que determinadas ideas o conceptos fueron desarrollados por determinado científico y desconociendo el aporte de sus colegas. Cuando se enseñan las leyes de Newton o de Maxwell, ¿cuántas veces se discute las aportaciones de sus predecesores o contemporáneos? Esta concepción genera la impresión de que la ciencia es sólo accesible a un puñado de genios que pueden entenderla (Solbes & Traver, 2001).

También es común escuchar en diferentes propagandas que algo "está probado científicamente",

[1] La discrepancia entre Christian Huygens e Isaac Newton, por ejemplo.

brindando una visión del conocimiento científico como un hecho absoluto o inmutable[2]. Cuando se dictan clases magistrales (exclusivamente), y se desarrollan elegantes y complejas demostraciones se transmite una visión del conocimiento científico que refuerza estas concepciones y omite toda la riqueza del proceso científico: ¿Qué problemas buscaban responder los científicos? ¿Qué preguntas se hicieron? ¿Sus hipótesis fueron correctas? ¿Qué experimentos idearon y realizaron? ¿Qué dificultad tuvieron para realizarlos? ¿Cómo recolectaron los datos?, son algunas de las preguntas que no se realizarán los alumnos. En este enfoque, se desconoce además un elemento fundamental del proceso de producción científica (y del proceso de aprendizaje y enseñanza): se ignora el papel del error. Algo similar ocurre con las actividades experimentales cuando solo se busca repetir un resultado conocido de antemano, atribuyendo de esta forma un valor desproporcionado a los experimentos con respecto al cuerpo de teoría que le dan significado (Solbes & Traver, 2001).

Modelos científicos.

"*No hay nada nuevo que descubrir en física ahora. Solo falta una medición cada vez más precisa.*"
Lord Kelvin[3]

Un aspecto frecuentemente olvidado en el proceso de enseñanza de las ciencias, es la concepción de modelo científico que transmitimos. El ejemplo clásico de esto es la aceleración gravitatoria, siendo común escuchar la historia de la manzana cayendo en la cabeza de Newton[4] y este descubriendo la aceleración gravitatoria. Antes de la formulación de la ley Universal de Gravitación de Newton, Johannes Kepler había utilizado los datos recabados por su antecesor Tycho Brahe para explicar el movimiento planetario, ajustando los datos a un modelo matemático. Este modelo, podría explicar las observaciones del movimiento planetario y predecir el semieje de los planetas conocido su periodo de traslación. Este modelo era un modelo *ad hoc* y carecía de un aspecto importante de todo modelo: no solo debe poder explicar las observaciones, debe poder realizar predicciones (Gellón, 2019). El modelo desarrollado por Newton permitió explicar todas las observaciones y predecir en forma precisa toda una serie de fenómenos: la caída de los cuerpos sobre la superficie terrestre, la traslación de la Luna, el movimiento planetario y de los cuerpos menores del Sistema Solar, y hasta la existencia de Neptuno. Como todo modelo, el de Newton también tuvo limitaciones, por ejemplo, no fue capaz de explicar el movimiento de Mercurio [5]. Sin mencionar que cuando presentamos un modelo y no analizamos sus limitaciones volvemos a reforzar la visión de ciencia estática y que no hay nada nuevo que descubrir (como se menciona en la cita introductoria a esta sección). Analizar las limitaciones de un modelo permite discriminar entre ciencia firmemente consolidada (conceptos verificados y aceptados por el cuerpo de teórica), y ciencia de frontera (aquellos aspectos que los modelos aún no pueden explicar satisfactoriamente). Un ejemplo de esto se encuentra en el modelo de fluido (propuesto originalmente por Benjamin Franklin), utilizado para explicar el concepto de corriente eléctrica. Si la velocidad de deriva promedio de los electrones es de 0.001 m/s en una corriente continua, y 0 m/s en corriente alterna, ¿cómo este modelo puede explicar que las luces en un aula se prendan casi instantáneamente? La explicación está en que la energía que enciende la lámpara es propagada por el campo eléctrico, ¿pero por dónde se propaga este campo? Parece una pregunta simple, pero en el canal de YouTube Veritasium del divulgador Dr. Derek Muller[6], es posible asistir a un interesante debate sobre cuál es el modelo correcto para explicar los conceptos de corriente (Veritasium en español, 2021), y energía eléctrica, no existiendo un consenso claro entre físicos e ingenieros sobre cuál es la respuesta a estas preguntas (Veritasium en español, 2022). Una de las características del trabajo del Dr. Derek Muller es provocar estas ricas controversias a través de preguntas y planteos que cuestionan conceptos aceptados por correctos[7].

La historia de las ciencias como recurso didáctico.

"*Los científicos dicen que estamos hechos de átomos, pero a mí un pajarito me contó que estamos hechos de historias.*"
Eduardo Galeano.

En la visión popular e ingenua de la ciencia, los datos empíricos tienen una importancia superior al de los modelos o teorías científicas (Gellón, 2019). ¿Cuántas

[2] La frase que da inicio a la sección transmite también una visión positivista de la ciencia, su autor la formuló con el objetivo de expresar que los resultados y teorías científicas son válidas independientemente de las creencias personales.
[3] Expresión brindada en conferencia en la Royal Society en 1900.
[4] Historia que es apócrifa.
[5] Observación que sí permitió explicar el modelo de gravedad desarrollado posteriormente por Albert Einstein.
[6] Doctor en educación en ciencias físicas por la Universidad de Sydney.
[7] Por ejemplo ver Veritasium en español, 2021a y Veritasium en español, 2021b.

noticias se encuentran en las redes donde una observación contradice a todo un cuerpo de teoría? Esto se agrava aún más cuando se confunde causalidad con correlación[8] , o ¿cuántas veces un alumno plantea un argumento que contradice toda la teoría desarrollada en el curso? Esto ocurre principalmente porque las personas que no tienen formación científica no entienden cómo funciona la ciencia (Gellón, 2008). En este aspecto, el estudio de casos históricos puede ayudar a una mejor comprensión por parte de los alumnos. A través de la historia de las ciencias, los alumnos pueden apreciar las complicaciones del pensamiento científico, las formas en que las investigaciones se realizan, cómo se comunican los resultados, las discrepancias, discusiones, acuerdos y desacuerdos entre los científicos.

El desconocimiento del proceso histórico y social que llevó al desarrollo científico, promueve en los alumnos una imagen errónea de la naturaleza y evolución de la ciencia, lo que influye en el desinterés de los alumnos por el aprendizaje de ciencias como Física o Química (Solbes & Traver, 1996).

Un detalle no menor se encuentra en la frase de introducción a esta sección: las personas suelen recordar con mucha facilidad las historias porque no son simples datos aislados, las historias nos conectan emocionalmente y contextualizan la información, lo que permite una comprensión y memorización más profunda y duradera (Furman, 2017).

La utilización de la historia de las ciencias promueve la motivación de los estudiantes mostrando el aspecto creativo de la ciencia. Esta es la estrategia que utilizan los divulgadores científicos, presentando las grandes ideas de la ciencia, y el aspecto creativo al resolver los grandes problemas.

Para evitar que estos casos históricos queden en el lugar de simples anécdotas, el docente debe integrar las mismas en sus secuencias didácticas. Puede utilizar estos casos para introducir un tema difícil y tedioso, para promover el entendimiento del proceso científico, o para favorecer el entendimiento de las características de los modelos científicos. Los mismos alumnos pueden ser invitados a responder las grandes preguntas, o a formularlas, para luego presentarles cómo los científicos resolvieron el problema. Tomemos por ejemplo que se desea determinar la aceleración gravitatoria, contando solo con un cronómetro y regla. Se les puede proponer a los alumnos que diseñen el experimento, para posteriormente presentar cómo Galileo resolvió el problema. En esta versión del práctico experimental de planos inclinados, los alumnos son partícipes activos en su diseño y ejecución del experimento, y no replican simplemente un protocolo experimental.

Un buen punto de partida para iniciarse en este recurso educativo son los libros *Del sistema solar al ADN: Contar historias para enseñar las teorías científicas en la escuela* (Gellón, G., 2019), y *Había una vez un átomo* (Gellón, G., 2007), de Gabriel Gellón, y los podcasts del mismo autor que pueden encontrar en la página del proyecto *Expedición Ciencia* (Gellón, G., 2008).

Resulta importante, al utilizar casos históricos para la enseñanza de las ciencias, discriminar correctamente entre las observaciones o datos experimentales, y las nociones teóricas (no observables). Por ejemplo, el aumento del volumen de un cuerpo debido a la temperatura es un observable, pero ni los átomos[9] ni su energía cinética lo son. Tanto el concepto de átomo como de energía cinética son nociones teóricas: son invenciones de los científicos para darle sentido a un conjunto de observaciones (Gellón, G., 2019). Muchos conceptos resultan difíciles de aprender dada su naturaleza teórica (Adúriz-Bravo, 2005), y la confusión entre estas dos categorías lleva a la interpretación incorrecta de los fenómenos por parte de los alumnos, lo que repercute en la imposibilidad de comprender o diseñar experimentos (Minzi, 2018).

Entre los mayores promotores de este enfoque se encuentra el químico James B. Conant, quien siendo presidente de la Universidad de Harvard en la década de 1950, defendió públicamente este enfoque, reuniendo un grupo de científicos e historiadores de la ciencia produjo un material (en dos tomos), de *casos* históricos para su utilización por parte del profesorado (Conant, 1957 y Conant & Nash, 1957). En el contexto regional esta metodología es defendida por los doctores Gabriel Gellón y Agustín Adúriz-Bravo.

[8] Un ejemplo notable de esto ocurrió con la investigación realizada por el médico Andrew Wakefield en el Royal Free Hospital de Londres sobre gastroenterología y autismo. La investigación realizada con las historias clínicas de 12 niños halló correlación entre la edad de vacunación de los niños con la vacuna para el sarampión, las paperas y la rubéola, y la aparición de los síntomas de autismo. Sus resultados fueron publicados en 1998 en la prestigiosa revista científica The Lancet.

[9] La primera observación de un átomo se dio en 1955 por Erwin W. Müller y Kanwar Bahadur utilizando un microscopio de iones de campo (Müller, E. W., & Bahadur, K., 1955).

Limitaciones de este enfoque.

Antes de pasar a analizar ejemplos prácticos que permitan aplicar estas ideas, y generar la deseada discusión sobre el tema por parte del autor de este trabajo, es importante analizar de antemano las limitaciones de este enfoque. El primer inconveniente es que el docente debe invertir tiempo en investigar y preparar la historia del tema que pretende enseñar con esta metodología. Si bien existen recursos en internet [10], o textos clásicos[11] como *Introducción a la ciencia* de Isaac Asimov o *Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas* de Gerald Holton y Stephen G. Brush, el docente deberá dedicar tiempo a adaptar las historias para el grado, nivel y características de sus estudiantes. En este mismo aspecto, el docente deberá analizar y decidir qué aspecto de la historia quiere exponer a sus alumnos para lograr los aprendizajes que desea. La utilización de casos históricos no implica un aumento en la cantidad de contenidos, sino una reorganización de los contenidos y del enfoque utilizado para el análisis de los conceptos (Solbes & Traver, 2001), lo cual debe ser meditado por el docente. Una segunda limitación se encuentra en la propia formación del docente, quien quizás tuvo una enseñanza enfocada exclusivamente en los contenidos conceptuales de su materia, desconectada de los aspectos históricos y sociales que acompañaron al proceso científico. Es un reclamo frecuente expresado por los alumnos: "¿para qué me sirve esto?". Los alumnos están preguntando por la relación entre la ciencia, el conocimiento científico y su utilidad en el mundo.

Casos históricos para analizar y recursos.

HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD.

- GALVANI VS VOLTA.

Los contenidos sobre electricidad se encuentran en varios cursos en educación secundaria y UTU, y su historia es verdaderamente interesante con una gran variedad de momentos históricos dignos de análisis.
Consideremos la confrontación entre Luigi Galvani y Alessandro Volta en el siglo XIX, época donde surgieron los primeros "electricistas": ilusionistas que realizaban espectáculos con fenómenos electrostáticos que asombraban a las personas. El primero descubrió por accidente que las patas de ranas muertas se contraen al tocarlas con distintos metales. A este descubrimiento lo denominó *electricidad animal* y modeló a los músculos como un depósito de esta *electricidad animal*. Volta no estaba de acuerdo con esta afirmación y consideraba que la electricidad provenía del contacto entre diferentes materiales conductores. ¿Cómo podrían los alumnos dilucidar quién tiene razón? Sin saber qué era la electricidad ambos científicos establecieron sus ideas e intentaron modelar la realidad. Volta zanjó la discusión construyendo la primera pila (o sea ideando y llevando a cabo un experimento), comprobando que era posible producir una corriente eléctrica utilizando conductores eléctricos diferentes, y las demostraciones públicas de Galvani reanimando cuerpos con electricidad, inspiraron a Mary Shelley a escribir Frankenstein.

Resulta importante remarcar que en la mencionada época estos no eran los únicos modelos en pugna, por ejemplo, en el siglo XVIII Benjamin Franklin propuso[12] el modelo de *fluido eléctrico* considerando la existencia de un solo tipo de carga positiva, y la ausencia de este fluido daría origen a la carga negativa. La concepción actualmente aceptada de que las cargas en la mayoría de los conductores son partículas negativas se logró en el siglo XIX a través del trabajo de Thomson, J. J. (1897).

La serie La chispa: Historia de la electricidad, conducida por Jim Al-Khalili (**Al-Khalili, J.** ,2011)), resulta en un excelente recurso para analizar este caso histórico.

- EDISON VS TESLA.

¿Cómo reaccionarían los alumnos al vídeo[13] de la elefanta Topsy que fue electrocutada en 1903 en Coney Island (Nueva York), al aplicarle 6600 V? El evento ocurrió una década después de la finalización de la "Guerra de las corrientes" entre Thomas Edison (promotor de la corriente continua), y Nikola Tesla y George Westinghouse (promotores de la corriente alterna)[14], pero en la cultura popular la ejecución de la elefanta Topsy se le atribuye a la empresa de Edison que fue la encargada de realizar la grabación del evento.

[10] Es recomendable la página web del proyecto *Expedición Ciencia* en el link https://expedicionciencia.org.ar/historia-de-la-ciencia/.
[11] También puede utilizar materiales en canales como C de Ciencia, El Robot de Platón o Quantum Fracture en YouTube o la serie Cosmos de Neil deGrasse Tyson.
[12] Utilizando una analogía con los mecanismos financieros.
[13] Video que se pueden observar en Wikipedia.
[14] La finalización de la guerra de las corrientes estuvo marcada por dos acontecimientos en 1893: la elección del sistema de corriente alterna para iluminar la Feria Internacional de Chicago, y el aprovechamiento de las cataratas del Niágara para generar corriente alterna. De esta forma la corriente alterna se estableció como el estándar de la industria norteamericana.

Es un caso histórico interesante para analizar las implicaciones sociales y éticas de la ciencia, pero además las ventajas y desventajas del uso de ambos tipos de tecnologías y las implicaciones en el mundo moderno. Sobre este caso histórico hay multitud de documentales que se pueden encontrar en la web.

- CONCEPTO DE CAMPO.

Entre los conceptos más utilizados en las clases de Física se encuentra el concepto de campo. Aparece en los cursos de mecánica y electromagnetismo, desde la educación media inicial a la superior, pero no por ello su aprendizaje se hace más sencillo. Presenta una importante dificultad debido a su naturaleza abstracta y no intuitiva. Es algo que los alumnos no pueden ver y que solo tiene sentido con el uso de modelos. Por ejemplo, en la práctica de mapeo de campo eléctrico las observaciones que tienen los alumnos son los valores de potencial que miden con su multímetro. Dichas observaciones sólo tienen sentido en el modelo que utilizan: las equipotenciales son perpendiculares a la dirección del campo eléctrico. Pero, ¿es posible la utilización de otros modelos que expliquen las observaciones y que pueda predecir otras? Esta es una buena pregunta para los estudiantes para entender la naturaleza de los buenos modelos científicos.

El modelo de campo eléctrico estuvo en pugna con el modelo anterior, inspirado en la ley Universal de Gravitación de Newton, de *acción a distancia*. En este modelo, las cargas interactúan instantáneamente sobre otras cargas y sin mediación del espacio. Este modelo no era capaz de explicar la propagación de las fuerzas generadas por corrientes eléctricas en conductores. El modelo de *campo eléctrico* establece que las cargas interactúan con el espacio y este con las cargas[15]. Este nuevo modelo cambia la concepción del concepto de espacio y resultó consistente con otros modelos desarrollados posteriormente: el electromagnetismo de Maxwell y la relatividad de Einstein.

Desde esta perspectiva se puede analizar el origen del concepto de campo electromagnético ideado por Michael Faraday: qué observaciones y experimentos lo guiaron en el desarrollo de su modelo. Un buen punto de partida es el capítulo 10 de la serie Cosmos de Neil deGrasse Tyson: *El niño eléctrico* (Cosmos: A Spacetime Odyssey, 2014b).

Con respecto al concepto de acción a distancia, resulta muy interesante la visión del propio Newton:

"Es inconcebible que la materia bruta inanimada, sin mediación de algo más, que no es material, deba actuar sobre otra, y afectarla sin contacto mutuo, como debe ser, si la gravitación en el sentido epicúreo le es esencial e inherente. Y esta es una razón por la que deseo que no se me atribuya la gravedad innata. Que la gravedad deba ser innata, inherente y esencial a la materia, de manera que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través de un vacío, sin la mediación de nada más, por y a través de lo cual se puede transmitir su acción y fuerza de un cuerpo a otro, es para mí un absurdo tan grande, que no creo que ningún hombre que tenga una facultad competente de pensar asuntos filosóficos pueda caer en ello. La gravedad debe ser causada por un agente que actúa constantemente conforme a ciertas leyes; pero si este agente es material o inmaterial, se lo he dejado a consideración de mis lectores." Newton, I. (1692–1693).

- GENERACIÓN DE ENERGÍA POR FUSIÓN.

Para los científicos del siglo XIX era impensado poder generar un Sol artificial en la Tierra, pero en pleno siglo XXI China lidera el desarrollo de un Sol artificial (con temperaturas alcanzadas superiores a 160 millones de grados Celsius). Proyectos similares se están desarrollando en la Unión Europea, Estados Unidos, India, Japón, Corea del Sur y Rusia. Durante gran parte del siglo XIX se consideró que el Sol era un cuerpo con constitución similar a la Tierra, cuya generación de energía se daba por la contracción gravitatoria (mecanismo de Kelvin). Con este mecanismo, el tiempo de vida del Sol sería del orden de 30 millones de años. El problema con este modelo apareció en pleno siglo XIX: las estimaciones geológicas y biológicas daban edades para la Tierra muy superiores a la edad del Sol. Un claro ejemplo de un modelo que no puede explicar las observaciones y los conflictos existentes en el ámbito científico. ¿Cómo se resolvió esta discrepancia entre el modelo reinante en la época y las observaciones? En 1920 Arthur Eddington propuso que la energía generada por el Sol se debía a transformaciones nucleares, y en 1938 Hans Bethe explicó el mecanismo de fusión nuclear (modelo que sí permite obtener un tiempo de vida de acuerdo con las dataciones geológicas y biológicas). Pero un caso histórico interesante ocurrió entre 1877 y 1919 cuando el astrónomo Edward Charles Pickering contrató a un grupo de mujeres para realizar un trabajo para el que no conseguía candidatos varones y por un salario miserable. Estas mujeres[16] clasificaron el espectro estelar de más de medio millón de estrellas. Entre estas mujeres se encontraba Cecilia Payne, quien

[15] Lo mismo ocurre con los conductores con corriente.

[16] Que pasaron a la historia como las "Calculadoras de Harvard" pero en su época se les llamaba despectivamente "El harén de Pickering".

emigró desde Inglaterra para poder realizar un doctorado en astronomía[17]. En 1925 publicó su tesis *Atmósferas estelares* donde explicaba la composición de las estrellas y la relación entre el espectro estelar y la temperatura de las estrellas. A pesar del excelente trabajo realizado por Payne (su modelo permitía explicar las observaciones recabadas en el espectro estelar y realizar predicciones), fue rechazado por uno de los mejores astrónomos de la historia: Henry Norris Russell[18], al contradecir el modelo aceptado en la época que consideraba la composición de las estrellas similar al de la Tierra. Cuatro años después, el mismo Russell llegaba a las mismas conclusiones que Payne y reconoció su error.

Este caso histórico es un excelente ejemplo para analizar a la ciencia como proceso y las características de un buen modelo científico. Además, es un excelente caso para analizar las implicaciones sociales y éticas de la investigación científica. Este caso histórico está documentado y explicado en forma muy amena en el capítulo *Las hermanas del Sol* de la serie *Cosmos* de Neil deGrasse Tyson (Cosmos: A Spacetime Odyssey, 2014a).

- EINSTEIN Y EDDINGTON.

Desde su publicación en 1915, la teoría de la relatividad general de Einstein ha sido puesta a prueba, y confirmada, en innumerables ocasiones. Fue capaz de predecir con precisión el movimiento de Mercurio (algo que la teoría de Newton no pudo), la desviación de la luz al pasar cerca del Sol, las ondas gravitacionales, los agujeros negros o las lentes gravitacionales. Resulta famoso el caso histórico donde el astrónomo inglés demostró la teoría del físico alemán[19] en el eclipse total de Sol de 1919, ocurrido en la isla de Príncipe (en el Golfo de Guinea). Resulta menos conocido que los resultados presentados por Eddington han sido objeto de debate durante muchos años, afirmándose incluso que manipuló los datos para confirmar la teoría de la relatividad de Einstein debido a la admiración que Eddington poseía por Einstein. Las incongruencias encontradas proponen que Eddington descartó a propósito aquellas mediciones de la desviación de la luz que arrojaban un valor inferior al predicho por la teoría de Einstein (aproximadamente 1.75 segundos de arco), y que estarían de acuerdo a la teoría de Newton (aproximadamente 0.85 segundos de arco)[20].

Este caso histórico resulta especialmente útil para explicar la forma moderna en la que se produce el conocimiento científico, por ejemplo, la revisión por pares y el sistema de publicación y validación del conocimiento. Esto sin mencionar que además es un ejemplo excelente para discutir las características de los buenos modelos y los contextos sociales donde se desarrollan las teorías científicas.

- PENZIAS Y WILSON.

Aunque pueda sonar paradójico, para promover la reflexión en los alumnos de que la ciencia es más que un conjunto de descubrimientos fortuitos (Solbes & Traver, 2001), el estudio del descubrimiento inesperado de una de las pruebas del Big Bang, por los ingenieros estadounidenses Arno Penzias y Robert Wilson en 1964, puede arrojar luz sobre el asunto. Penzias y Wilson estaban trabajando para la empresa Bell en New Yersey instalando una antena de radio para recepcionar la señal de los primeros satélites de comunicaciones instalados en órbita. Para su sorpresa se encontraron con un ruido inesperado que parecía provenir de todas direcciones, que inicialmente atribuyeron a la presencia de una "blanca sustancia dieléctrica": excremento de paloma.

Sin tener una explicación sobre este ruido, publicaron en la revista The Astrophysical Journal, el 13 de mayo de 1965, un artículo de dos páginas donde explicaban su descubrimiento a la vez que afirmaban que este ruido no podría atribuirse a ninguna fuente conocida: el Sol, las galaxias, el centro galáctico o interferencia terrestre. La radiación de fondo que detectaron era débil, uniforme y omnidireccional, proviniendo de una fuente cuya temperatura era de 3.5 Kelvin. En su artículo Penzias y Wilson no brindaron explicaciones a esta observación, en lo que constituye un hallazgo empírico sin teoría que le dé significado[21].

En el mismo número de la revista se publicó un segundo artículo sobre el tema, donde Robert Diche y James Peebles de la Universidad de Princeton daban una explicación al descubrimiento de Penzias y Wilson. ¿Cómo sucedió esto? El grupo de investigación de la Universidad de Princeton, liderado por Diche y Peebles, estaban investigando la radiación residual del Big Bang predicha veinte años antes por Gamow, Alpher y Herman. Su predicción teórica arrojaba que debería existir una

[17] En la Inglaterra de esa época las mujeres no podían obtener títulos universitarios o hacer doctorados.

[18] Uno de los creadores del diagrama más importante en astronomía, el diagrama HR.

[19] Se identifican sus nacionalidades por el contexto histórico de la primera guerra mundial y la creciente antipatía hacia los alemanes existente en gran parte del mundo.

[20] En 1801, Johann Soldner predijo la desviación de la luz al pasar cerca del Sol usando la teoría de la gravedad de Isaac Newton, asumiendo un modelo donde la luz era un conjunto de partículas con masa muy pequeña cercana a cero (ver Soldner, 1801).

[21] Situación análoga al trabajo analizado por "Las calculadoras de Harvard".

radiación residual del Big Bang, con una temperatura actual del orden de 1 a 10 Kelvin. A pesar de aún no haber podido encontrar dicha radiación, el modelo arrojaba una clara predicción. Siendo notificados del descubrimiento de Penzias y Wilson, escribieron una explicación de la teoría y de su predicción, y en el último párrafo de su artículo, relacionaron el descubrimiento de Penzias y Wilson con su modelo teórico. ¿Qué reflexión puede promover en los alumnos este caso histórico? ¿Permitirá relativizar el impacto de los experimentos u observaciones sin un cuerpo de teoría que lo respalde?

Conclusiones

El objetivo de este trabajo es promover la reflexión sobre algunos aspectos que muchas veces no son tenidos en cuenta en la práctica educativa, más concretamente se analizó la visión de ciencia y modelo que se transmite, así como la concepción de conocimiento científico. La falta de atención de estos aspectos no ocurre en forma deliberada por los docentes, muchas veces el escaso tiempo para cumplir con todo un programa, las obligaciones y dificultades inherentes a nuestro trabajo lo hacen inviable. Por este motivo, se plantea la utilización de casos históricos cuidadosamente seleccionados, los cuales pueden brindar a lo largo del curso una oportunidad para generar motivación y curiosidad en los alumnos, a la vez que permite analizar la ciencia como un proceso en constante evolución, donde los datos experimentales cobran sentido según los modelos que los interpretan.

Los ejemplos propuestos son algunos de la infinidad de casos históricos que pueden servir para analizar diferentes aspectos de las ciencias, y se presentan con la intención de facilitar al lector ejemplos para su análisis y puesta en práctica. Los recursos planteados son de fácil acceso y ampliamente conocidos.

Referencias

Adúriz-Bravo, A. (2001). *La epistemología de los modelos teóricos y su enseñanza*. Fondo de Cultura Económica.

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Fondo de Cultura Económica.

Al-Khalili, J. (2011). *Chispa* [*Spark*] (Temporada 1, Episodio 1) [Serie documental]. En *La chispa* [*Shock and Awe: The Story of Electricity*]. BBC Four.

Conant, J. B. (Ed.). (1957). *Harvard case histories in experimental science. Volume I*. Harvard University Press.

Conant, J. B., & Nash, L. K. (Eds.). (1957). *Harvard case histories in experimental science. Volume II*. Harvard University Press.

Cosmos: A Spacetime Odyssey. (2014). *Sisters of the Sun* (Temporada 1, Episodio 8) [Serie de TV]. Dirigido por B. Braga; escrito por A. Druyan y S. Soter; narrado por N. deGrasse Tyson. Fox / National Geographic.

Cosmos: A Spacetime Odyssey. (2014). *The Electric Boy (El niño eléctrico)* (Temporada 1, Episodio 10) [Serie de TV]. Dirigido por B. Pope; escrito por A. Druyan y S. Soter; narrado por N. deGrasse Tyson. Fox / National Geographic.

Einstein, A. (1905). Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik, 322*(10), 891–921. https://doi.org/10.1002/andp.19053221004

Furman, M. (2017). *Enseñar distinto: Guía para innovar sin perderse en el camino*. Ariel.

Furman, M., & Podestá, M. E. (2024). *La aventura de enseñar Ciencias Naturales*. Santillana.

Gellón, G. (2007). *Había una vez el átomo: O cómo los científicos imaginan lo invisible*. Siglo XXI Editores.

Gellón, G. (2008). Historia de la ciencia: Un recurso para enseñar. *El Monitor de la Educación*, (16), 32–34. Disponible en https://expedicionciencia.org.ar/wp-content/uploads/2015/06/Gellon-El-Monitor-Historia-de-la-ciencia.pdf

Gellón, G., & Furman, M. (2011). ¿Los peces pueden asfixiarse en el agua? Desmenuzando la idea de comprender conceptos en ciencia. En S. Lipina & M. Sigman (Eds.), *La pizarra de Babel: Puentes entre neurociencia, psicología y educación* (1.ª ed., pp. 279–298). Buenos Aires: Libros del Zorzal.

Gellón, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M., & Golombek, D. (2018). *La ciencia en el aula: Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Siglo XXI Editores.

Gellón, G. (2019). *Del sistema solar al ADN: Contar historias para enseñar las teorías científicas en la escuela*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.

Michelson, A. A., & Morley, E. W. (1887). *On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether*. American Journal of Science, 3rd series, 34(203), 333–345.

Minzi, A. (2018). *Aprender competencias científicas en la Universidad: estudio sobre la incidencia de un curso cuatrimestral con enfoque en la indagación* (tesis de maestría). Universidad de San Andrés, Escuela de Educación. Repositorio Digital San Andrés.

Monteiro, L., Reyes, C., & Usher, X. (2023). *IV Encuesta Nacional de Percepción Pública de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimientos (CTIE) 2021*. Agencia Nacional de Investigación e Innovación. https://www.anii.org.uy/upcms/files/listado-documentos/documentos/iv-encuesta-sobre-percepci-n-p-blica-ctie-2021-informe-vf-24-05-2023.pdf

Müller, E. W., & Bahadur, K. (1955). *Field ionization of gases at a metal surface and the resolution of the field-ion microscope*. *Physical Review*.

Newton, I. (1692–1693). *Letters to Richard Bentley*. En H. W. Turnbull (Ed.), *The correspondence of Isaac Newton* (Vol. 3, pp. 238–241). Cambridge University Press.

Perkins, D. (1997). La escuela inteligente: Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente. Barcelona: Gedisa.

Ritchhart, R., Church, M., & Morrison, K. (2014). *Hacer visible el pensamiento: Cómo promover el compromiso, la comprensión y la autonomía de los estudiantes*. Buenos Aires: Paidós.

Solbes, J., & Traver, M. J. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza De Las Ciencias. Revista De investigación Y Experiencias didácticas*, *14*(1), 103–112. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4244

Solbes, J., & Traver, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(1), 151-162. https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4020

Suárez, Á., Baccino, D., Monteiro, M., & Martí, A. C. (2021). ¿Cuáles son las actitudes y creencias en torno a la Ciencia de los profesores y estudiantes de profesorado de Física del Uruguay? *Avances en la Enseñanza de la Física*, 3(1), eAEF.3.1.3. https://doi.org/10.36411/AEF.3.1.3

Thomson, J. J. (1897). *Cathode Rays*. *Philosophical Magazine*, 44, 293–316

Veritasium. (2021, 27 de junio). *¿Puede un auto eólico ir más rápido que el viento?* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=NDUIz_hU6hE

Veritasium. (2021, 19 de diciembre). *Un profesor de física me apostó $10000 a que estoy equivocado* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=

Veritasium. (2021, 19 de diciembre). *La idea errónea que nos enseñan sobre la electricidad* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=vjFefDCIje0

Veritasium. (2022, 13 de agosto). *Así funciona la electricidad* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=vFV46tUKOHg

Von Soldner, J. G. (1801). Über die ablenkungeines lichtstrahls von seiner geradlinigen bewegung, durch die attraktion eines weltkorpers, an welchem er nahe vorbei geht [Sobre la desviación de un rayo de luz de su movimiento rectilíneo, por la atracción de un cuerpo celeste cerca del cual pasa]. *Berliner Astronomisches Jahrbuch*, 161-172.

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.5

“Sé que me quieres aquí, pero puedo ser mamá a tiempo parcial o una loca a tiempo completo”

Abordaje de la física y la enseñanza de la física como profesiones desde una perspectiva de género.

Fiorella Casais[1,2], Guzmán Trinidad[3]

[1]*Liceo El Pinar N°1, Dirección General de Educación Secundaria, Canelones, Uruguay.*

[2]*Liceo Médanos de Solymar, Dirección General de Educación Secundaria, Canelones, Uruguay.*

[3]*Liceo Solymar N°1 “Jorge Lazaroff”, Dirección General de Educación Secundaria, Canelones, Uruguay.*

E-mail: fiorellacasais@gmail.com, guzman.trinidad@gmail.com

(Recibido el 31/10/2025, aceptado el 26/11/2025)

Resumen

El presente trabajo es producto de una investigación mixta, a partir de análisis de datos cuantitativos y entrevistas. Se pretende determinar y analizar la presencia femenina en el ámbito de la enseñanza de la Física, particularmente en el Instituto de Física de la Facultad de Ciencias y la Dirección General de Educación Secundaria de Uruguay. Se examinan los espacios que ocupan las mujeres en el ámbito laboral y dentro de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, así como las producciones intelectuales desarrolladas por ellas.
Se proponen algunas posibles medidas eficaces para reducir la actual brecha de género, en particular desde la Asociación.
Así mismo, han surgido nuevas hipótesis y posibles líneas de investigación para explicar el fenómeno multicausal y contribuir desde el nivel estructural a la eliminación de sesgos de género.

Palabras clave: Enseñanza de la Física, Física, Ciencia, Género.

Abstract

This paper is the product of a mixed-methods research project based on quantitative data analysis and interviews. It aims to determine and analyze the presence of women in physics teaching, particularly at the Physics Institute of the Faculty of Sciences and the General Directorate of Secondary Education of Uruguay. It examines the positions women occupy in the workplace and within the Association of Physics Teachers of Uruguay, as well as the intellectual output they have developed.
Some possible targeted actions to reduce the current gender gap are proposed, particularly within the Association.
Likewise, new hypotheses and potential lines of research have emerged to explain the multicausal phenomenon and contribute to the elimination of gender bias at a structural level.

Keywords: Physics Teaching, Physics, Science, Gender.

1. The Feynmans lectures…

Hablar de física a nivel mundial es sinónimo de hablar de Feynman. De origen estadounidense, creció en un hogar judío, aunque no practicante, del condado de Queens en New York, en el cual se estimulaba el desarrollo intelectual, se promovía la curiosidad, el amor al conocimiento y fundamentalmente, el humor.

Desde muy temprana edad mostró un carácter inquisitivo y un gran interés por comprender el mundo natural. Sus padres, si bien no habían accedido a la universidad, eran entusiastas de la ciencia y ávidos lectores. Las caminatas en familia servían para observar y aprender todo a su alrededor, buscando "cosas interesantes".

Su padre Melville Feynman, siempre dispuesto a enseñarle algo nuevo, le influyó fuertemente y animó a hacer preguntas que desafiaran el pensamiento ortodoxo. Melville no tenía formación en ciencia, pero estaba decidido a que sus descendientes sí la tuviesen. Dedicado a los negocios en tiendas de ropa, detestaba las diferencias artificiales que se generaban entre las personas solo porque se pusieran un uniforme.

Su madre Lucille, ama de casa de gran sentido del humor, le transmitió, al igual que su abuela, que su cerebro no era físicamente capaz de comprender fenómenos físicos complejos. No obstante, gracias a otros integrantes de su familia recibió el apoyo a sus intereses de explorar el mundo físico que le fascinaba.

Durante su infancia se entretenía y aprendía montando un laboratorio de experimentación y reparación de receptores de radio.

Un día le despertaron y corrieron hacia un campo de golf cercano a su casa para convertirse en espectadores fascinados de un espectáculo imponente y magnífico: una aurora boreal; "Nadie sabe explicarlas", escuchó. Esta experiencia le marcó de tal forma que decidió que su pasión sería perseguir la comprensión del mundo físico, dedicando su vida a esta profesión.

La decisión ya tomada de continuar sus estudios en física culminaron con una licenciatura en el Instituto Tecnológico de Massachusetts.

Los estudios en Oberlin College no fueron sencillos por asuntos ajenos a lo académico, relacionados con preconceptos y discriminación: sin una reserva de confianza intelectual es imposible hacer ciencia y a pesar de sus dudas, siguió adelante. Durante sus años de licenciatura, tomó un año sabático para vivir en Guatemala, donde estudió la antropología de los mayas que allí vivieron.

Le convocaron para formar parte del Proyecto Manhattan en Los Álamos, que diseñó y construyó las primeras bombas atómicas detonadas en 1945.

Se doctoró en física, pero la posguerra fue difícil, y al comienzo no consiguió empleo. Su carrera podría haber terminado antes de empezar. Cayó en una depresión, pero tuvo la suerte de encontrar un terapeuta que le recetó volver a su profesión como remedio a su melancolía. Fue gracias al lanzamiento del Sputnik 1, el primer satélite artificial de la historia lanzado en 1958 por la Unión Soviética, que Estados Unidos dio un impulso fenomenal a la ciencia y la tecnología, para superar a su rival en la incipiente carrera espacial. Esto promovió su carrera.

La ya legendaria obra *The Feynman Lectures On Physics* (Feynman et al., 1963) corresponde a un curso de lecciones introductorias de física impartidos en los años 1960-1961 y 1961-1962 en el Caltech, sobre las cuales opinó: "Todo era esencialmente un experimento. ¿tuvo éxito? Mi punto de vista es que…es un fracaso. Pienso que la solución es darse cuenta que la enseñanza sólo puede realizarse cuando hay una relación individual directa entre estudiante y docente, en la cual discuten las ideas, piensan en las cosas y hablan sobre ellas. Es imposible aprender simplemente asistiendo a una clase, o simplemente resolviendo los problemas asignados." Consideraba que el aula era un teatro: se movía por la tarima en "una combinación imposible de "docente" y artista de circo" según *The New York Times.* Tocaba el bongó y dibujaba en forma estupenda. Exploró durante toda su vida las conexiones entre las diferentes formas de conocer el mundo. Por sus contribuciones al desarrollo de la electrodinámica cuántica junto con Julian Schwinger y Sin-Itiro Tomonaga, recibió el Premio Nobel de Física en 1965.

Era 1971 y trabajaba para la NASA en el Centro de Investigación Ames de California. Acababa de hacer un descubrimiento importante sobre el viento solar, su carrera prosperaba. Pero la economía estaba en recesión y el presupuesto de la NASA se vio drásticamente recortado. Volvió a quedarse sin empleo. Durante meses, mientras buscaba trabajo, la severa depresión superada años atrás comenzó a reaparecer. Le habían enseñado a recurrir a la sinagoga en tiempos difíciles, y parecía tener especial sentido en este caso, pero cuando pidió una invitación a una de estas reuniones, le acusaron de egoísta. «Al fin y al cabo, ahora mismo hay gente sin trabajo». «Pero Rabino», dijo, «es mi vida». Recuerdo que llegó a casa esa noche, metió comida en el refrigerador y luego sacó la aspiradora. La encendió, la empujó por el suelo varias veces, luego la apagó y rompió a llorar. En un instante, yo también estaba llorando y mi madre me consolaba. Nos quedamos allí un buen rato. "Sé que me quieres aquí", me dijo. "Pero puedo ser mamá a tiempo parcial o una loca a tiempo completo".

Si al leer el texto anterior el mismo le resulta contradictorio, con inexactitudes o datos que ignoraba, no se preocupe, ¡fue redactado intencionalmente para que usted se sorprenda! El efecto se debe a que hace referencia a dos personas diferentes, ¡los hermanos Feynman!

Todos los párrafos impares (Feynman, 1998, Feynman et al., 1963), en letra de estilo redondilla, hacen referencia al célebre físico reconocido mundialmente Richard Phillips Feynman (1918- 1988), mientras que los párrafos pares (*"Joan Feynman"*, 2025, Hirshberg, 2002, Luzuriaga, 2020), en letra de estilo *cursiva,* relatan la vida y carrera de su hermana la astrofísica Joan Feynman (1927-2020), prácticamente una desconocida para nosotros, quien tuvo grandes dificultades por ser una mujer que quiso dedicarse a la ciencia.

FIGURA 1. Richard y Joan Feynman. Por OpenAI (2025).

Joan Feynman, ingresó al prestigioso Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA. Con datos de partículas del espacio recogidos por los satélites, su trabajo fue pionero en explorar la relación entre el campo magnético que rodea la tierra y las partículas cargadas que escapan del sol y llegan a nuestro planeta. Así llegó a explicar el mecanismo de las auroras boreales, la pregunta abierta aquella noche de la infancia. Sus estudios de las manchas solares con sus ciclos le condujeron a evaluar su efecto en el clima, añadiendo información al estudio del cambio climático (Caltech, 2018, *"Joan Feynman"*, 2025, Hirshberg, 2002, Luzuriaga, 2020, Web of Stories - Life Stories of Remarkable People, 2019).

Resulta importante la siguiente anécdota:

> *con 14 años, siguió en contacto con su hermano, que ya estaba en la Universidad. Tenían un cuaderno con problemas matemáticos y de física. En un libro de texto de astronomía, Joan vio que citaban el trabajo de una mujer astrónoma, Cecilia Payne-Gaposchkin. Con este ejemplo a la vista, tuvo el coraje necesario para ser científica también. Madame Curie, prototipo de científica en ese momento, le había parecido un modelo inalcanzable. Otra mujer menos famosa, casada, haciendo ciencia profesional, le resultaba un ejemplo imitable* (Luzuriaga, 2020).

2. ¿Qué espacio ocupan las mujeres en la ciencia?

Históricamente, la ciencia ha sido percibida como ámbito masculino, mientras que a las mujeres se les ha asignado un rol protector y de cuidados. Florencia Freijo (2020b) señala que ellas han sido educadas para orientar sus intereses hacia ámbitos metafísicos y humanísticos, y no hacia los científicos, no por una inclinación natural, sino como resultado de una construcción social y cultural. Desde la Antigüedad las mujeres se describen como seres principalmente emocionales y afectuosos (Freijo, 2020a), lo que limita su participación y condiciona la orientación vocacional, cuando es en ciencias, hacia áreas tradicionalmente feminizadas, como la educación y la salud (Palomera et al., 2024).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2019) remarca que la falta de interés y participación femenina en el área de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática (STEM) es multifactorial, debiéndose a cuestiones sociales y educativas que moldean sus creencias, comportamientos y decisiones desde la infancia, y no a diferencias de capacidades biológicas o cognitivas.

Los hombres han estado históricamente en el centro del poder y del saber, mientras que las mujeres han estado relegadas de los espacios donde se producía el conocimiento (Freijo, 2020a). En el ámbito docente, aún persiste la creencia de que existen diferencias innatas asociadas al sexo, lo que lleva a atribuir a los hombres una supuesta mayor aptitud para aprender ciencias. Estas

creencias refuerzan y reproducen estereotipos y roles tradicionales de género (Camacho, 2017, Palomera et al., 2024), ya que toda forma de enseñanza, no solo la formal, transmite ideas sobre lo que la sociedad considera propio de hombres y mujeres (Freijo, 2020a). A pesar de los avances en equidad de género, los estereotipos sociales que desvalorizan la capacidad de las mujeres para aprender disciplinas científicas, especialmente la física, siguen existiendo (Solbes, 2011).

Es fundamental construir una imagen científica inclusiva donde se evidencie la participación, desempeño y contribuciones de mujeres y destaquen referentes femeninas exitosas en estas áreas (UNESCO, 2019), especialmente de aquellas que lograron conciliar su vida personal y profesional (Barabino et al., 2020). Esto implica cuestionar la visión masculinizada de las profesiones STEM, promover una mayor inclusión de las mujeres en la investigación científica, fomentar entornos educativos y laborales equitativos (Hernández, 2022), eliminar los sesgos de género (UNESCO, 2019), así como implementar programas orientados al desarrollo del liderazgo femenino (Barabino et al., 2020).

2.1 Situación de las mujeres en el ámbito de la ciencia uruguaya

Si bien a lo largo de la historia de la ciencia y su enseñanza las mujeres uruguayas han ido ganando representatividad, no siempre el camino ha sido fácil. Históricamente han enfrentado y enfrentan múltiples barreras donde los prejuicios de género, la invisibilización de su trabajo y la falta de referentes, sumado a la carga familiar en muchos casos, han limitado su participación plena.

La Dra. Cecilia Cabeza, es *"madre, esposa, física y física experimental que no es poca cosa en Uruguay"* (Montagne, en Instituto de Física de la Facultad de Ciencias [IFFC], 2022, 11:38). Destacada científica reconocida nacional e internacionalmente por su trabajo en Física No Lineal, fue la primera mujer en dirigir el IFFC de la Universidad de la República (UdelaR), y se ha dedicado activamente a la extensión, gestión académica, y temáticas de género con una preocupación especial.

Su labor refleja un profundo compromiso y pasión por la educación en todos los niveles, convirtiéndose en una pionera y referente en la enseñanza y formación de estudiantes para varias generaciones, con alto valor simbólico, social y cultural dada su presencia en un ámbito profundamente masculinizado. Cecilia es *"una fuente de inspiración y de orgullo de la resistencia de las mujeres en física y en especial en el IFFC."* (Sedofeito, en IFFC, 2022, 34:20).

Pese a su relevancia para el ámbito académico en lo formativo y social, colegas y estudiantes manifestaron en el homenaje realizado por el IFFC en el año 2022, las dificultades que tuvo que atravesar, por el hecho de ser mujer[1].

En él se señaló la ciencia, fundamentalmente la física experimental, como un ámbito masculinizado *"es imposible no verlo: en la física sí hay un predominio masculino, tuvimos acá en este instituto de física situaciones complicadas"* (Lagos, en IFFC, 2022, 36:52). Esto implica un mayor esfuerzo de las mujeres -y el suyo en particular- respecto al de los hombres, lo que se evidencia con la intervención de Montagne: "*ahora veo el esfuerzo enorme que debe haber significado todo eso en una ciencia dura para las mujeres y, sobre todo física, extremadamente patriarcal. Entonces tu esfuerzo era diez veces el que podría ser el mío o de cualquier otro"* (Montagne, en IFFC, 2022, 11:38).

Además, en la intervención de Renom (en IFFC, 2022), pudo verse cómo en nuestra sociedad aún están instaladas la discriminación y estereotipos de género, al evocar un recuerdo "*Nunca me voy a olvidar cuando no me acuerdo si era un profesor de física de Sofía o de Bernardo le dijo "que tu mamá se vaya a lavar los platos y no le dé física" y siempre quedó eso"* (Renom, en IFFC, 2022, 16:20). Estos dichos, demuestran un ejemplo muy concreto de cómo el machismo está instalado en la educación, acorde a lo planteado por Camacho (2017), Palomera et al. (2024) y Solbes (2011), naturalizando los roles de género y la exclusión simbólica de las mujeres en las ciencias duras.

Cecilia reconoce el costo personal y emocional de su trayectoria que, en parte, contribuyó a la decisión de jubilarse del IFFC, pero continuar vinculada a la educación primaria a través de talleres y jornadas. "*Es cierto que ser física experimental en el Instituto de Física fue complicado. Ser mujer, además."* (IFFC, 2022, 13:50). *"Me costó mucho más que a los demás sin duda. Fue parte de todo mi estrés y de llegar a la decisión de jubilarme; Fue parte de un esfuerzo muy grande que hice durante casi 40 años. Es un lugar difícil."* (Cabeza, en IFFC, 2022, 37:28).

Así mismo, reconoce cómo su propio recorrido abrió camino a otras generaciones, contribuyendo a una mirada más inclusiva en la comunidad científica uruguaya, la cual aún necesita ser más equitativa y continuar un arduo trabajo para eliminar los sesgos de género que siguen presentes:

[1] Ver Anexo: Extractos del Homenaje realizado a Cecilia Cabeza analizados.

> *hay toda una generación nueva que son las que toman la posta, que todas han sido o la mayoría han sido alumnas mías y yo me siento muy orgullosa de ellas. De alguna manera -por eso yo decía hoy "Madeleine y yo fuimos LAS mujeres" durante mucho tiempo- les allanamos el camino para que hoy de hecho sean referentes en el área de la física. Son muchas … y me parece fantástico que ahora estén y puedan hacer oír su voz y me parece genial la política de la facultad con la creación de la comisión de género, que me ofrecieron integrarla, pero yo dije que yo ya había dado mi batalla, porque creo que la tienen que integrar las mujeres y los hombres también jóvenes con otra cabeza, con otra formación. Creo que uno tiene que saber también cuándo tiene que irse para dejar que la gente joven encuentre su lugar … [se] necesitan visiones nuevas. Entonces todas las gurisas que han sobrevivido a la licenciatura me parece que son geniales: hay muy pocas, tienen un gran camino por delante todavía para lograr realmente la igualdad, pero bueno: están ahí.* (Cabeza, en IFFC, 2022, 37:28).

De lo anterior puede concluirse que, de manera paulatina, se ha ido consolidando una nueva generación femenina en el área de la física, dejando atrás la condición de excepcionalidad que siempre las caracterizó. En este proceso, la figura de Cecilia Cabeza representa un antes y un después en la historia de las mujeres en la física uruguaya, demostrando que el cambio es posible gracias a las que ocuparon espacios donde antes no eran bienvenidas.

En el ámbito de la enseñanza de la física en la órbita de la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP), se destaca la figura de Graciela Scavone. Es profesora de física egresada del Instituto de Profesores Artigas (IPA) en 1981, con estudios avanzados en la Licenciatura en Física de la UdelaR (68% aprobado). Cursó la Formación de Investigadores en las áreas de Didáctica y Nuevas Tecnologías Educativas a cargo del Instituto Nacional de Investigación Pedagógica (INRP) de París en el año 1988, y realizó en 2009 una Actualización en Investigación Educativa en el Instituto de Perfeccionamiento y Estudios Superiores (IPES).

Jubilada desde el año 2015, supo ocupar cargos de Profesora Efectiva Grado 7, Profesora Adscriptora, Ayudante Preparadora, e Inspectora de Física -donde, dentro de otras funciones inherentes al cargo, mantenía reuniones semanales con los Coordinadores de Laboratorio- en la órbita del Consejo de Educación Secundaria (CES, actual Dirección General de Educación Secundaria [DGES]).

En la órbita del Consejo de Formación en Educación (CFE) se desempeñó como docente de Física I para las especialidades de física y química, Docente de Laboratorio y Coordinadora del mismo en el IPA. Además, fue Profesora Adscriptora del Diploma de Especialización en Física, dirigido a egresados de Formación Docente en Física y egresados de la UdelaR con formación básica en física y matemática.

En los años previos a su jubilación, se desempeñó como coordinadora de gestión del proyecto transversal de la ANEP, denominado *Estímulo a la Cultura Científica y Tecnológica* (PROCIENCIA).

Sin dudas, Graciela Scavone tiene una amplia y variada trayectoria dentro de la ANEP, y ha ocupado espacios significativos en ella. Por tal motivo, se ha realizado una entrevista.

Sobre su formación y roles, manifestó que, desde su perspectiva, no debió atravesar grandes dificultades debidas a su género, pero sí destacó la importancia de una red de sostén para continuar estudiando y trabajando. Además, la importancia del trabajo con otros en su trayectoria, innovar y aventurarse.

En cuanto a su formación en el Bachillerato, en época de dictadura, recordó que *"En Ingeniería éramos muy pocas mujeres. Por ejemplo, en el Miranda creo que éramos dos compañeras, todo el resto eran varones"*. En ese entonces Graciela trabajaba en una boutique, y acostumbraba a reunirse para estudiar con sus compañeros. Al respecto, expresó la importancia de *"esos tejidos, esas redes: no estar aislados. Si estabas aislado, creo que ninguno de nosotros tenía chance."*

Ingresó al IPA en 1978, con su primer hijo recién nacido. Cursó sus estudios mayormente en el turno nocturno, finalizando en 1980. Cursando el último año, comenzó a desempeñarse como docente en el liceo N°26 de Montevideo, siendo destituida al año siguiente por sus ideales políticos.

En febrero de 1981 rindió los dos últimos exámenes. Al respecto, resaltó la necesidad e importancia de egresar: *"porque yo o me recibía, o podía dejar. En cualquier momento, mi vida cambiaba y me quedaba sin recibirme, con una mano atrás y otra adelante".*

Remarcó, además, el sostén que significaron sus compañeras y compañeros del IPA, con quienes compartía grupos de estudio y amistad, y la ayudaban a conciliar su maternidad con la formación: "*era así, era como un tejido, eso que te sigue, una red que sostiene, te sostiene ese grupo … para rendir examen oral, mis compañeros se quedaban con el nene entre ellos … la íbamos llevando."*

Consultada sobre su paso por el IFFC expresó:

> *hacer la licenciatura fue justamente una manera de poder seguir estudiando en aquel momento. Después del IPA no existía nada de especialización en la física y entonces era el único lugar… no te revalidaban nada. Todo era desde cero. Como a mí en realidad lo que me interesaba era integrarme a un ambiente de física y seguir estudiando, no me importaba. Me encontré con cursos anuales fascinantes para mí. Solamente podía hacer un curso por año, porque trabajaba, tenía dos hijos chicos, estaba divorciada y todo era pasión, por hacer cosas, salir adelante.*

Luego de su destitución, comenzó a trabajar en dos instituciones privadas. Sobre su incorporación a una de ellas, destacó el haber sido contratada por ser egresada del IPA pese a estar en ese momento embarazada de su segundo hijo. Al respecto, recordó:

> *Me eligieron por ser egresada del IPA. Y le dije al director, "yo quiero trabajar, pero le tengo que decir: estoy embarazada y en septiembre voy a tener familia." No lo quería engañar… Esa fue una época en la que a pesar de estar destituida pude trabajar.*

En el año 1985 fue restituida al CES, y continuó trabajando igualmente en instituciones privadas.

En 1988 al enterarse de que el INRP de París iba a dictar el curso de Formación de Investigadores en las áreas de Didáctica y Nuevas Tecnologías Educativas, en el marco de un convenio entre el Ministerio de Educación -encabezado por la Dra. Adela Reta- y la Embajada de Francia en Uruguay, se presentó. Su motivación para hacerlo fue el interés que siempre tuvo en continuar estudiando e investigar en el campo de la enseñanza. El mismo se dictó viernes y sábados, durante un año, con una carga de 204 horas. Sobre esa experiencia, Graciela expresó: *"En ese momento trabajaba, e íbamos los viernes y sábados todo el día, para lo cual tuve que pedir autorización en el Liceo. Ahí fue un año de aprender, te sumergías, venían psicólogos, investigadores… Aprendí un montón de cosas."*

Para su sorpresa, y luego de haber realizado además un curso de francés ofrecido por la Embajada, fue becada para realizar una pasantía por el INRP en París. Al recordar cómo fue el episodio, contó que*:*

> *Me llaman por teléfono del Ministerio diciéndome que había sido seleccionada para una beca. Entonces le digo "pero señor, yo no me presenté a ninguna beca. No me pueden haber seleccionado si yo no me presenté… se equivocaron, llamaron mal a otra persona." Entonces, me dice "no, no, usted tiene que venir". Bueno, "pero mire que yo no me…" "No importa, usted tiene que venir". Bueno, allá fui. La Embajada de Francia tenía previsto que dos personas que habían realizado el curso fueran becadas al INRP. Seleccionaron a una maestra y a mí.*

En ese momento, ella tenía muchos grupos a cargo, además de sus hijos de 8 y 11 años. Su madre, la alentó a viajar y cuidó a sus hijos para que lo hiciera:

> *Mi madre me dijo: "tenés que ir". Y yo que tenía una desesperación enorme, porque dejar a los chiquilines para mí… ¡Eran dos meses! ¡dos meses! Bueno, así que se quedaron los nenes con la abuela, y teníamos a la tía a la vuelta... Son esas redes de familiares, de amistades, de cosas que te empujan.*

De la historia de Graciela Scavone, se desprende cómo emprendió una lucha por su desarrollo académico y profesional en un contexto de limitaciones estructurales, tanto de formación como de conciliación con la vida personal. Puede apreciarse, además, cómo para las mujeres, muchas veces, sostener un proyecto académico puede significar el peso de una doble o triple jornada, teniendo un trabajo remunerado, responsabilidades de crianza y, además, su formación.

3. El efecto Matilda en la enseñanza de la Física dentro de la Anep

El *Efecto Matilda* describe la invisibilización sistemática del trabajo de las mujeres en la ciencia, tanto en la falta de reconocimiento a sus aportes como en la atribución de sus logros a hombres (Guerrero, 2019).

Se pretende con esta investigación analizar la presencia femenina en la enseñanza de la Física en la educación uruguaya, así como en ámbitos vinculados a la producción intelectual en la disciplina y desde el rol docente. Para ello, se realiza un análisis crítico de datos de dominio público.

3.1 Mujeres en la órbita de Educación en Física

Según los resultados del último censo docente realizado en Uruguay (ANEP, 2019), recogidos en la tabla 1, puede confirmarse que la docencia en el país es una profesión profundamente feminizada. En el caso de la actual DGES, el 71,1% del cuerpo docente se compone por el género femenino.

TABLA 1. Docentes de la ANEP por Direcciones Generales de Educación y Consejo de Formación en Educación según género, año 2018, en porcentaje.

	Femenino	*Masculino*	*Otro*
DGEIP (ex CEIP)	90,8	8,9	0,3
DGES (ex CES)	71,1	28,4	0,5
DGETP (ex CETP)	59,5	40,2	0,3
CFE	72,9	26,6	0,5

Fuente: Tomado y modificado de Censo Nacional Docente 2018, ANEP, en ANEP (2019)

Esta tendencia se modifica en el cuerpo docente de Física. Al analizar algunos datos estadísticos, tomados como muestras representativas, puede concluirse que este profesorado tiene una baja feminización respecto a otros, como se visualiza en la tabla 2.

TABLA 2. Muestras representativas de docentes de Física en Uruguay según género, en porcentaje.

	Femenino	*Masculino*	*Otro*
Ingresos Profesorado de Física (IPA - 2010)	44	56	-
Egresados Nacional (2017 - 2025)	50,7	47,9	1,4
Egresados Especialización en Física (2014-2024)	34,5	65,5	-
Docentes Efectivos Nacional (2025)	51,7	48,3	-

Fuente: Elaboración propia

Si nos remitimos a la generación de ingreso 2010 al profesorado de Física en el IPA, según la investigación realizada por Klein (2016), el 44% de ella correspondía a mujeres. Si se compara con datos más actuales, la tendencia es prácticamente igual, donde persiste una cierta paridad.

Esta regularidad histórica se mantiene en los egresos producidos entre los años 2017 y 2025 de los Institutos de Formación de Profesorado en la especialidad Física a nivel nacional, donde lo han hecho 147 mujeres, 139 hombres, y 4 personas que se identifican con otro género (CFE, 2025).

Sin embargo, al analizar los egresos del Diploma de Especialización en Física, puede apreciarse una disparidad de género. De los 58 egresos registrados en el periodo 2014-2024, 38 corresponden a hombres y 20 a mujeres, lo que refleja una participación femenina minoritaria en esta instancia de formación de posgrado.

Al analizar el Escalafón Docente Año 2025 -con efecto 2026- de la DGES (DGES, 2025), puede apreciarse prácticamente una igualdad en la composición, conformándose por 351 hombres y 376 mujeres a nivel nacional. Esto denota que la cantidad de profesores efectivos egresados y/o concursantes en dicha Dirección no presenta grandes asimetrías asociadas al género.

Por otra parte, es importante señalar que al consultar en la división de estadística del Consejo de Formación en Educación (CFE) sobre la cantidad de docentes, desagregados por género, que se desempeñan en los trayectos *Didáctica Práctica Pre-Profesional* y *Formación Específica* del Profesorado de Educación Media en la especialidad Física a nivel nacional, no fue posible obtener información, ya que no se dispone de datos organizados por unidad curricular, especialidad y género.

3.2 Mujeres y espacios de visibilidad

Como se ha evidenciado, la cantidad de profesores y profesoras de Física en el país es relativamente paritaria. En este contexto, cabe preguntarse qué lugares ocupan esas mujeres dentro del sistema, y cuánta relevancia cobra su trabajo y producción intelectual para la comunidad docente.

Para realizar el análisis de la relevancia de su producción intelectual en la comunidad docente de física en particular, se consideran las actividades académicas y publicaciones dependientes de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay (APFU). Al día de hoy, la misma cuenta con 546 socios, donde 265 son mujeres y 281 hombres.

Desde sus inicios en 1989, la APFU ha realizado diferentes actividades de formación académica, como charlas, cursos, cursillos, talleres y jornadas de actualización docente. A partir de 1990, se comenzaron a desarrollar los Encuentros Nacionales de Profesores de Física (ENPF) y Encuentros Internacionales de Educación en Física (EIEF), y en el marco de ellos, talleres, conferencias y ponencias (Brito y Trinidad, 2006).

Por otra parte, entre los años 1993 y 2019, la Asociación realizó su publicación en formato de revista impresa, denominada *Educación en Física,* inscrita en el Ministerio de Educación y Cultura en abril de 1994. En ella se han publicado artículos, en general bajo la autoría de docentes, relacionados a la física y su enseñanza.

En la tabla 3, se exponen los porcentajes de participación femenina en los ámbitos mencionados.

TABLA 3. Espacios de participación y producción intelectual en el ámbito de la Enseñanza de la Física según género, en porcentaje.

	Femenino	*Masculino*
Composición de la masa social de la APFU (2025)	48,5	51,5
Talleres dictados en los ENPF y EIEF (1990 - 2025)	18,5	81,5
Talleres dictados en los ENPF y EIEF (1990 - 2020)	15,5	84,5
Talleres dictados en los ENPF y EIEF (2021 - 2025)	43,5	56,5
Conferencias y ponencias desarrolladas en los ENPF y EIEF (1990 - 2025)	19,3	81,7
Autoría de artículos en Revista Educación en Física (1993 - 2019)	22,4	77,6

Fuente: Elaboración propia

Según los registros de la Asociación, entre 1990 y 2025 se realizaron un total de 216 talleres en el marco de los ENFP y EIEF, donde 176 han sido dictados por hombres y 40 por mujeres[2]. Al comparar dos periodos diferenciados (1990-2021 y 2022-2025), se observa una tendencia al alza en la participación de mujeres como talleristas.

En los primeros 30 ENPF y EIEF[3], la participación de mujeres como coordinadoras de talleres fue notoriamente baja. De los 193 talleres realizados en el período, solamente 30 fueron dictados por mujeres, lo que equivale a uno por año. En contraste, los hombres estuvieron a cargo de 5,4 talleres anuales.

Sin embargo, este panorama se modificó en el último quinquenio (2021-2025). En el periodo se llevaron a cabo 23 talleres, de los cuales 10 fueron liderados por mujeres, duplicando el promedio anual anterior y alcanzando una representatividad de dos talleres al año con participación femenina. Por otra parte, los talleres dictados por hombres disminuyeron a un promedio de 2,6 por año.

Este cambio se hace particularmente visible en el ENPF realizado en San José en 2021, considerado un punto de inflexión en la tendencia histórica. Ese año, de los cuatro talleres realizados, tres estuvieron a cargo de mujeres, marcando un precedente significativo en términos de equidad de género.

Por otra parte, entre los años 1990 y 2025 se llevaron a cabo 150 conferencias y ponencias en los ENPF y EIEF. De ellas, 121 estuvieron a cargo de hombres y solamente 29 fueron impartidas por mujeres, lo que evidencia una marcada disparidad de representación femenina.

Asimismo, el análisis de los 38 números de la revista *Educación en Física* revela una marcada desigualdad de género en la autoría de los artículos. De los 201 trabajos publicados, 156 han sido escritos por hombres y sólo 45 por mujeres. Esto implica que, cada 10 artículos publicados, apenas 2,2 corresponden a autoras[4], lo que pone de manifiesto la baja participación femenina en la producción académica expuesta por el medio escrito.

Cabe destacar que, dentro de estos artículos se incluyen mayoritariamente publicaciones sobre física, y no sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje asociados a la disciplina.

Para el análisis de los espacios de poder ocupados por mujeres en ámbitos institucionales como la APFU y la DGES, se toman como referencias las presidencias ejercidas en la primera, y los cargos de inspección desempeñados en la segunda, además de los antiguos cargos de Coordinadores Regionales de Laboratorio en la órbita del ex CES. En la tabla 4 se exponen los porcentajes de participación en dichos ámbitos.

[2] El criterio que se ha seguido en talleres impartidos por múltiples talleristas, es considerar el género del primer tallerista, quien se asume como principal.

[3] Se excluye el ENPF 2020 donde no se realizaron talleres por realizarse el ENPF de forma virtual.

[4] El criterio que se ha seguido en artículos de autores múltiples, es considerar el género del primer autor, quien se asume como principal.

TABLA 4. Espacios de poder ocupados en el ámbito de la Enseñanza de la Física según género, en porcentaje.

	Femenino	*Masculino*
Presidencias APFU (1990 - 2025)	26,3	73,7
Inspectores de Física DGES (1985 - 2025)	64,7	35,3
Coordinadores Regionales de Laboratorio (Montevideo y Canelones)	14,3	85,7

Fuente: Elaboración propia

Del total de 19 mandatos presidenciales registrados en la APFU, 14 han sido ejercidos por hombres y sólo 5 por mujeres. Esto implica que, por cada 10 mandatos, aproximadamente 2,6 han sido ocupados por mujeres.

Sin embargo, al analizar los ejercicios de inspectores en el ámbito de la DGES, puede visualizarse una amplia mayoría femenina. Históricamente, ha habido 6 inspectores hombres, mientras que 11 han sido mujeres. Cuatro de ellos ocupan el cargo al día de hoy, donde el 75% son mujeres.

El antiguo cargo de Coordinadores Regionales de Laboratorio fue creado en dictadura y a partir de 1985 ocupados en forma legítima por profesores de referencia. Presentes en la capital y el interior -aunque no en todos los departamentos, sino en aquellos accesibles a través del transporte público del momento-, tenían a su cargo una región que comprendía varios liceos. De la reconstrucción que se pudo realizar, se obtuvo que, de 14 coordinadores, 12 fueron hombres y solo 2 mujeres; una de ellas accedió al cargo sucediendo a un coordinador.

4. Discusión y propuestas

A partir de la evidencia recabada en esta investigación, se puede afirmar que no existen diferencias significativas asociadas al género en lo que respecta al ingreso a la formación docente, el egreso, y la efectividad docente en la enseñanza de la física en educación media en la DGES. Sin embargo, cuando se analiza el egreso en la formación de posgrado específicamente en física, sí se identifica disparidad vinculada a él.

Al trasladar la idea del Efecto Matilda al sistema educativo uruguayo, resulta evidente que, por más que la docencia es una profesión profundamente feminizada, los lugares de poder y exposición académica siguen siendo ocupados fundamentalmente por hombres.

En este sentido, Cecilia Cabeza es un símbolo de resistencia, de apertura de caminos y construcción colectiva dentro de un ámbito patriarcal que históricamente le ha sido negado a las mujeres, un legado vivo extremadamente valioso para la sociedad y comunidad educativa, en especial para las mujeres de generaciones posteriores.

Graciela Scavone, por su parte, representa una mujer que supo ocupar casi todos los espacios posibles en el ámbito de la educación secundaria. Símbolo de resiliencia, valentía, determinación y deseo de aprender, es una referente para todas las profesoras -y profesores- de física.

Es urgente reconocer que como sociedad y colectivo enfrentamos un problema, cuya existencia está respaldada por una evidencia documental contundente. Tanto por acción como por omisión, hemos contribuido al estado actual de esta situación. En este contexto, es necesario y prioritario desarrollar acciones concretas y eficaces para revertirlo.

Entendemos que, desde nuestra Asociación, históricamente comprometida con la problematización y reflexión crítica de las propias prácticas en pos de una mejora permanente, estamos obligados, por esta misma tradición, a impulsar activamente dichas acciones y realizar una puesta en valor de nuestras profesoras y físicas, reflejando además la composición de género del profesorado de física de nuestro país.

En esta línea de acciones orientadas a erradicar prácticas arraigadas que perpetúan desigualdades reproduciendo inequidades, consideramos que el relanzamiento de la *Revista Educación en Física* representa una valiosa oportunidad. En este marco, proponemos considerar la posibilidad de incluir una sección permanente dedicada a reconocer y visibilizar su trabajo en cada edición.

Así mismo, proponemos promover activamente la integración equitativa en todos los ámbitos de participación de la Asociación. Esto incluye la representación paritaria en todas las comisiones, la selección e invitación de paneles de conferencistas y talleristas, autores de artículos y otras publicaciones. En esta misma línea, se debe reflexionar si se considera a todos por igual, donde explícita o implícitamente se fomentan espacios de participación masculina.

Consideramos que estas medidas de discriminación positiva no solo son un paso necesario hacia una equidad de género, sino que también una forma concreta de enriquecer nuestras perspectivas y prácticas colectivas.

Nos esperanza saber cómo, progresivamente, más mujeres ocupan espacios significativos, como el dictado de talleres en los ENPF y EIEF. En particular, vale recordar el Encuentro de 2021, donde de manera histórica la presencia femenina fue superior.

En este sentido, creemos firmemente en el valor de contar con referentes cercanas y accesibles. Así como Joan Feynman logró identificarse con Cecilia Payne, y muchas físicas y estudiantes lo hacen hoy con Cecilia Cabeza, también nuestras docentes pueden encontrar inspiración en figuras de nuestro colectivo, como la de Graciela Scavone. Referentes reales y próximas, que contrastan con modelos distantes e inalcanzables como fue Marie Curie para Joan Feynman. Construir y fortalecer esta red de identificación y pertenencia, contribuye a un marco que posibilite continuar ganando espacios de visibilidad y desarrollo profesional en el ámbito de la física y su enseñanza.

Es sabido que, muchos de nosotros, como profesionales de la educación que somos, pensamos, reflexionamos sobre nuestras prácticas, y producimos material muy valioso. El problema detectado es que muchos colegas, pero especialmente las mujeres, no están compartiendo ese precioso acervo que nos enriquecería como colectivo. Debemos reconocer la necesidad y urgencia de promover la participación activa de nuestras colegas para que compartan sus experiencias y hallazgos vinculados a nuestra profesión docente.

Estamos convencidos de que muchos de los lectores tienen pleno conocimiento de la existencia de Richard Feynman y sus aportes al desarrollo de la física. Nos preguntamos si, además, conocían la historia y contribuciones de Joan. ¿Qué posibilidades existen de que suceda algo similar respecto a nuestras colegas?

Tenemos la convicción de que este trabajo contribuirá a una reflexión crítica como colectivo sobre la situación actual, y dará lugar a nuevas propuestas, además de las sugeridas. Por otra parte, podrá ser tomado como punto de partida para nuevas líneas de investigación, que expliquen en profundidad las causas de la situación detectada, permitiendo diseñar acciones que modifiquen de manera estructural las causas que nos han llevado hasta aquí.

"Es urgente saber por qué nos pasa lo que nos pasa, cómo ha sido nuestra historia, la que no nos contaron" (Freijo, 2020a).

5. Futuras líneas de investigación

A lo largo de esta investigación han surgido nuevas hipótesis, que exceden su objetivo. Por ello, planteamos futuras líneas de investigación que podrían enriquecer y ampliar el espectro del problema.

I. En relación a la carencia de publicaciones por autoras femeninas.

En esta línea, es necesario conocer las causas de su ausencia. Nos preguntamos si las mujeres se sienten habilitadas y/o convocadas a compartir sus producciones, y qué responsabilidades nos competen como Asociación en la exclusión o autoexclusión de nuestras colegas. No se trata solo de cursar invitación, algo que se hace sistemáticamente, desde siempre. Se trata de garantizar que estas invitaciones sean sentidas como genuinas, válidas y equitativas. Uno cruza la puerta no *por haber sido* sino *por sentirse* invitado y considerar que su aporte es comparable al resto y válido.

Como se señaló anteriormente, las pasadas ediciones de la *Revista Educación en Física,* muestran una marcada predominancia de trabajos centrados en contenidos sobre física, con escaso énfasis en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Si se realiza una comparación con otras Asociaciones Internacionales, puede apreciarse que estas editan varias publicaciones, donde, al menos una de ellas está dedicada a la física y la otra a la enseñanza de la disciplina a nivel básico, medio y universitario.

Si bien nuestro medio no justifica esta multiplicidad de revistas, cabe preguntarse si, en función de la evidencia empírica y aportes teóricos, las mujeres se sienten capacitadas para realizar aportes de este tipo, temen a las críticas negativas, o bien consideran que sus mayores áreas de influencia y producción se vinculan a la educación y parece no haber espacio para ello.

II. En relación a la formación de posgrado.

Consideramos fundamental conocer la situación actual, determinar sus causas, y desarrollar estrategias que permitan enriquecer la educación en Física.

En este sentido, planteamos por un lado la necesidad de conocer si existen diferencias en la formación de posgrado por género, y cuáles son sus causas.

Por otro lado, conocer las motivaciones en relación a las áreas de estos estudios, y determinar si efectivamente las profesoras se inclinan a especializaciones relacionadas a la Didáctica, Innovación y Tecnologías, mientras que los hombres lo hacen fundamentalmente en áreas vinculadas a la Física Teórica y Experimental a la vista de los egresos por género en la Especialización en Física, y la tendencia histórica a nivel global de una inclinación de las mujeres hacia la educación.

Así mismo, es imperioso determinar si esto se vincula con la experiencia estudiantil en relación a las áreas de desempeño de sus docentes referentes en la formación de profesorado, donde, consciente o inconscientemente, se siguen reforzando espacios con predominio masculino. Al respecto, sería interesante poder reconstruir información sobre el género docente en el ámbito de Formación de Profesorado, por trayecto y Unidades Curriculares.

III. En relación a los espacios de poder.

Resulta interesante conocer el motivo por el cual los espacios de poder que ocupan las profesoras de Física están fundamentalmente en el rol de Inspectoras, mientras que la línea de mando ascendente es en general masculina.

Varias son las preguntas que nos planteamos al respecto. Entendemos que una posible explicación a la abrumadora presencia histórica en el rol, puede vincularse al tipo de tarea que se desarrolla en el cargo.

6. Agradecimientos

Agradecemos a la profesora Graciela Scavone, por su generosidad al abrirnos las puertas de su hogar, prepararnos una deliciosa ensalada de frutas, y compartir con nosotros tan cálida y sentidamente su amplia trayectoria de vida y laboral, siempre con una sonrisa.

Agradecemos especialmente al Profesor Gustavo Klein, quien nos ha proporcionado con una generosidad entrañable, una enorme cantidad y variedad de información, fruto de sus investigaciones. Al profesor Stelio Haniotis por proporcionarnos información relacionada al diploma de Especialización en Física en el periodo 2014-2024.

También a la APFU, y reconocemos que esta investigación ha sido posible gracias a su visión de mantener un registro histórico de las actividades realizadas.

7. Referencias

Administración Nacional de Educación Pública, Consejo Directivo Central. (2019). *Censo nacional docente 2018: Informe de resultados* (Compilación). https://censodocente2018.anep.edu.uy/censo/documentos/COMPILACI%C3%93N%20CENSO%202019.pdf

Barabino, G., Frize, M., Ibrahim, F., Kaldoudi, E., Lhotska, L., Marcu, L., Stoeva, M., Tsapaki, V. y Bezak, E. (2020). Solutions to gender balance in STEM fields through support, training, education and mentoring: Report of the International Women in Medical Physics and Biomedical Engineering Task Group. *Science and Engineering Ethics*, *26*(1), 275-292. https://doi.org/10.1007/s11948-019-00097-0

Brito, F. y Trinidad, G. (2006). Cronología histórica de la APFU. *Revista Educación en Física, 7*(3), 34-48. https://drive.google.com/file/d/1iCy-k8heQN5L6VSiqZmhGB4bxwexLSPA/view

Caltech. (2018, mayo 22). *Being Feynman's Curious Sister - Joan Feynman - 5/11/2018* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=fuN8UzQCRWo

Camacho, J. (2017). Identificación y caracterización de las creencias de docentes hombres y mujeres acerca de la relación ciencia-género en la educación científica. *Estudios pedagógicos*, *43*(3), 63-81. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052017000300004

ChatGPT. (2025, octubre 21). *[Imagen generada con IA que muestra a Richard y Joan Feynman].* OpenAI. https://openai.com/

Consejo de Formación en Educación. (2025). *Reportes personalizados para centros del CFE.* https://www.cfe.edu.uy/index.php/reportes-personalizados-por-centro

Dirección General de Educación Secundaria. (2025). *Escalafón Docente, Año 2025. Física.* https://www.dges.edu.uy/sites/default/files/designation/escalafones/2025%20-%202026/F%C3%ADsica.pdf

Feynman, R., Leighton, R., y Sands, M. (1963). *The Feynman lectures on physics*. Addison-Wesley.

Feynman, R. (1998). *Seis piezas fáciles. La física explicada por un genio*. Editorial Crítica.

Freijo, F. (2020a, octubre 20) ¿Realmente las mujeres encima ahora tenemos que brindar una imagen de empoderadas?. *La Capital Mar del Plata.* https://www.lacapitalmdp.com/flor-freijo-realmente-las-mujeres-encima-ahora-tenemos-que-brindar-una-imagen-de-empoderadas/

Freijo, F. (2020b, noviembre 6). No sos menos feminista por sentir que necesitás una pareja. *La Nación.* https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/florencia-freijo-no-sos-menos-feminista-sentir-nid2501929/

Guerrero, J. (2019). ¿Por qué Matilda?. En R. Giordano y A. Páez (Eds.) *Matilda y las mujeres en ingeniería en América Latina* (25-28). Universidad FASTA Ediciones. https://confedi.org.ar/download/Libro-MATILDA-y-las-mujeres-en-ingenieria-en-America-Latina-CONFEDI-LACCEI-2019.pdf

Hernández Herrera, C. (2022). La opinión de mujeres en STEM sobre lo que impulsa su inclusión. *Innovación educativa*, *22*(88), 33-55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732022000100033&lng=es&tlng=es

Hirshberg, C. (2002, abril 18). *My Mother, the Scientist.* Popular Science. https://www.popsci.com/scitech/article/2002-04/my-mother-scientist/

IFFC Instituto de Física Facultad de Ciencias (2022, diciembre 1). *Homenaje a Cecilia Cabeza.* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jGfG1oOXCcA&t=2252s

Joan Feynman. (2025, marzo 9). En *Wikipedia.* https://es.wikipedia.org/wiki/Joan_Feynman

Klein, G. (2016). *El Educador en Física de Enseñanza Secundaria. Libro II: Los Egresados y los Estudiantes de los IFPF.* Consejo de Formación en Educación.

Luzuriaga, J. (2020, octubre 5). Joan Feynman y las auroras boreales. *Página 12.* https://www.pagina12.com.ar/296933-joan-feynman-y-las-auroras-boreales

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).* https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649

Palomera, P., Martínez, C. y Morales, S. (2024). Concepciones acerca de la ciencia y el género. *Estudios pedagógicos, 50*(2), 245-263. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9913081

Solbes, J. (2011). *¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias?* Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 67, 53-61. https://www.uv.es/jsolbes/documentos/Alambique_Solbes_2011.PDF

Web of Stories - Life Stories of Remarkable People. (2019, noviembre 6). *Joan Feynman - My family history: Arriving in America (1/18)* [Video]. YouTube. youtube.com/playlist?list=PLVV0r6CmEsFwoLHwaKDx9oOReqjwdUa9S&si=xJ9xxml_I38xcp1h

Anexo: extractos del homenaje realizado a Cecilia Cabeza en el IFFC, 2022.

Raúl Montagne, en su saludo desde Brasil, manifestaba:

> *…y ahora entiendo algunas cosas mejor… fuiste madre, esposa, física y física experimental que no es poca cosa en Uruguay. Entonces ahora veo el esfuerzo enorme que debe haber significado todo eso en una ciencia dura para las mujeres y, sobre todo física, extremadamente patriarcal. Entonces tu esfuerzo era diez veces el que podría ser el mío o de cualquier otro. Es increíble como una mujer con una fortaleza… ¡Física experimental! Fuiste la "avant garde" de la física experimental en Uruguay, la "avant garde" de las mujeres físicas en Uruguay: la "avant garde" ¡qué vida!. Cecilia: cualquier homenaje es poco para todo el esfuerzo y tu trayectoria como física, como mujer física experimental* (Montagne, en IFFC, 2022, 11:38).

Cabeza, al respecto expresó *"…creo que exagera un poco Raúl. Pero bueno. Es cierto que ser física experimental en el Instituto de Física fue complicado. Ser mujer, además."* (IFFC, 2022, 13:50). Posteriormente, previo a recibir el saludo de Madeleine Renom, remarcó que fueron LAS mujeres del Instituto. Esta última, en su saludo, expresó:

> *Cecilia… me enseñó muchísimo porque como vos decías y como decía Raúl esto de la integración de la parte científica, la ciencia, las ciencias duras dentro de lo que son para nosotras las mujeres creo que no ha sido fácil. Nunca me voy a olvidar cuando no me acuerdo si era un profesor de física de Sofía o de Bernardo le dijo "que tu mamá se vaya a lavar los platos y no le dé física" y siempre quedó eso y ella con una rabia... Logró llegar a ser la primera directora del instituto de física mujer, la primera y hasta ahora la última: primera y única que lo supo llevar muy bien, que no era una tarea fácil, pero siempre con esa visión integradora, siempre queriendo hacer mejorar y siempre estando. Parecía que*

> *ella no estaba, pero Cecilia siempre estaba en todas las comisiones, en todas las cosas que podía aportar, CSIC, SNI, becas, todo, siempre trabajando muchísimo y siempre dando, siempre dando.* (Renom, en IFFC, 2022, 16:20).

Camila Sedofeito, desde Francia, remarcó que *"…sobre todas las cosas fuiste una fuente de inspiración y de orgullo de la resistencia de las mujeres en física y en especial en el Instituto de Física de Facultad de Ciencias."* (Sedofeito, en IFFC, 2022, 34:20).

En una posterior intervención de Leandro -Leo- Lagos, señaló y preguntó a Cabeza:

> *...pero es imposible no verlo: en la física sí hay un predominio masculino, tuvimos acá en este instituto de física situaciones complicadas… y vos te hiciste carrera, te dedicaste a algo que no era a lo que se dedicaban casi todos -que era la física experimental-, fuiste la Directora del Instituto. ¿Cuánto más te costó? ¿Es como decía Raúl que a vos te costó todo diez veces más? Y si te sentís en ese rol de, tal vez sin decir demasiado pero con tu ejemplo, demostrar que sí había un lugar para las mujeres también en la física.* (Lagos, en IFFC, 2022, 36:52).

Cecilia, respondió sus preguntas expresando:

> *Sí, me costó mucho. Me costó mucho más que a los demás sin duda. Fue parte de todo mi estrés y de llegar a la decisión de jubilarme; Fue parte de un esfuerzo muy grande que hice durante casi 40 años. Es un lugar difícil, pero me parece que ahora en el instituto hay mujeres y acá -cuando hablo del instituto hablo de acá y de ingeniería- hay toda una generación nueva que son las que toman la posta que todas han sido o la mayoría han sido alumnas mías y yo me siento muy orgullosa de ellas. De alguna manera -por eso yo decía hoy "Madeleine y yo fuimos LAS mujeres" durante mucho tiempo- les allanamos el camino para que hoy de hecho sean referentes en el área de la física. Son muchas, no las quiero nombrar porque me voy a olvidar de algunas seguramente, pero las veo (por lo menos cinco jóvenes acá)...y me parece fantástico que ahora estén y puedan hacer oír su voz y me parece genial la política de la facultad con la creación de la comisión de género que me ofrecieron integrarla pero yo dije que yo ya había dado mi batalla porque creo que la tienen que integrar las mujeres y los hombres también jóvenes con otra cabeza, con otra formación. Creo que uno tiene que saber también cuándo tiene que irse para dejar que la gente joven encuentre su lugar: sino seguís vos pautando el camino y no está bueno porque de alguna manera somos viejos. Entonces necesitan visiones nuevas. Entonces todas las gurisas que han sobrevivido a la licenciatura me parece que son geniales: hay muy pocas, tienen un gran camino por delante todavía para lograr realmente la igualdad, pero bueno: están ahí.* (Cabeza, en IFFC, 2022, 37:28).

Mónica Marín, Primera Decana de la Facultad de Ciencias, en el periodo de 2018 a 2022, señaló:

> *…desde mi lugar la percepción siempre era "Cecilia está colaborando en todos los lugares". Se lo escuché decir un día muy clarito a un estudiante, a un consejero estudiantil, que dijo "Cecilia es como el modelo para todos los docentes en cuanto a todas las actividades que apoya, en las que se involucra, en las que está, en las que ayuda.": como la docente más completa de toda la facultad.* (Marín, en IFFC, 2022, 46:34).

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.6

Del farol al láser:
Una recreación moderna del intento de Galileo para medir la rapidez de la luz.

Ignacio Del Pino [1], Maicol Flores [1], Bruno Melissari [1], Felipe Rinderknecht [1]

[1] *Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.*

E-mail: felipe.rinderknecht@fcien.edu.uy

(Recibido el 10/11/2025, aceptado el 9/12/2025)

Resumen

En este trabajo presentamos una metodología experimental simple y robusta para medir la rapidez de la luz en pequeñas distancias (menores a un metro) con independencia de la fuente emisora. El sistema está compuesto por un láser programable, un divisor de haz y dos fotodiodos conectados a un osciloscopio, permitiendo determinar la rapidez de la luz a partir de la relación entre el delay temporal de las señales y la diferencia de caminos ópticos (desde el divisor hasta los fotodiodos). Se emitieron señales de tipo Seno y Sinc para frecuencias de 10, 20 y 30 MHz y se utilizaron los métodos de mínimos cuadrados y de correlación cruzada para calcular el delay. Se logró determinar la rapidez de la luz con un error relativo inferior al 0.2% para el Sinc y de 0.7% para el Seno. En suma, se logró diseñar una experiencia reproducible en laboratorios educativos que permite introducir conceptos como la propagación de ondas, frecuencia de muestreo, caminos ópticos y delay entre señales; además de continuar el enfoque de los trabajos clásicos de Galileo sobre la naturaleza de la luz.

Palabras clave: Rapidez de la luz, Divisor de haz, Enseñanza de la Física, Física experimental, Óptica.

Abstract

In this work we present a simple and robust experimental methodology to measure the speed of light at short distances (less than one meter) independently of the emitting source. The system is composed of a programmable laser, a beam splitter, and two photodiodes connected to an oscilloscope, allowing the determination of the speed of light from the relationship between the temporal delay of the signals and the difference in optical paths (from the splitter to the photodiodes). Sinusoidal (Sine) and Sinc-type signals were emitted for frequencies of 10, 20, and 30 MHz, and the least-squares and cross-correlation methods were used to compute the delay. The speed of light was determined with a relative error of less than 0.2% for the Sinc and 0.7% for the Sine. In summary, a reproducible experiment for educational laboratories was designed that introduces concepts such as wave propagation, sampling frequency, optical paths, and delay between signals; in addition to continuing the approach of Galileo's classical works on the nature of light.

Keywords: Speed of light, Beam splitter, Teaching of Physics, Experimental Physics, Optic

1. Introducción

Durante una tormenta eléctrica es fácil notar cómo, tras el impacto de un rayo, el relámpago se observa antes de que se escuche el trueno. La diferencia temporal entre ambos fenómenos sugiere, de manera inmediata, que la luz y el sonido se propagan con distinta rapidez. Con esta idea en mente, en el siglo XVII el filósofo y científico Pierre Gassendi se propuso determinar experimentalmente la rapidez del sonido en el aire (Larraín, 2013).

Su experimento consistió en detonar un cañón cargado únicamente con pólvora, durante una noche sin viento, mientras un ayudante observaba a unos 1400 metros de distancia. El destello de la pólvora marcaba el inicio de la medición y el sonido del estruendo, su final. El tiempo transcurrido se medía con un pulsilogium, un rudimentario dispositivo basado en la oscilación de un péndulo que fue precursor del cronómetro. Con esta sencilla pero ingeniosa disposición, Gassendi logró estimar con notable precisión, para la época, la velocidad de propagación del sonido en el aire (Larraín, 2013).

Años más tarde, Galileo Galilei retomaría el mismo razonamiento para cuestionar una idea ampliamente aceptada: que la luz se propagaba de forma instantánea. En su obra “Diálogo: Dos nuevas ciencias” (Galilei, 1954), Galileo puso en boca de tres personajes ficticios que caracterizan formas distintas de pensar: Simplicio (con pensamientos aristotélico y geocéntrico), Sagredo (un observador neutral) y Salviati (que defiende las ideas de Galileo) una discusión sobre la naturaleza de la propagación luminosa. Allí, Salviati, propone un método experimental para comprobar si la luz requiere tiempo para desplazarse.

Allí Galileo dejó por escrito la siguiente conversación:

-Simplicio: La experiencia de cada día nos enseña que la propagación de la luz es instantánea; porque, cuando vemos disparar de muy lejos una pieza de artillería, el chispazo nos llega a los ojos, sin que transcurra tiempo; y, en cambio, el sonido no llega a nuestros oídos sino tras un intervalo perceptible.

-Sagredo: Bueno, Simplicio, lo único que puedo inferir de esa experiencia tan conocida es que el sonido, para llegar a nuestros oídos, tarda más que la luz; pero no me dice si la venida de la luz es instantánea o si, aunque rapidísima, ocupa tiempo. Esta suerte de observaciones no nos enseña más que aquello de que "en llegado el sol al horizonte, nos llega su luz a los ojos"; pues, ¿quién me asegura que los tales rayos no han llegado al sobredicho límite antes de llegar a nuestra vista?

-Salviati: Lo escaso de la fuerza probatoria así de estas observaciones como de otras por el estilo me indujo en cierta ocasión a elucubrar un método mediante el cual pueda uno averiguar con certidumbre si es en verdad instantánea la iluminación, o sea, la propagación de la luz. El que la velocidad del sonido sea tan grande como lo es, nos da la certeza de que el movimiento de la luz no puede menos de ser velocísimo. He aquí el experimento que se me ocurrió.

(Galilei, 1954, p. 29-30).

Tras desarrollar este pensamiento, Galileo intentó determinar el valor de la rapidez de la luz, para lo cual ideó el siguiente experimento: dos personas se sitúan en montañas separadas por una distancia conocida, cada una con una farola de vela. Una de ellas destapa su farola; cuando la otra percibe la luz, debe destapar la suya, generando así dos destellos sucesivos. Midiendo el intervalo entre ambos destellos y conociendo la distancia entre los observadores, Galileo esperaba estimar la rapidez de la luz. En la Figura 1 se ilustra este experimento.

FIGURA 1. Ilustración del experimento de Galileo para determinar la velocidad de propagación de la luz. Imagen creada con Gemini IA.

Sin embargo, el resultado fue infructuoso: los observadores percibían las farolas encenderse casi de inmediato. Galileo concluyó entonces que si la luz no era instantánea, su rapidez debía ser tan grande que escapaba a sus medios de observación. Aún así, este enfoque ofrecía un acercamiento empírico para mostrar que la luz tenía una rapidez finita y sentó las bases para métodos posteriores.

Actualmente, podemos preguntarnos cuáles eran las limitaciones del experimento de Galileo y cómo podrían resolverse con los instrumentos de hoy.

Por una parte, podemos afirmar que la idea de Galileo de mantener una distancia fija y determinar el tiempo que le toma a la luz recorrer esa distancia de ida y vuelta simplifica el problema debido a que convierte el

desafío en uno donde sólo hay una magnitud por medir: el tiempo de vuelo desde la emisión hasta el arribo.

Por otra parte, una de las principales limitaciones del método radica en el tiempo de reacción humano: el observador demora unas centésimas de segundo para percibir la luz y destapar su farola, un intervalo enorme si lo que queremos es medir una rapidez que en la cotidianeidad se percibe como infinita. Además, este retraso aparecía dos veces, ya que el tiempo se medía desde que el primero emitía con su farola hasta que él mismo era capaz de percibir la segunda emisión; sin contar que los instrumentos para registrar el tiempo no garantizaban precisión ni exactitud.

Si estuviéramos en tiempos de Galileo, una posible mejora podría ser que sólo se tenga un emisor que provoque el destello (o pulso) y que esta luz llegue a un espejo a una distancia fija, de modo que el propio emisor cumpla también el rol de observador al percibir la reflexión del pulso en el espejo; lo cual asegura que la luz viaje de ida y vuelta por un camino y evitando el tiempo de retardo asociado al segundo observador. No obstante, se seguiría teniendo un retraso debido a las capacidades del emisor para registrar el tiempo de arribo de la luz reflejada.

Los instrumentos actuales de medición y emisión, permiten una sincronización casi perfecta, con tiempos de retardo menores al nanosegundo (10^{-9} s) debido a que poseen una frecuencia de muestreo muy alta. Esto significa que nuestros aparatos de medición registran miles de millones de datos en un único segundo. Por ejemplo, el emisor con la farola podría ser sustituido por un láser programable, el cual se activa con un generador de señales, de forma que el pulso sea controlado, mientras que el receptor podría ser un fotodiodo el cual convierte la luz que recibe en una señal eléctrica que podemos registrar como un voltaje medible con un osciloscopio. Además, el voltaje suministrado al láser programable podría ser registrado con el mismo osciloscopio que controla el fotodiodo, de modo que la emisión y recepción tengan sus tiempos medidos con el mismo reloj. Este tipo de montaje es lo que se propone en Greaves et al. (2009).

Estos montajes actuales no serían posibles sin las propuestas previamente presentadas. Por ejemplo, los primeros refinamientos vinieron de parte de Michelson (1879) quien utilizaba la interferencia de la luz para determinar su rapidez. Posteriormente, Parker y Gold (1958), propusieron un montaje didáctico basado en pulsos de luz idénticos: generaban pares de pulsos y analizan su transformada de Fourier. Allí relacionaban los ceros del espectro de frecuencias con el intervalo temporal entre los pulsos; la desventaja es que requiere un recorrido de decenas de metros. En los años siguientes surgieron otros esquemas de laboratorio usando moduladores electrónicos y métodos de delay (Tyler 1969; Vanderkooy y Beccario 1973) para demostrar experimentalmente que la luz tarda un tiempo finito en recorrer una distancia dada. Más recientemente se han desarrollado variantes empleando punteros láser y técnicas de sincronización modernas (Carlson 1996, Gülmez 1997 y Mak y Yip 2000) con un osciloscopio. Aoki y Mitsui (2008) propusieron un montaje del tamaño de unos pocos metros el cual emplea un láser pulsado y un fotodetector conectados a un osciloscopio de alta velocidad, midiendo directamente el tiempo de vuelo de ida y vuelta del pulso luminoso. Uno de los trabajos que resalta por su originalidad es el de Toledo y López (2011) donde se utiliza un horno microondas sin plato giratorio, relacionando la distancia entre 2 puntos calientes con la longitud de onda y, conociendo la frecuencia utilizada por el horno, determinan la rapidez de la luz.

Recientemente, Rodríguez et al. (2017) recopilaron estas y otras propuestas didácticas en un contexto educativo, resaltando la importancia de cada montaje previo para lograr montajes modernos como el descrito en este trabajo.

A pesar de lo mucho que simplifican los montajes, los láseres programables suelen tener un voltaje umbral, el cual debemos superar para lograr encenderlos y que emitan luz efectivamente. Este fenómeno también puede generar la aparición de retardos entre el voltaje suministrado por el generador de señales y la emisión real del láser. Para evadir este tipo de problemas, se pueden proponer estrategias de medición que sean independientes de la emisión de la fuente.

El montaje experimental que se presenta en este trabajo sigue precisamente este principio. Un láser programable emite un pulso de luz controlado por un generador de señales, que incide sobre un divisor de haz (o espejo dicroico). Este divide el rayo en dos haces que llegan a dos fotodiodos conectados al mismo osciloscopio. La diferencia temporal entre las señales de ambos fotodiodos (el delay) permite calcular el tiempo de propagación de la luz entre sus posiciones. Repitiendo la medición mientras se varía la posición de uno de los fotodiodos, se obtiene una serie de datos cuya pendiente representa la rapidez de la luz.

Este enfoque elimina los efectos del retardo de la fuente emisora y de los instrumentos intermedios, y demuestra que, con recursos accesibles en un laboratorio de Física, es posible medir la rapidez de la luz con una gran precisión y requiriendo de distancias muy cortas, menores a un metro.

En suma, la experiencia presentada en este trabajo conserva el espíritu del experimento de Galileo,

pero lo lleva a un terreno donde la tecnología moderna hace posible lo que en el siglo XVII era apenas una intuición.

2. Materiales y métodos

2.1 Montaje experimental

El montaje experimental se ilustra en la Figura 2, donde se aprecia un módulo láser programable modelo KY008 que emite un haz lumínico regulado por un generador de señales, luego este haz es dividido por un espejo dicroico y llega a dos fotodiodos amplificados de silicio modelo PDA10A2, los cuales convierten la iluminación percibida en una diferencia de potencial que es registrada en un osciloscopio.

Con el objetivo de tener un movimiento suave del fotodiodo móvil, este fue colocado sobre un riel con un carro móvil lo cual permitía desplazarlo fácilmente y no perder la alineación con respecto al haz de luz. Para ello, previamente se alineó el eje central del riel con la dirección del haz de luz.

Para decidir las dimensiones del experimento, es decir, el tamaño del riel y el desplazamiento del fotodiodo móvil entre cada medición, se debe tener en cuenta la frecuencia de muestreo del osciloscopio; que en este experimento fue de $f_s = 50\,MHz$. Considerando un tiempo mínimo de detección de cambios de $T = \frac{1}{f_s}$ la distancia recorrida en ese intervalo es $\Delta x = cT$. En este caso, $\Delta x = 0.06\,m$, por lo que se decidió que el fotodiodo móvil fuera desplazado de a 1.0 cm, hasta completar 1.00 m. De esta forma, cada medición generó 100 series de datos de voltaje, para cada fotodiodo, en función de la distancia, reduciendo significativamente los efectos de errores aleatorios en las mediciones.

Se moduló la luz del láser por medio de un generador de señales que emitió de dos formas específicas: senoidales (Seno) y senos cardinales (Sinc). Para ambas se utilizaron frecuencias centrales de 10 MHz, 20 MHz y 30 MHz. Esta elección no fue arbitraria: previamente se ensayaron distintas señales a diversas frecuencias, como por ejemplo la función escalón, triangular, pulsos gaussianos y dientes de sierra. Sin embargo, este tipo de señales resultan difíciles de generar a las frecuencias requeridas para el experimento (del orden de los MHz), debido al funcionamiento del generador utilizado. Por este motivo se optó finalmente por emplear las funciones Seno y Sinc, que fueron las que mostraron un mejor desempeño a las frecuencias mencionadas.

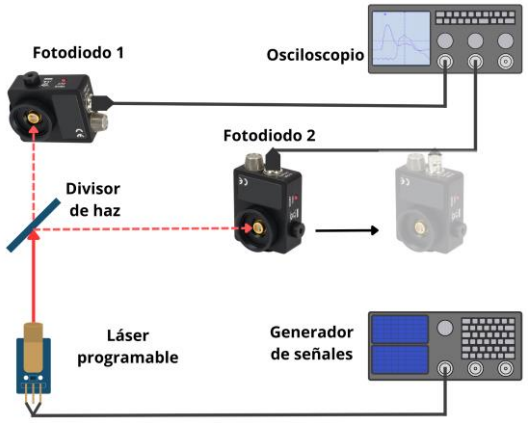


FIGURA 2. Ilustración del montaje experimental para la determinación de la rapidez de la luz.

Además del tipo de señal emitida, se realizó un estudio de amplitud para garantizar que el fotodiodo detectara correctamente el haz emitido. A partir de este estudio se determinó el voltaje umbral del fotodiodo, es decir, el voltaje de alimentación del láser para que el fotodiodo comience a detectar la señal. De esta manera se aseguró que, en todas las mediciones, la señal superase dicho valor umbral con la adición de un valor constante (llamado offset). Por lo tanto, las oscilaciones se realizaban por encima de este umbral.

2.2 Métodos de análisis de datos

La finalidad de este análisis es determinar el delay temporal entre las señales de dos fotodiodos a partir de las señales adquiridas con el osciloscopio (posteriormente normalizadas), para cada posición del fotodiodo móvil. Esto se debe a que la curva de delay temporal en función del desplazamiento del fotodiodo móvil respecto de la posición inicial se corresponde con una recta cuya pendiente es el inverso de la rapidez de la luz. Una vez obtenida dicha curva, los datos se ajustan por una recta por medio del método de mínimos cuadrados, determinando así la rapidez de la luz como el inverso de la pendiente del ajuste.

Para determinar el delay entre las señales de los fotodiodos se utilizaron dos métodos: método de mínimos cuadrados (MMC) y correlación cruzada (CC). Se intentó utilizar métodos que se basen en seguir los máximos de las señales y a partir de ellos determinar el delay, pero no se obtuvieron buenos resultados en comparación a los otros métodos utilizados, debido a que seguir máximos utiliza únicamente ese punto, y tanto MMC como CC utilizan toda la señal.

El método de mínimos cuadrados para determinar el delay entre dos señales parte de la hipótesis de que ambas señales comparten el mismo

comportamiento pero que están desplazadas temporalmente; y consiste en determinar cuál es el delay que minimiza la suma cuadrática de las diferencias (resta aritmética) entre ambas señales. En la práctica, se desplaza temporalmente una señal respecto a la otra y se calcula la suma de los errores cuadráticos entre sí, obteniendo el delay como aquel desplazamiento temporal que minimiza la suma de los errores cuadráticos. En la Figura 3 se muestra una ilustración de cómo se puede obtener el delay entre dos pulsos (S1 y S2) por medio del método de mínimos cuadrados.

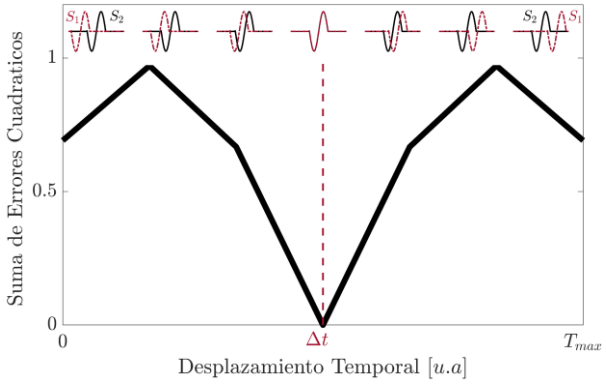


FIGURA 3. Ilustración de la obtención del delay entre dos pulsos a partir del método de mínimos cuadrados (MMC). Se observa cómo el error cuadrático mínimo se obtiene cuando ambas señales están en fase, es decir, cuando una se desplaza un Δt.

El método de correlación cruzada asume las mismas hipótesis que el MMC, sin embargo, en lugar de calcular un error cuadrático, este método se fundamenta en el hecho de que si dos señales están en fase el gráfico de una respecto a la otra será la recta identidad (recta de pendiente 1) y, por el contrario, si ambas están completamente desfasadas, este gráfico toma la forma de la recta anti-identidad (recta de pendiente -1). De esta forma, el método intenta determinar el delay entre las señales al calcular cuál es el desplazamiento temporal entre las señales que maximiza la pendiente del gráfico entre ellas. En la Figura 4 se muestra una ilustración de cómo se puede obtener el delay entre dos pulsos (S1 y S2) por medio del método de correlación cruzada al graficar la pendiente del gráfico S1 vs S2 en función del tiempo.

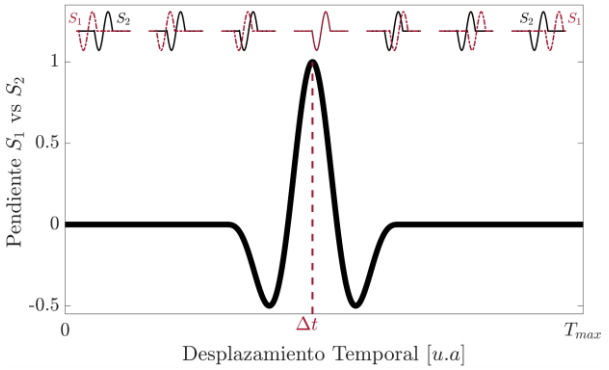


FIGURA 4. Ilustración de la obtención del delay entre dos pulsos a partir del método de correlación cruzada. Se observa cómo el máximo de correlación se obtiene cuando ambas señales están en fase, es decir, cuando una se desplaza un Δt.

3. Resultados y discusiones

En la Figura 5 se muestran los resultados de delay en función de la distancia del fotodiodo móvil respecto a la posición inicial para una modulación del láser de una señal sinusoidal para frecuencias de 10 MHz, 20 MHz y 30 MHz. Mientras que en la Figura 6 se muestran para una modulación de una señal de tipo Sinc (seno cardinal) de frecuencia central de 10 MHz, 20 MHz y 30 MHz.

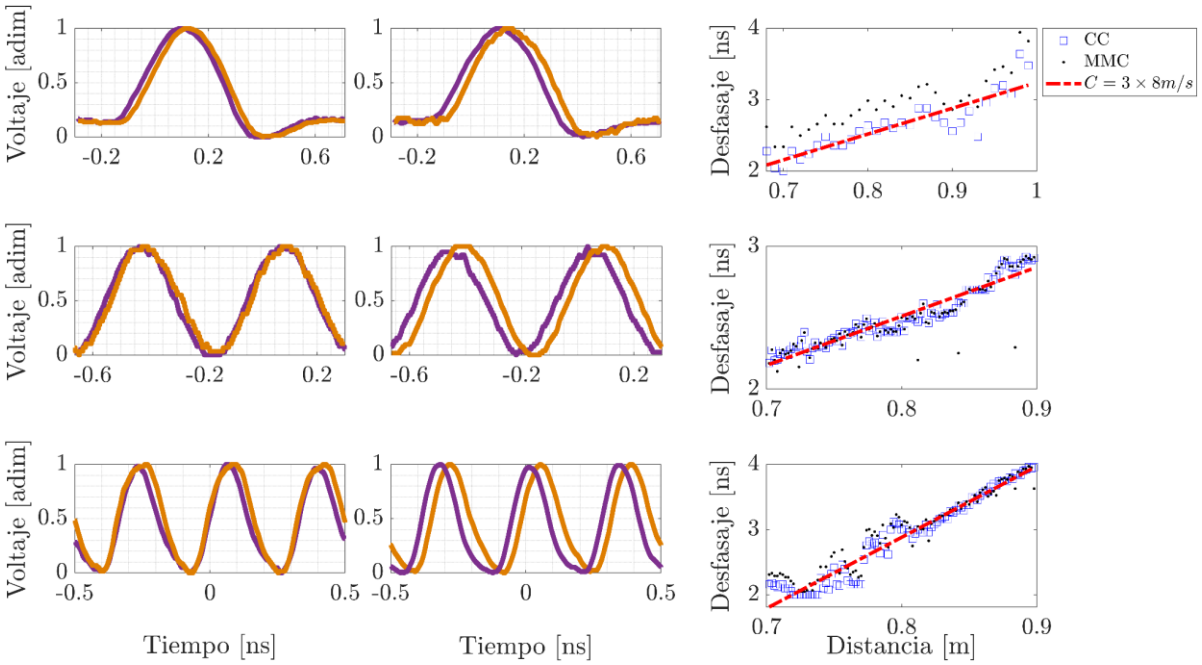


FIGURA 5. Cada fila muestra los datos para emisiones sinusoidales de frecuencia 10, 20 y 30 MHz respectivamente. En la primera columna se muestran las señales de ambos fotodiodos (violeta y naranja) para la primera toma de datos, mientras que en la segunda columna se muestra para la última toma de datos (luego de haber desplazado un metro el fotodiodo móvil). Entre las primeras dos columnas se puede observar un incremento en el delay de las señales, producto del aumento entre caminos ópticos al mover uno de ellos. En la tercera columna se muestra el delay entre ambas señales en función de la distancia del fotodiodo móvil respecto a su posición en la primera toma de datos.

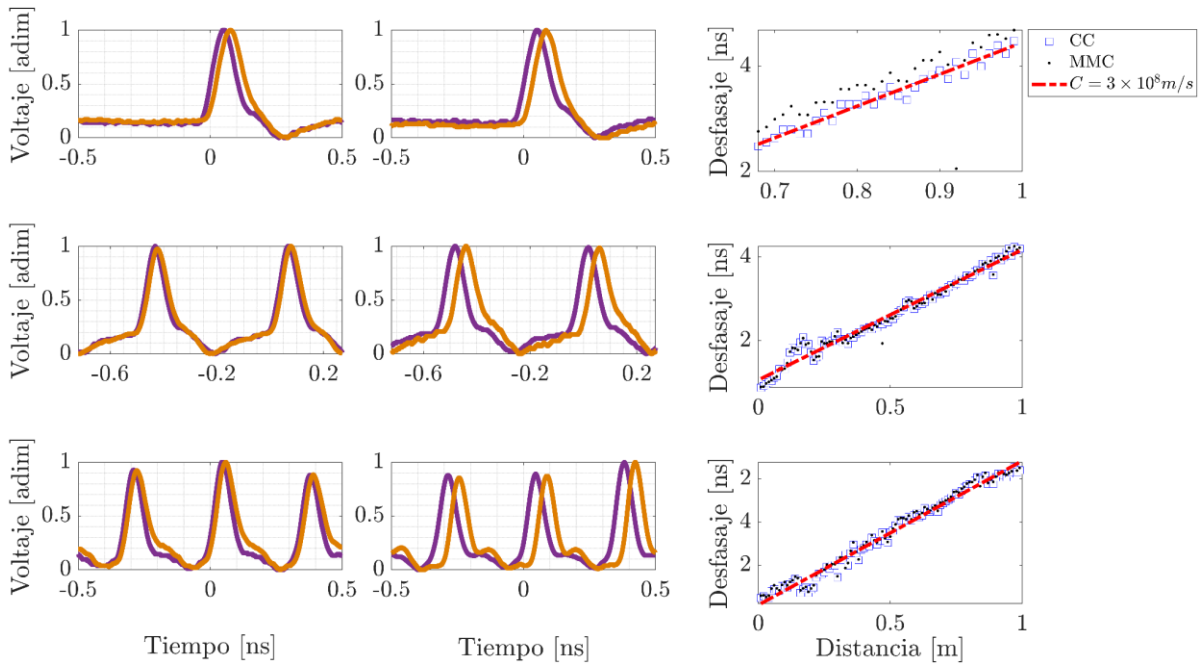


FIGURA 6. Cada fila muestra los datos para emisiones de senos cardinales de frecuencia central 10, 20 y 30 MHz respectivamente. En la primera columna se muestran las señales de ambos fotodiodos (violeta y naranja) para la primera toma de datos, mientras que en la segunda columna se muestra para la última toma de datos (luego de haber desplazado un metro el fotodiodo móvil). Entre las primeras dos columnas se puede observar un incremento en el delay de las señales, producto del aumento entre caminos ópticos al mover uno de ellos. En la tercera columna se muestra el delay entre ambas señales en función de la distancia del fotodiodo móvil respecto a su posición en la primera toma de datos

Los datos de delay función de la distancia del fotodiodo móvil que fueron presentados en las Figuras 5 y 6, fueron ajustados linealmente, obteniendo la rapidez de la luz experimental como el inverso de la pendiente del ajuste lineal. Posteriormente, se determinó el error relativo respecto al valor de referencia de BIPM (2018). Para ello se hizo uso, nuevamente, del método de mínimos cuadrados. En la Tabla 1 se resumen estos resultados mostrando el error relativo de cada una de las configuraciones y cada uno de los métodos de obtención del delay.

TABLA 1. Se muestran los resultados de error relativo obtenidos para los métodos de correlación cruzada (CC) y mínimos cuadrados (MMC) para cada señal y frecuencia.

Señal	**Método**	**Error relativo (%)**		
		10 MHz	20 MHz	30 MHz
Seno	CC	6.67	3.14	23.5
	MMC	2.60	0.679	13.6
Sinc	CC	12.7	7.10	0.219
	MMC	27.9	6.56	0.197

En la Tabla 1 se aprecia cómo una señal de tipo Sinc (seno cardinal) de 30 MHz da un error relativo de 0.197% y de 0.219% al ser analizadas con métodos de mínimos cuadrados y de correlación respectivamente. Esto conlleva a que se recomiende la utilización de este tipo de señales a la hora de replicar la práctica en instancias educativas.

No obstante, señales de tipo Seno a 10 MHz y 20 MHz o de tipo Sinc a 20 MHz, también dan errores relativos menores al 10%, lo cual los convierte en fuertes candidatos a ser las emisiones que se realicen con el láser.

Como comentario final, se destaca la exactitud obtenida en estos resultados, como para el Sinc de 30 MHz (0.197% de error relativo) o para el Seno de 20 MHz (0.679% de error relativo), que es consecuencia del análisis de medio millón de datos, es decir, proviene de 100 series de datos para cada fotodiodo de 2500 muestras por serie. Este volumen de datos facilita la reducción de ruidos y la estabilidad de las estimaciones, reforzando la robustez del método propuesto.

4. Conclusiones

Se ha diseñado y evaluado un montaje experimental que permite determinar la rapidez de la luz a partir de la diferencia de llegada de haces lumínicos a dos fotodiodos (uno fijo y otro móvil). Este enfoque, está inspirado en experimentos históricos de óptica y da continuidad a las prácticas clásicas de Galileo.

El sistema es de implementación sencilla, robusta y apto para uso en contextos educativos de secundaria y educación terciaria, pudiendo favorecer la comprensión de conceptos de frecuencia de muestreo, caminos ópticos y de delay entre señales.

El análisis de datos se realizó utilizando dos enfoques complementarios: el método de mínimos cuadrados (MMC) y la correlación cruzada (CC) para estimar el delay entre las señales de los dos fotodiodos, lo cual puede ser una oportunidad para enseñar dichas técnicas.

Se obtuvo una estimación de la rapidez de la luz con un error relativo del orden del 0.2% respecto al valor definido por el Sistema Internacional de Unidades (SI) de $c = 299\,792\,458\ m/s$ para una señal de emisión de tipo Sinc (seno cardinal) de 30 MHz. Esta exactitud respalda tanto el montaje experimental como los métodos de análisis empleados.

Como perspectivas a futuro, se propone realizar la medición en agua u otros medios. Asimismo, se planea explorar la automatización del desplazamiento del fotodiodo móvil, de manera que el experimento pueda llevarse a cabo mediante una única toma de datos. Finalmente, sería de interés diseñar un montaje experimental de menor costo, que facilite su implementación en laboratorios educativos con recursos limitados.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República por poner a nuestra disposición las instalaciones y el equipo instrumental con el cual se llevó a cabo este proyecto.

Adicionalmente, agradecemos a nuestros colegas Patricia Rodríguez, Aron Kahrs, Nicolás Sigales, Camila Sedofeito y Juan Pedro Tarigo por las charlas y discusiones acerca del montaje experimental para este proyecto.

6. Referencias

Aoki, K. y Mitsui, T. (2008). A tabletop experiment for the direct measurement of the speed of light. Am. J. Phys. 76, 812.

Carlson, J. (1996). Speed of light measurement with the láser pointer. Phys. Teach. 34, 176–177.

Galilei, G. (1954). The first day from Dialogues Concerning Two New Sciences [El primer día de Diálogos sobre dos nuevas ciencias]. Dover.

Greaves, E., Rodríguez, A., y Ruiz-Camacho, J. (2009). A one-way speed of light experiment. American Journal of Physics, 77(10), 894-896.

Gülmez, E. (1997). Measuring the speed of light with a fiber optic kit: An undergraduate experiment. Am. J. Phys. 65, 614.

Larraín Donoso, T. (2013). Práctica científica en América meridional: Experiencias sobre la velocidad del sonido en Santiago de Chile a fines del siglo XVIII. Revista de Geografía Norte Grande, (56), 189-206.

Mak, S. y Yip, D. (2000). The measurement of the speed of light using a láser pointer. Phys. Educ. 35(2) 95-100.

Michelson, A. (1879). Experimental Determination of the Velocity of Light. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science. 71-77.

Resolución 1 de la 26ta CGPM. (2018). Recuperado el 8 de diciembre de 2025. https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/26-2018/resolution-1

Rodríguez, J., Rodríguez-Rodríguez, I., y Martínez, J. (2017). Propuestas para Medir la Velocidad de la Luz en Diferentes Medios dentro de un Ámbito Docente. Elektron, 1(2), 66-74.

Parker, W. y Gold, A. (1958). Laboratory Measurement of the Velocity of Light. Am. J. Phys. 26, 481.

Toledo Baca, A. y López Varo, P. (2011). Obtención de la velocidad de la luz con un horno microondas. Revista Española de Física, 25(2), 50-53.

Tyler, C. (1969). A pedagogical measurement of the velocity of light. Am. J. Phys. 49, 740–745.

Vanderkooy, J. y Beccario, M. (1973). An inexpensive, accurate laboratory determination of the velocity of light. Am. J. Phys. 41, pp. 272–275.

ISSN: 3121-2239
DOI: http://doi.org/10.67898/39.1.7

Invierno científico: fortaleciendo vocaciones científicas en estudiantes de Educación Media.

Lucia Amy[1, 2], Gonzalo De Polsi[3], Sofia Favre[1], Brian Guzmán[2,4], Carolina Rabin[3], Andrés Vallejo[1] y Carla Yelpo[1].

[1]*Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.*
[2]*Grupo de Física, Departamento de Suelos y Agua, Facultad de Agronomía.*
[3]*Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.*
[4]*Asociación de Profesores de Física del Uruguay.*

E-mail: sfavre@fing.edu.uy

(Recibido el 10/11/2025, aceptado el 3/12/2025)

Resumen

Invierno Científico es una escuela de física destinada a estudiantes del último año de enseñanza media en Uruguay que busca acercar la experiencia universitaria y el quehacer científico a través de una propuesta intensiva de talleres, charlas y actividades de convivencia durante las vacaciones de invierno. La iniciativa nació en 2023 como un proyecto piloto y se consolidó en 2025 con una segunda edición que duplicó el número de postulaciones y amplió el cupo de 25 a 30 participantes provenientes de distintos departamentos del país.
Más que transmitir contenidos, la propuesta procura despertar vocaciones científicas, fomentar la curiosidad y el pensamiento crítico, y promover la equidad en el acceso a la cultura científica. Los talleres, diseñados por grupos de investigación de las Facultades de Ciencias e Ingeniería, abordan áreas diversas de la física contemporánea mediante estrategias experimentales, participativas y colaborativas.
En este artículo se presenta la estructura organizativa del proyecto, las estrategias de articulación interinstitucional, los cambios implementados entre ediciones y una síntesis de las valoraciones recogidas. A partir de las evaluaciones de estudiantes y talleristas, reflexionamos sobre los aprendizajes pedagógicos alcanzados y los desafíos que plantea sostener una iniciativa de formación científica temprana de alcance nacional.

Palabras clave: Escuela científica, Física, Enseñanza media, Universidad, Cultura científica.

Abstract

Invierno Científico is a physics school aimed at students in their final year of secondary education in Uruguay. The program seeks to offer students first-hand experience of university life and scientific practice through an intensive schedule of workshops, talks, and shared activities during the winter break. The school was first held in 2023 as a pilot project and was consolidated in its second edition in 2025, when the number of applications doubled and the capacity increased from 25 to 30 participants from across the country.
Rather than focusing on content transmission, the program aims to awaken scientific vocations, encourage curiosity and critical thinking, and promote equitable access to scientific culture. The workshops employ experimental, participatory, and collaborative strategies designed by research groups from the Faculties of Science and Engineering.
This article presents the organizational structure of the project, the strategies adopted for inter-institutional coordination, the main changes introduced between editions, and a synthesis of the feedback collected. Based on the evaluations from students and workshop facilitators, the article discusses the pedagogical insights gained and the challenges involved in sustaining a nationwide initiative in early scientific education.

Keywords: Science school, Physics, Secondary school, University, Scientific culture.

1. Introducción

El acceso temprano a experiencias científicas auténticas puede tener un impacto decisivo en la formación vocacional de los y las jóvenes. En Uruguay, la física, al igual que otras ciencias básicas, suele percibirse como una disciplina abstracta, alejada de la vida cotidiana. En este contexto, surgió en 2023 la iniciativa Invierno Científico: un panorama actualizado de la física del siglo XXI, impulsada por los Institutos de Física de las facultades de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de la República, con apoyo de la Sociedad Uruguaya de Física (SUF), la Asociación de Profesores de Física del Uruguay (APFU) y la Inspección de Física de la DGES. Su propósito es dar a conocer la actividad profesional de un/a físico/a, en simultáneo con la discusión y el análisis de las principales teorías físicas vigentes, a fin de posicionar las carreras en Física u otras carreras fuertemente vinculadas a esta disciplina, como opciones viables y atractivas para los y las estudiantes que se encuentran en la búsqueda de su definición vocacional.

La literatura educativa respalda este tipo de experiencias como herramientas para promover la cultura científica. Diversos estudios han mostrado que la participación en escuelas o programas científicos extracurriculares tiene un impacto positivo en el rendimiento académico, en la autopercepción de competencia científica y en la elección posterior de carreras STEM (Markowitz, 2004; Timme et al., 2013; Constan & Spicer, 2015). El impacto de la educación científica va más allá de los conocimientos técnicos; promueve habilidades de pensamiento crítico, esenciales para resolver problemas y tomar decisiones informadas en contextos complejos (National Research Council, 2012), además de promover la creatividad y la innovación (Beers, 2011). Asimismo, cuando están bien diseñados, estos espacios resultan especialmente efectivos para incrementar la participación de mujeres y de estudiantes de regiones y minorías poco representadas en las ciencias (Tsui, 2007; Calabrese Barton et al., 2013). En ese sentido, Invierno Científico se inserta en una tradición internacional de iniciativas que buscan reducir las brechas de acceso a la cultura científica y construir una comunidad más inclusiva. Estos programas, en resumen, no solo refuerzan el aprendizaje de la ciencia, sino que también fomentan la equidad y la diversidad en campos cruciales para el futuro.

Ambas ediciones se desarrollaron durante la primera semana de vacaciones de julio, con cupos de 25 y 30 estudiantes en cada oportunidad, habiéndose postulado casi 100 estudiantes de todo el país en la primera edición y casi 200 en la segunda. Durante una semana, los y las estudiantes seleccionados participaron en talleres, charlas y recorridas por las facultades, además de actividades de integración. La propuesta apostó desde el inicio a tender puentes entre los y las estudiantes de enseñanza media y el ámbito universitario de la investigación científica. Su éxito y la repercusión positiva entre docentes y estudiantes motivaron una segunda edición, Invierno Científico II (2025), donde el formato se amplió y consolidó. Lo que comenzó como una experiencia piloto se transformó, en apenas dos años, en una escuela de invierno nacional, interinstitucional y sostenible.

A continuación, describiremos primero la planificación y organización previa a la escuela (incluyendo financiación, difusión y selección de estudiantes), luego el desarrollo de ambas ediciones, cerrando con un análisis y las perspectivas de la escuela en un futuro.

2. Organización y planificación

La coordinación general estuvo a cargo de un equipo integrado por docentes de los Institutos de Física de las Facultades de Ciencias e Ingeniería, al cual en la segunda edición se incorporó un docente de enseñanza media. Su participación aportó una perspectiva pedagógica distinta y un vínculo más cercano con los y las estudiantes, lo que fortaleció la comunicación y el acompañamiento durante la experiencia.

2.1 Financiación

La búsqueda de fondos para *Invierno Científico* comenzó, en ambas ediciones, durante el año previo a su realización. En 2023 la propuesta fue presentada como proyecto al llamado *Actividades en el Medio* de la Universidad de la República, donde obtuvo financiamiento; en 2025, aunque fue nuevamente aprobada, no recibió apoyo económico. En la primera edición también se contó con el auspicio de empresas privadas, como L'Oréal y Aldenor, apoyo que no se solicitó en la segunda edición.

En ambas oportunidades, el proyecto recibió aportes de los Institutos de Física de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias, del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (PEDECIBA Física) y del Decanato de la Facultad de Ciencias. En 2025, además, el equipo organizador postuló un proyecto a los llamados de Extensión Internos de la Facultad de Ingeniería, el cual fue aprobado y financiado, permitiendo cubrir aproximadamente el 60 % de los gastos totales. El costo estimado de la primera edición fue de unos 125000 pesos

uruguayos, mientras que la segunda alcanzó los 185000 pesos, en parte por el aumento del número de participantes y por la ampliación de las actividades logísticas y recreativas.

Los fondos obtenidos se destinaron principalmente a la compra de materiales para los talleres, a las comidas de todos los participantes durante la escuela, a los traslados internos y al financiamiento de becas de transporte y alojamiento para estudiantes del interior del país. En la primera edición, el alojamiento de menores de edad en Montevideo representó una dificultad logística importante. Este aspecto fue resuelto parcialmente en 2025 gracias a la incorporación de Casa INJU, un espacio de hospedaje gratuito para estudiantes del interior gestionado por el Instituto Nacional de la Juventud. Este apoyo permitió ampliar la participación territorial y reforzar el carácter nacional del evento, aunque persiste el desafío de asegurar un esquema estable de acompañamiento y responsabilidad de las y los menores alojados.

Como novedad, en la segunda edición se incorporó la producción de materiales audiovisuales a efectos de documentar la experiencia de los y las participantes, con el objetivo de fortalecer la difusión y el registro institucional del proyecto (Material Audiovisual 2025).

2.2 Diseño del cronograma, inscripciones y selección

La planificación de *Invierno Científico* se estructuró en torno a un cronograma iniciado a finales del año previo a la realización de la escuela con la búsqueda de fondos. Durante el verano se convocó a los grupos de investigación de los Institutos de Física de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias para presentar propuestas de talleres. En la primera edición se recibieron trece propuestas y en la segunda nueve, abarcando una amplia gama de temáticas, que permitió mostrar la diversidad de la disciplina y su conexión con problemas tecnológicos, ambientales y sociales contemporáneos.

A partir de marzo se abrió la etapa de difusión, y durante abril las inscripciones, con una única convocatoria pública a través de las redes institucionales de la ANEP, la APFU y la SUF. En ambas ediciones se elaboró material gráfico —afiche, cartelería, solaperos y certificados— diseñado en la primera edición y mantenido en la segunda, donde además se incorporó un logo propio de *Invierno Científico*, consolidando su identidad visual sin afectar el presupuesto.

Las inscripciones se realizaron durante el mes de abril, recibiendo cerca de 100 postulaciones en 2023 y más de 180 en 2025, lo que demuestra un creciente interés de estudiantes de todo el país. Según los formularios de inscripción, alrededor del 70 % del total de postulantes se enteró de la convocatoria a través de sus docentes de física, lo que subraya el papel central del profesorado como mediador en la difusión y promoción de este tipo de actividades.

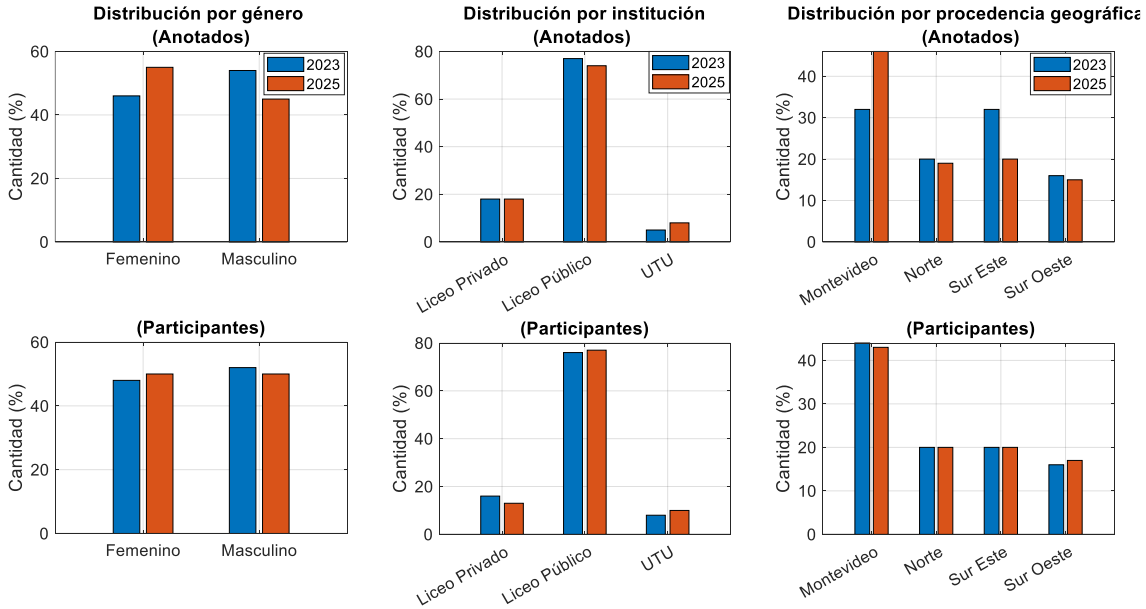


FIGURA 1. Distribución de las postulaciones y participación por género, tipo de institución procedente y región geográfica de Uruguay (ediciones 2023–2025)

La selección de participantes se realizó en mayo, mediante un sorteo ponderado por género y región geográfica, asegurando una representación equilibrada del territorio nacional. En la primera edición participaron 25 estudiantes, y en la segunda 30, con una distribución estable en torno al 55 % de mujeres y entre 55 % y 65 % de estudiantes del interior del país. En total, las y los participantes provenían de 14 departamentos, variando ligeramente entre ediciones. Si bien no se ponderó por tipo de institución, en ambos casos participaron estudiantes de liceos públicos, privados y de UTU, lo que reforzó la diversidad del grupo. Estos datos se recopilan en la Figura 1.

3. La escuela de invierno

El cronograma general de la escuela se diseñó para cinco jornadas completas de ocho horas diarias, manteniendo una estructura similar en ambas ediciones. Cada día incluyó talleres de dos horas de duración, intercalados con espacios de descanso, almuerzo y actividades de integración, además de recorridas por los laboratorios y otros espacios de interés en las facultades.

Las actividades se desarrollaron durante tres días en la Facultad de Ciencias y dos días en la Facultad de Ingeniería, lo que permitió a los y las estudiantes conocer distintos entornos académicos y de investigación. En total, más de cuarenta docentes, investigadores y estudiantes universitarios participaron en la guía de los talleres, combinando explicaciones conceptuales con experiencias experimentales e interactivas orientadas a que los y las participantes vivenciaran la física universitaria desde adentro.

3.1 La experiencia piloto (2023): diseñar y aprender sobre la marcha

La primera edición se desarrolló del 10 al 14 de julio de 2023, con la participación de 25 estudiantes de sexto de liceo y de bachillerato tecnológico (UTU). La Figura 1 muestra la distribución por género, procedencia geográfica y tipo de institución, que refleja los criterios de selección aplicados: ponderación por género y por región del país.

Los y las participantes asistieron a trece talleres distribuidos a lo largo de la semana, en las áreas: Mecánica Estadística y Cuántica, Relatividad, Sólidos cristalinos, Física cuántica y atómica, Energía solar, Física de partículas, Física no lineal, Ciencias de la atmósfera, Astronomía, Física médica, Ultrasonido, Microscopía computacional y Óptica. El ritmo intenso que esto supuso se vio reflejado en las evaluaciones, donde varios de los y las participantes señalaron la necesidad de contar con más tiempo para el descanso, la integración y la socialización, así como de equilibrar la complejidad conceptual de los talleres. Los y las talleristas, por su parte, destacaron la motivación y el compromiso del estudiantado, además de la buena organización general, pero coincidieron en la conveniencia de "relajar" el ritmo y generar más instancias de diálogo.

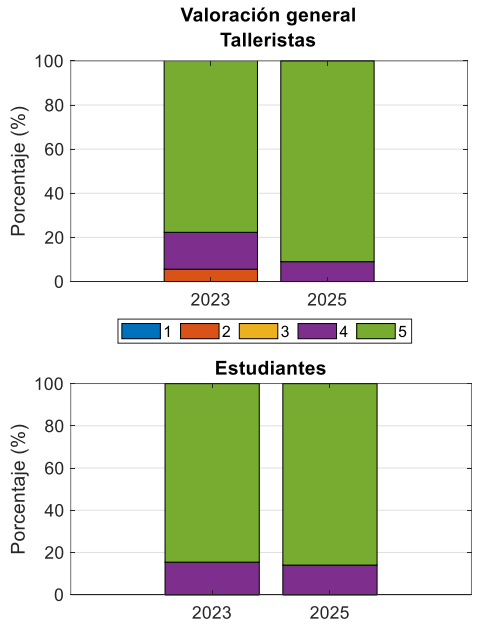


FIGURA 2. Valoración general de la escuela por estudiantes y talleristas para las ediciones 2023 y 2025. Las respuestas se expresan en una escala de 1 ("muy mala") a 5 ("excelente").

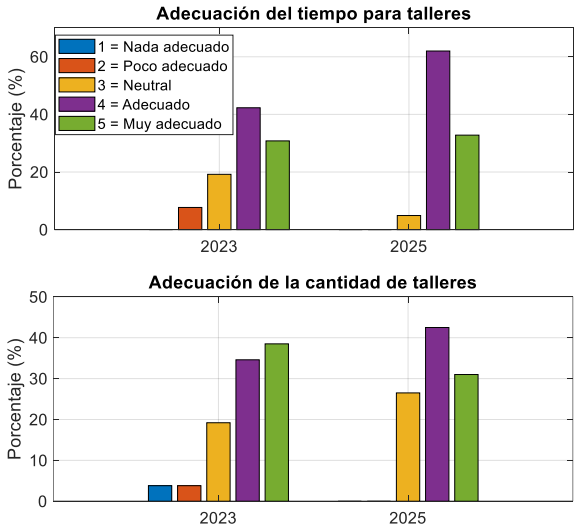


FIGURA 3. Evaluación de los y las estudiantes respecto a los talleres: cantidad y duración. Las respuestas se expresan en una escala de 1 ("nada adecuado") a 5 ("muy adecuado").

La Figura 2 muestra la valoración general de la escuela y la comparación entre talleristas y estudiantes, observándose que la variabilidad en las valoraciones fue mayor en los primeros. En la Figura 3 se presenta la percepción de los y las estudiantes sobre la cantidad y duración de los talleres, también en ambas ediciones.

Estas observaciones fueron claves para repensar la segunda edición. Como expresó uno de los docentes: "La escuela fue agotadora, pero profundamente gratificante. Nos mostró que hay un enorme potencial en abrir la Universidad a los estudiantes de enseñanza media".

3.2 La segunda edición (2025): consolidación y expansión

La experiencia de 2023 sirvió como punto de partida para una versión mejorada en 2025, planificada con varios meses de anticipación e incorporando aprendizajes logísticos, pedagógicos y financieros. En esta edición, la SUF y la APFU se integraron formalmente al comité organizador, comprometiéndose a sostener su participación en futuras ediciones. Esta ampliación institucional consolidó la articulación entre la Universidad y la educación media, fortaleciendo la proyección nacional del proyecto. Además, tres estudiantes de Ingeniería Eléctrica se sumaron al equipo de trabajo para brindar apoyo durante el desarrollo de la escuela, acompañando a los y las participantes y colaborando en las tareas de coordinación cotidiana. Estas actividades se desarrollaron en el marco de un módulo de extensión que les permitió obtener créditos para sus carreras.

Es importante recordar que la mayoría de los y las participantes aún no han alcanzado la mayoría de edad, lo que implica para la organización una responsabilidad adicional, especialmente en lo relativo al alojamiento de estudiantes del interior. A diferencia de la primera edición, en la que un grupo de participantes se alojaron en un hotel bajo la supervisión de una madre, en 2025 se pasó a utilizar el espacio gratuito brindado por Casa INJU. En este caso la supervisión fue rotativa entre integrantes de la organización. La inclusión de Casa INJU permitió reducir considerablemente el presupuesto en alojamiento y así ampliar la participación de estudiantes del interior del país, garantizando una distribución geográfica equilibrada.

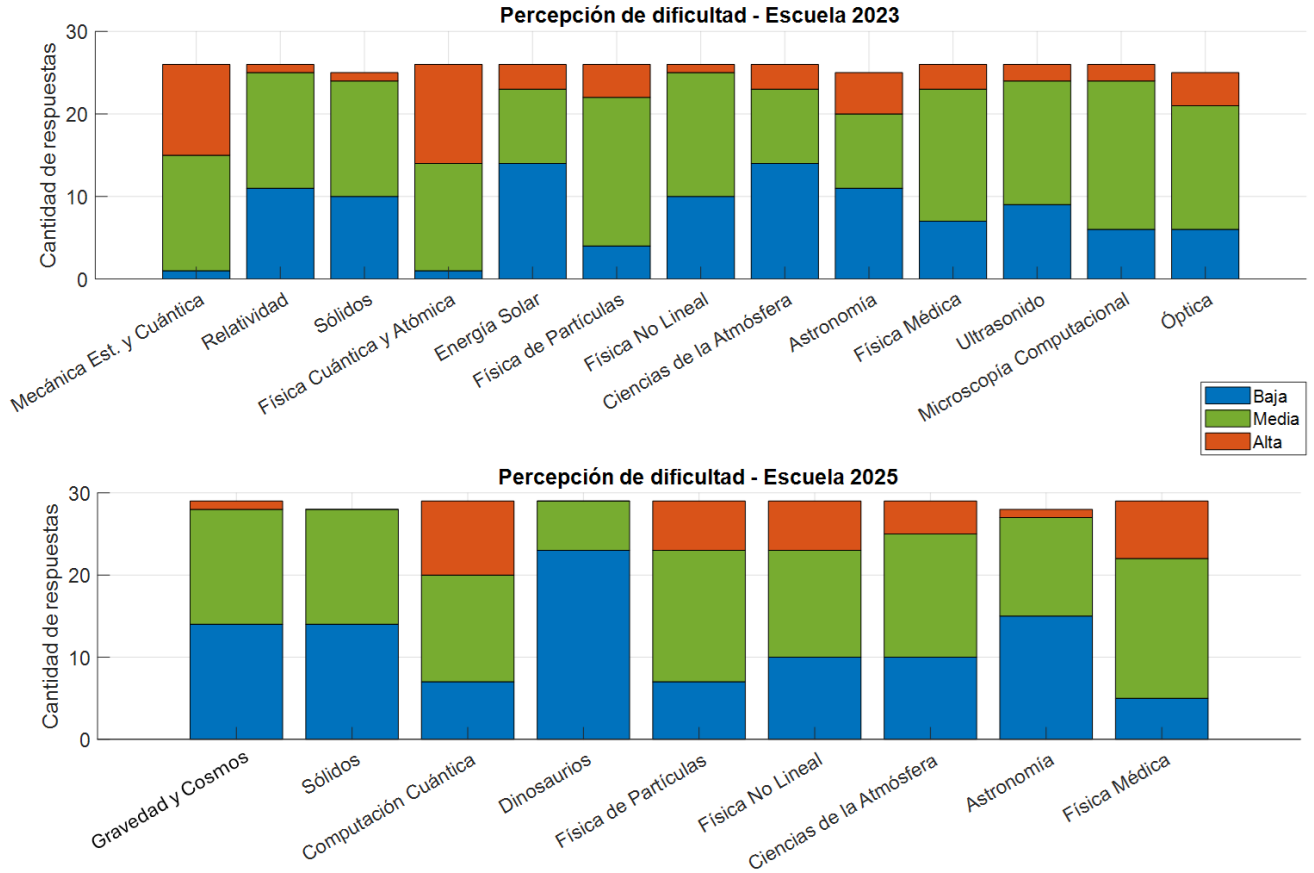


FIGURA 4. Distribución de la percepción de dificultad de los talleres en las ediciones 2023-2025.

La edición de 2025 reunió a 30 estudiantes, seleccionados nuevamente por sorteo ponderado según género y procedencia (ver Figura 1). El número de talleres se redujo a nueve: Computación cuántica, Física médica y ultrasonido, Física no lineal, Física del estado Sólido, Física de Partículas, Gravedad y cosmos, Ciencias de la atmósfera, Astronomía y Física de dinosaurios. Además, se incorporaron actividades sociales, charlas sobre vocaciones científicas y la producción de material audiovisual de divulgación que documentó la experiencia.

Las valoraciones generales resultaron alentadoras: entre los y las estudiantes se mantuvieron los altos niveles de satisfacción alcanzados en 2023, mientras que entre los y las talleristas se observó una mejor percepción de la organización y del ritmo de trabajo (ver Figura 2). La nueva distribución del calendario, con menos talleres y más espacios de integración, mejoró sensiblemente la aceptación del cronograma (Figura 3).

Por último, la Figura 4 compara los niveles de dificultad percibidos en los talleres de ambas ediciones, mostrando una distribución más equilibrada en 2025 como resultado de los ajustes implementados a partir de las evaluaciones previas. En conjunto, estos cambios consolidaron una experiencia más sostenible y formativa, manteniendo el entusiasmo de los y las estudiantes y fortaleciendo la participación de docentes e instituciones en la organización.

4. Evaluación de la escuela

Al término de la actividad se aplicaron encuestas a estudiantes y talleristas, con el objetivo de recabar sus impresiones generales sobre la actividad. La totalidad de los y las estudiantes respondió, mientras que la participación estimada entre los y las talleristas fue del 60%. Las valoraciones fueron ampliamente positivas, mejorando la aceptación general de la escuela en la segunda edición (ver Figura 2).

Los y las estudiantes destacaron la buena organización, el ambiente cálido y el entusiasmo mostrado por quienes dictaron los talleres. En su gran mayoría, los talleres fueron percibidos como accesibles y estimulantes, con un balance adecuado entre profundidad conceptual y claridad expositiva. Las actividades sociales, como las instancias de integración en el INJU y la cena de cierre, fueron especialmente valoradas por su papel en la construcción de vínculos y sentido de comunidad.

Las principales sugerencias apuntaron a extender el tiempo de los talleres y ampliar la cantidad de participantes en futuras ediciones. La pregunta final "¿Qué te llevas de la escuela?" dio lugar a respuestas en las que se destacaron con frecuencia conceptos como *aprendizaje*, *motivación*, *amistad* y *experiencia inolvidable*. Arriba de la Figura 5 se observa una nube que engloba las respuestas de ambas ediciones, y a la derecha un recuento para mostrar que, si bien hubo diferencias entre las ediciones, estas fueron pequeñas y los conceptos clave se repitieron. Algunos participantes señalaron además que la experiencia les brindó herramientas o indicios útiles para orientar su decisión vocacional.

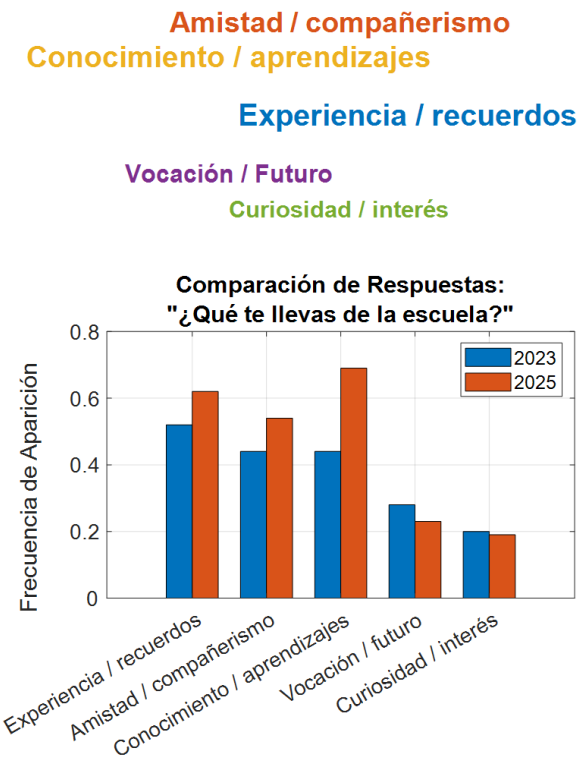


FIGURA 5. Arriba - Nube de palabras generada con los conceptos clave que arrojó la consulta "¿Qué te llevas de la escuela?" sumando ambas ediciones. Abajo - Frecuencia normalizada de aparición de cada concepto discriminado por edición.

Desde la mirada de los y las talleristas, la experiencia fue altamente enriquecedora. Se destacó la motivación del estudiantado, la calidad de la organización y el potencial de la propuesta para acercar la actividad científica a estudiantes de educación media. Muchos expresaron su interés en continuar colaborando en próximas ediciones, y varios grupos adaptaron los materiales elaborados para reutilizarlos en otras instancias de divulgación. En la primera edición, varios talleristas señalaron la conveniencia de flexibilizar el cronograma debido al cansancio acumulado que se

percibía en los y las estudiantes hacia el final de la actividad. Asimismo, sugirieron incorporar más instancias sociales y ampliar el número de participantes. Estas observaciones fueron consideradas en la planificación de la segunda edición, en la que se realizaron los ajustes posibles dentro de las limitaciones logísticas. En las evaluaciones posteriores no se registraron comentarios similares.

5. Reflexiones finales

Las conclusiones que siguen recogen los principales aprendizajes obtenidos a lo largo de las dos ediciones de *Invierno Científico*. Este balance permite identificar los factores que contribuyeron a su consolidación, las condiciones necesarias para su sostenibilidad y los desafíos que plantea su proyección futura.

Dentro de las lecciones aprendidas se destaca que un cronograma más flexible resulta en una mejor respuesta de los y las estudiantes. El alojamiento conjunto y las actividades fuera del aula fueron determinantes para crear comunidad y fortalecer la motivación. La coorganización con docentes de educación media resultó esencial, ya que permitió una mayor conexión con los intereses de los y las jóvenes.

La búsqueda de apoyos institucionales y la articulación con programas de extensión universitaria resultan fundamentales para asegurar la continuidad del proyecto. Sin embargo, estos mecanismos no siempre son suficientes, ya que la mayoría de las convocatorias son de carácter concursable y su disponibilidad depende del resultado de cada llamado. La incorporación estable de la SUF, la APFU y los Institutos de Física ha permitido, no obstante, consolidar una base de respaldo económico e institucional que brinda mayor sostenibilidad a la propuesta.

Asimismo, la experiencia acumulada a lo largo de las dos ediciones hizo posible elaborar un calendario de trabajo más claro, definir procedimientos eficientes y generar materiales reutilizables. En este sentido, la preparación de futuras ediciones demandará un esfuerzo organizativo considerablemente menor que en las instancias iniciales, lo que favorece la proyección del proyecto a largo plazo.

Cabe destacar que la participación de estudiantes de grado y posgrado como talleristas constituye en sí misma una instancia formativa de alto valor. El involucramiento en este tipo de programas, fuera de las currículas tradicionales, favorece el desarrollo de la identidad profesional, refuerza el sentido de pertenencia a la comunidad científica y potencia habilidades transversales como la comunicación y el trabajo en equipo, además de favorecer el compromiso de las nuevas generaciones con la enseñanza y la difusión de la física y de la ciencia en general (Rethman et al., 2021).

Resta evaluar en qué medida *Invierno Científico* logra alcanzar su propósito a gran escala, es decir, si la experiencia resulta efectivamente capaz de despertar vocaciones científicas. En la primera edición, un relevamiento preliminar sugirió que alrededor de un tercio de los y las participantes optó posteriormente por carreras tecnológicas, y solo dos de ellos por formaciones vinculadas directamente con la física. Sin embargo, este dato debe interpretarse con cautela: el grupo de estudiantes ya presentaba un sesgo inicial hacia áreas científico-tecnológicas, y el estudio careció de un diseño formal de seguimiento.

La dificultad de medir el impacto vocacional de una propuesta de corta duración es un desafío común en este tipo de iniciativas (Molz et al., 2022; Oppliger et al., 2019). Las decisiones sobre la elección de carrera dependen de múltiples factores que exceden la influencia directa de una experiencia puntual (Zhou & Shirazi, 2025). No obstante, la exposición temprana a la práctica científica y el contacto con docentes e investigadores pueden desempeñar un papel significativo en la conformación de la imagen social de la ciencia y en la autopercepción de los y las estudiantes como posibles futuros científicos (Maltese & Tai, 2010; Dou et al., 2019).

En futuras ediciones, sería valioso incorporar instrumentos de evaluación más sistemáticos que permitan relevar las expectativas vocacionales de los y las participantes antes del inicio de la escuela y contrastarlas con sus decisiones algunos meses después. Este tipo de seguimiento no solo brindaría una medida más precisa del impacto del proyecto, sino que también ofrecería información útil para mejorar su diseño pedagógico y fortalecer el acompañamiento a estas vocaciones emergentes.

Agradecimientos

El comité organizador agradece a los Institutos de Física de las Facultades de Ingeniería y de Ciencias, a la APFU, la SUF, al INJU y a la Inspección de Física de la DGES por su apoyo a lo largo de todo el proyecto. Asimismo, extiende su reconocimiento a las estudiantes de grado Martina Fernández, Cecilia Koziolas, Sofía Abal y Catty Lissardy, y al Magister Juan Pedro Tarigo por su colaboración en la organización. Agradecemos también a Casa INJU, y en particular a Manuel Vázquez, su responsable, por las gestiones realizadas para el

alojamiento de la delegación del interior. Finalmente, un agradecimiento especial a los y las participantes de ambas ediciones, quienes hicieron de estas experiencias verdaderos *Inviernos Científicos*.

5. Referencias

Beers, S. Z. (2011). 21st century skills: Preparing students for their future.

Calabrese Barton, A., Kang, H., Tan, E., O'Neill, T. B., Bautista-Guerra, J., & Brecklin, C. (2013). Crafting a future in science: Tracing middle school girls' identity work over time and space. *American Educational Research Journal*, *50*(1), 37–75.

Constan, Z., & Spicer, J. J. (2015). Maximizing future potential in physics and STEM: Evaluating a summer program through a partnership between science outreach and education research. *Journal of Higher Education Outreach and Engagement*, *19*(2), 117–136.

Dou, R., Hazari, Z., Dabney, K., Sonnert, G., & Sadler, P. (2019). Early informal STEM experiences and STEM identity: The importance of talking science. *Science Education*, *103*(3), 623–637.

Maltese, A. V., & Tai, R. H. (2010). Eyeballs in the fridge: Sources of early interest in science. *International Journal of Science Education*, *32*(5), 669–685.

Markowitz, D. G. (2004). Evaluation of the long-term impact of a university high school summer science program on students' interest and perceived abilities in science. *Journal of Science Education and Technology*, *13*(3), 395–407.

Material audiovisual elaborado puede encontrarse en: https://drive.google.com/drive/folders/1nZ_gJ9NtLQoXHuM_jaM60jUV6dOEHvf9?usp=drive_link

Molz, A., Kuhn, J., & Müller, A. (2022). Effectiveness of science outreach labs with and without connection to classroom learning: Affective and cognitive outcomes. *Physical Review Physics Education Research*, *18*(2), 020144.

National Research Council, Division of Behavioral, Social Sciences, Board on Science Education, & Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.

Oppliger, L. V., Nuñez, P., & Gelcich, S. (2019). Ferias científicas como escenarios de motivación e interés por la ciencia en estudiantes chilenos de educación media de la Región Metropolitana. *Información Tecnológica*, *30*(6), 289–300.

Rethman, C., Perry, J., Donaldson, J. P., Choi, D., & Erukhimova, T. (2021). Impact of informal physics programs on university student development: Creating a physicist. *Physical Review Physics Education Research*, *17*(2), 020110.

Timme, N., Baird, M., Bennett, J., Fry, J., Garrison, L., & Maltese, A. (2013). A summer math and physics program for high school students: Student performance and lessons learned in the second year. *The Physics Teacher*, *51*(5), 280–284.

Tsui, L. (2007). Effective strategies to increase diversity in STEM fields: A review of the research literature. *The Journal of Negro Education*, 555–581.

Zhou, Y., & Shirazi, S. (2025). Factors influencing young people's STEM career aspirations and career choices: A systematic literature review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1–24.