

Tendiendo puentes y disminuyendo tensiones a través de la educación. Hacia un currículo Borromeo entre teorías, experimentos, simulaciones, ciencias y humanidades

Adrián Arturo Huerta Hernández ¹

Rubén Sampieri Cábál ²

Griselda Hernández Méndez ³

Resumen

En este capítulo se propone una lectura propositiva de las tensiones que ocurren particularmente en *la enseñanza de la física*, lo cual se plantea a través de una metáfora usando el nudo (o anillos) de Borromeo: tres componentes que sólo pueden permanecer enlazados como conjunto; es decir, si se elimina uno, los otros dos se separan. La tesis central es que este tipo de nudos podrían operar en dos escalas. En la escala, que llamaremos *meso*, corresponde al ámbito de la enseñanza de la física donde es común ver un currículo cada vez más especializado, conduciendo la enseñanza a la, bien llamada *super-especialización en la física* (Brody, 1975, 1983, ca. 1980, 1993). No obstante, el distanciamiento entre la física teórica y la experimental mantiene un vínculo en la escala de la enseñanza de la física. Lo anterior rememora de cierta forma el vínculo entre las ciencias y humanidades tensionado también por un 'abismo de incompreensión mutua', como lo propone Snow, quien sugiere repensar nuestra educación para acercarlas (Snow, 1959). En la práctica, podemos ver en las escuelas, colegios o universidades

¹ Profesor investigador de Tiempo Completo de la Facultad de Física de la Universidad Veracruzana, México. Correo: adhuerta@uv.mx

² Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Filosofía de la Universidad Veracruzana, México. Correo: rusampieri@uv.mx

³ Investigadora del Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana. Correo: grihernandez@uv.mx

un vínculo entre ellas, explícito incluso en instituciones como los llamados Colegios de Ciencias y Humanidades, escala que llamaremos *macro* y donde claramente la educación sostiene ese vínculo, así como los Institutos o Facultades que sostienen el vínculo entre teorías y experimentos en física en la escala *meso*. Replanteando y repensando así el papel de la educación-aprendizaje que mantiene todo unido como en la metáfora de nudo Borromeo.

Palabras clave: educación activa, historia de la ciencia, teoría-experimento-simulación, emulsión aceite-en-agua; movimiento browniano; desarrollo de teorías, anillos borromeos.

Abstract

This chapter proposes a constructive reading of the tensions that arise particularly in physics education, using the Borromean knot (or rings) as a metaphor: three components that can only remain linked as a whole; that is, if one is removed, the other two separate. The central thesis is that this type of knot can operate on two scales. The scale we will call *meso* corresponds to the realm of physics education, where it is common to see an increasingly specialized curriculum leading to what is aptly termed super-specialization in physics (Brody, 1975, 1983, ca. 1980, 1993). However, the separation between theoretical and experimental physics maintains a link at the scale of physics education. The above is reminiscent, in a way, of the link between the sciences and the humanities, a link also strained by a «chasm of mutual incomprehension,» as proposed by Snow, who suggests rethinking our education to bring them closer together (Snow, 1959). In practice, we can see a link between them in schools, colleges, and universities, explicit even in institutions such as the so-called Colleges of Sciences and Humanities, a scale we will call *macro*, where education clearly sustains this link, as well as the Institutes or Faculties that sustain the link between theories and experiments in physics at the *meso* scale. This leads us to rethink and reconsider the role of education and learning, which holds everything together, like the Borromean knot metaphor.

Keywords: active education, history of science, theory-experiment-simulation, oil-in-water emulsion; Brownian motion; development of theories, Borromean rings.

Introducción

Nudo Borromeo a dos escalas (*meso* y *macro*)

En topología, los anillos borromeos son tres lazos enlazados globalmente: el enlace se deshace si se corta o retira uno de los componentes (Weisstein, n.d.; Wikipedia contributors, 2026a). La metáfora en el presente texto se piensa opera en dos escalas: (i) La escala que llamaremos *meso*, el acercamiento entre las aproximaciones teóricas y experimentales se dan gracias a las experiencias educativas en una escuela, facultad o instituto, tomando en consideración que la física computacional es común tanto para ámbitos educativos como en la investigación misma, involucrándose tanto en la enseñanza-aprendizaje como en la generación y aplicación del conocimiento; (ii) y el *macro*, el acercamiento entre ciencias y las humanidades sostenido por la institución educativa. En este capítulo se propone una metodología educativa que tome en cuenta las buenas prácticas relacionadas con las tendencias actuales en la didáctica de la física (Gil Pérez, D., 1998). En el capítulo se muestra la importancia de mantener las cuatro lecturas para garantizar un aprendizaje integral, a saber: 1) Lectura Histórica; 2) Lectura Experimental; 3) Lectura Teórica-Fenomenológica y finalmente 4) Lectura Computacional (simulaciones, computo científico y/o cálculo numérico), siendo estas aproximaciones teóricas, experimentales y computacionales sobre todo dirigidas al ámbito educativo a quien va dirigida esta reflexión. Lo anterior, con el objeto de entender y repensar cómo se da el aprendizaje o descripción de algún fenómeno físico generado dentro de un contexto histórico-social durante la enseñanza de la física. Se enfatiza la importancia de su papel histórico que resalta el vínculo entre las ciencias y las humanidades. Finalmente, los científicos son humanos que vivieron y padecieron incluso periodos de guerras, tensiones y otro tipo de dificultades, dimensión que consideramos se ha ido perdiendo en la súper-especialización del currículo educativo (esto de manera análoga a lo que ocurre en algunas especialidades como las médicas y tecnológicas, por ejemplo).

Aparentemente, la física teórica ha ganado terreno sobre la experimental debido al avance natural del conocimiento, ya que la experimentación de antaño era realizada con equipos simples como péndulos o resortes, en la actualidad cada vez se requiere de mayor complejidad llegando a ser necesario el uso de grandes laboratorios, así como como los aceleradores de partículas, colisionadores, telescopios espaciales, y otros recursos modernos. Lo anterior es muy claro desde el punto de vista de la investigación de frontera, y es común que en países subdesarrollados, que no cuentan con recursos para adquirir costosos equipos, dominen los avances teóricos sobre los experimentales, aunado a ello se encuentra también la física computacional, un área emergente creada con la aparición del cómputo científico que requiere tanto de la física teórica como la experimental.

Tradicionalmente el lenguaje matemático en ciencias se ha caracterizado por producir tensión entre estudiantes, familiares y profesores de diferentes niveles educativos. Lo anterior no es una regla, pero basta con observar un poco el tenso comportamiento al momento de tocar un punto matemático en el aula o en alguna reunión familiar como puede ser la entrega de calificaciones, que suelen ser bajas en matemáticas. Existen muchísimos factores que pueden determinar el aprovechamiento de las clases de física, química o biología y aunque recientemente, y gracias a la divulgación de las ciencias (e.g. ferias de ciencias, películas, plataformas de YouTube, etc.), se habla de ellas probablemente con mayor soltura y naturalidad de los avances científicos que ha tenido la humanidad hasta nuestros días. Ligado a ello se encuentra también la historia y las revoluciones industriales y tecnológicas que nos han llevado al punto donde nos encontramos actualmente, para bien o para mal. Por ejemplo, una de las experiencias educativas (EE) que es común a las diferentes áreas científicas incluyendo también a la ingeniería y probablemente a la medicina es la termodinámica. Uno de los mayores exponentes de ella en México fue el profesor Leopoldo García Colín, (García-Colín, 1976), en cuyo texto escribió lo siguiente en el prólogo de su libro:

No trataremos la termodinámica desde un punto de vista de rigor matemático, sino de rigor lógico. De aquí que sacrificaremos el empleo de argumentos matemáticos complicados para presentar los conceptos básicos en la forma más clara posible. Esperamos que este camino se apague más a la realidad física, que al fin y al cabo es lo que intentamos describir (pp. 12-13).

Esto no sólo es un indicativo de la complejidad de las ciencias, sino de los diferentes puntos de vista por los que se pueden abordar los problemas en la física. Más adelante, menciona lo siguiente:

También, debe comprenderse que un tratamiento lógico es incompatible con uno que siga el desarrollo histórico: pasaron muchos años antes de tener una idea unificada de la estructura de la termodinámica y esto se logró con base en continuas modificaciones y correcciones a los conceptos básicos que se introdujeron en la etapa inicial de su desarrollo (pp. 13).

El sacrificio del empleo de un rigor matemático, así como del contexto histórico por una exposición lógica de los temas de termodinámica puede ser muy eficiente e ilustrativo, cuando el objetivo sea concluir el programa de una experiencia educativa, o bien para usarlo como una referencia práctica y concreta, entre muchas otras bondades como su utilidad para preparar un examen. No obstante, no debe considerarse que esta es la manera en la que un estudiante vaya a adquirir una formación integral, sobre todo si este ejercicio se generaliza en todas las experiencias educativas del currículo. Lo más conveniente será incluir otro tipo de lecturas que no sólo pongan en contexto al estudiante de los avances que ha tenido la humanidad con ayuda de la ciencia debido a los descubrimientos históricos que tuvieron impacto a diferentes niveles (Carmona, 2010), como las revoluciones industriales, tecnológicas, (Brush, 1976). Esta metodología busca que el estudiante ejercite otro tipo de habilidades, como reproducir algunas experiencias prácticas

que dieron lugar al avance en el conocimiento. El desarrollo de estas capacidades se puede realizar a través de la propuesta de secuencias didácticas, como, por ejemplo: Iniciar con temas como gas ideal -> gas real (e.g. van de Waals) -> gas de fotones; o bien sistemas magnéticos ideales -> sistemas magnéticos reales (Carmona, 2010).

Desde etapas muy tempranas, los profesores pueden percibir la facilidad con la que se puede inducir la competencia en un grupo en contraste con la dificultad que se tiene para llevar a cabo un proyecto de manera colaborativa. Las emociones y las tensiones involucradas pueden dar lugar a comportamientos que han sido estudiados desde diferentes puntos de vista, como el condicionamiento que refuerza y condiciona conductas, base del conductismo, (Pavlov, 1927), (Skinner, 1938), donde se asocian estímulos y respuestas. Curiosamente un modelo de agresividad y violencia, poco predecible, discutido en la teoría de catástrofes de (Zeeman, 1976), describe el comportamiento al que se conduce el comportamiento de un perro hacia un estado crítico como ocurre en las transiciones de fase termodinámicas. Aunado a todo lo mencionado, se encuentra la falta de recursos económicos para adquirir costosos instrumentos, comúnmente importados, produciendo una tendencia en la educación hacia el aprendizaje deductivo característico del modelado matemático (teórico) en contraste del aprendizaje inductivo base del método científico experimental, culminando históricamente, con la conformación de una manera crítica de afrontar el mundo, la formación de competencias para el desarrollo y la transformación de nuestro entorno mediante la búsqueda de evidencias base fundamental de la ciencia. Lo anterior no sólo es de importancia para la investigación experimental, sino para la docencia, desde un punto de vista constructivista e incluso para la divulgación de la ciencia que busca la formación de una cultura científica basada en las experiencias y desarrollos culturales de nuestras regiones con base a las necesidades y en defensa de la desinformación, manipulación, enajenamiento y sesgos en todas sus formas de las que hemos sido presa fácil. Por supuesto no todo debe ser blanco o negro, no se pueden adoptar tendencias educativas que

favorezcan completamente el aprendizaje teórico, experimental o histórico, se debe mediar la educación para la formación integral del estudiante en todas esas áreas o posibilidades de desarrollo, en este sentido de la tendencia hacia la súper-especialización, llama mucho la atención la baja eficiencia terminal documentada, (De la Cruz, 1983). Es aquí, donde se percibe la necesidad de formar docentes-investigadores que cuenten con la capacidad de analizar, documentar, proponer cómo, cuándo y dónde sugerir cambios, adecuar y adaptarse a los retos que aparecen en el día a día, como la pandemia u otros problemas como la violencia escolar, todo ello congruente con la formación integral de los estudiantes y no sólo de un área.

Probablemente dos de las claras tendencias que se observan para prepararnos para el futuro sean: 1) El trabajo colaborativo para poder abordar retos multidisciplinares, por una parte; y 2) transitar del reduccionismo, que ha permitido a la ciencia explorar y entender muchos de los fenómenos físicos que conocemos, a la complejidad cuya característica principal es que el todo sea más que la suma de las partes.

Como ejemplo de la complejidad discutiremos el problema de los nudos, o anillos, de borromeo, que son tres anillos los cuales no tienen interacción por pares, como tradicionalmente se estudia en la física (reduccionista), en la complejidad de este problema observamos que el tercer anillo une a los otros dos produciendo un estado ligado entre los tres. Se observa que al quitar uno, el sistema se desliga completamente, por lo que vemos claramente que "la suma" (i.e. los tres anillos enlazados) es mayor que "la suma" de las partes individuales, que en ese caso no tiene interacción por pares, lo cual es una aproximación muy común desde el punto de vista reduccionista.

Penosamente, la competencia entre grupos ha llevado a fuertes fracturas y subfracturas mencionadas, (Snow, C. P. 1959, 1964), por ejemplo, la separación entre las ciencias y las humanidades en las llamadas dos culturas de Snow y a su vez dentro de la ciencia y particularmente dentro de la física la separación entre teóricos

y experimentales, conduciendo de manera histórica hasta la supuesta aparición de fenómenos inexplicables como el llamado "Efecto Pauli" (Gamow, G., 1966). *Thirty years that shook physics: The story of quantum theory*. Doubleday. Lo anterior aunado a la falta de condiciones y recursos en países subdesarrollados, la consecuente disminución del desarrollo práctico y tecnológico (transformador), comparado con el teórico que no requiere de grandes recursos como los laboratorios, recursos materiales y humanos para su desarrollo.

Regresando a la raíz educativa podemos ver que es necesario revisar que aun cuando la cooperatividad se vislumbra como un cambio educativo pertinente, es necesario estudiar los problemas de manera integral (Holística). Aun cuando se puede constatar que, es sorprendente lo que puede realizar una sola persona, a la complejidad que se puede llegar en un proyecto estudiado desde diferentes perspectivas o áreas del conocimiento. Imaginen cuánto tiempo le costaría armar un rompecabezas de un millón de fichas a una sola persona, a dos, a tres, y así sucesivamente. Es claro que trabajando en equipo (e.g. teóricos-experimentales, científicos-humanistas) se podría simplificar el trabajo armando cada quién un pedazo, pero noten que para que el rompecabezas se pueda terminar debe haber intercambio de fichas o de pedacitos entre ellos (i.e. interacciones). No obstante, es claro también que un millón de personas, sería tan difícil de coordinar, o seguramente más difícil, que si lo armara una sola persona. Por lo anterior cabe preguntarse cuál sería un número óptimo para realizar este trabajo.

Haciendo una analogía, consideremos ahora que el rompecabezas es el perfil de egreso que incluye los conocimientos, habilidades y aptitudes (teórico-prácticas) que como estudiantes apoyados por sus profesores se debe alcanzar. En este problema se pueden identificar muchos factores para alcanzar un óptimo desempeño del colectivo formado.

Por medio de la metáfora del nudo Borromeo, se puede pensar en el diseño de modelos de enseñanza integrales bajo los cuales las

prácticas instruccionales incorporan las ciencias, las humanidades y el aprendizaje basado en investigación. No una investigación híper-especializada, sino una investigación que intenta reproducir los procesos de evolución de las teorías, resolver los problemas locales, aprender de los errores de la historia, los intentos de mejorar y precisar la teoría requieren de prácticas colaborativas entre diferentes especialidades, así como, el uso de herramientas conceptuales para generar respuestas y predicciones, es decir, en este caso las metáforas y las analogías.

Punto de vista de la Filosofía

Las humanidades por medio de la filosofía, la historia y la educación aportan contenido sobre la evolución de los conceptos, por una parte, y por otra, justifican el uso de metáforas y analogías como posibilitadoras de contenido cognitivo y medio de descubrimiento y aprendizaje. La ciencia, en este caso la física, hace uso de esos tres niveles, el de su especialización teórico experimental, el del uso de metáforas y el horizonte histórico de sus teorías y experimentos en un diseño experimental integral donde lo colectivo y lo colaborativo buscan superar la mera interpretación híper -especializada.

El diseño de experimentos y la guía de investigación que se propone en el presente capítulo, como bien se ha adelantado en la introducción, tiene como objetivo generar experiencias de aprendizajes donde los tres horizontes meso (teoría, simulación, experimento) tienen una proyección o si se quiere correspondencia a nivel macro, institucional, en el sentido de una tensión entre enseñanza, ciencia y filosofía expresada en las intenciones del modelo que implica colaboración, reconocimiento del lado histórico en la evolución de las teorías, y en la representación de ese desarrollo histórico.

A continuación, presentamos la dinámica y metodología propuesta para uno de estos modelos y diseños instruccionales, en las que se puede ver cómo el alumno trabaja con cada uno de esos elementos necesarios para entender un problema (teoría, experimento, simulación), expresar preguntas, proponer

soluciones y realizar predicciones. La interpretación histórica tanto de la teoría como del propio problema, en el sentido de una evolución conceptual conceptos-teoría-problemas-experimento-soluciones, dejará ver al estudiante la necesidad de una interpretación científica basada en el trabajo colaborativo de distintos niveles de especialización y no sólo el aprendizaje nemotécnico y técnico de teorías y su aplicación. Creemos que el diseño instruccional y el diseño de experimentos siguiendo la metáfora del nudo borromeo traduce más fiel y realísticamente el desarrollo del conocimiento tanto en la ciencia como en las humanidades.

Propuesta educativa de un currículo Borromeo (Diseño Instruccional)

Se propone realizar cuatro lecturas breves que llamaremos *Lectura Histórica*, *Lectura Experimental*, *Lectura Teórica* y, finalmente, *una Lectura Computacional*. Éstas pueden realizarse de manera activa preferiblemente leídas por los propios estudiantes, recibiendo explicación, corrección y orientación por parte del facilitador. Estas Lecturas deberán ser seguidas de actividades prácticas basadas en las metodologías de aprendizaje basada en la investigación (ABI) y el aprendizaje basado en problemas (ABP) y deberán ubicar al estudiante en el contexto histórico del fenómeno físico de interés, las relaciones experimentales encontradas históricamente (i.e. Leyes de la Física) entre las mediciones de las variables representativas de cada fenómeno físico estudiado; por ejemplo, en nuestro caso de estudio, las Leyes de la Termodinámica; así como de la Fenomenología Cuántica y Estadística. Las Lecturas Teóricas y Computacionales, usarían los desarrollos matemáticos, simulaciones o cálculos numéricos, que conducen a la explicación de los Fenómenos Físicos correspondientes. Probablemente apoyadas en el libro 'Analogías y conexiones en la Física' que enfatiza a las analogías como recurso de unidad disciplinar (Volke y Flores, 2020), o bien el uso de metáforas, como el desarrollado por Sampieri Cábal donde se discute su función cognitiva en la construcción de teorías científicas (Sampieri Cábal, 2023; Sampieri Cábal, 2019). Desde el punto de vista experimental, el Laboratorio de Materiales Blandos

'Portable' se presenta como estrategia de aprendizaje e inclusión (Huerta, A., et al., 2025) de donde las lecturas experimentales podrían emerger de manera natural y sustentable. Para lo anterior es urgente establecer un criterio en los talleres de formación de profesores sobre el uso apropiado de la Inteligencia Artificial generativa atendiendo tanto los fundamentos teóricos del diseño instruccional, las teorías del aprendizaje, la secuenciación de contenidos, así como su aplicación práctica para la generación de guías de alumnos y profesores, incluyendo las evaluaciones diagnósticas, formativas y sumativas (Zapata Ros y Parodi, 2025).

A manera de ejemplo y conclusión

Basado en la microscopía óptica, usando un microscopio biológico de juguete que puede ser usado junto con una cámara de teléfono celular, lo cual es importante en casos de inclusión y sustentabilidad en lo posible. Usando una muestra: una emulsión aceite-en-agua, o leche, muy diluidas en agua es posible estudiar el movimiento browniano observando las pequeñas gotas de aceite. Cualquiera de dichas muestras puede analizarse utilizando una aplicación de seguimiento de partículas con objeto de observar su comportamiento, obtener sus coordenadas cada determinado tiempo, observado cada cuadro de las microfotografías obtenidas durante la grabación, con ello calcular el desplazamiento cuadrático medio (MSD) de las partículas. Es importante observar el hecho que el movimiento browniano observado presenta características muy peculiares, ver comparaciones en la Figura 1. En la imagen claramente se observa un comportamiento errático de las partículas, conduciéndonos a formular la pregunta en base a una duda legítima ¿Qué es lo que hace que las partículas más pequeñas se muevan como lo hacen al verlas en el microscopio? A dicha duda se pueden formular muchas posibles respuestas las cuales se pueden escribir con objeto de investigar cuáles serían las posibles respuestas. Ahora bien, si nosotros buscamos información acerca de dicho movimiento, a partir del conocimiento científico generado a lo largo de la historia de la humanidad, nos indicará que dicho movimiento es una característica universal que muestra la naturaleza granular de la materia a esas escalas, más aún, su observación confirma la existencia de átomos o

moléculas, conocida como la hipótesis atómico-molecular de la materia lo cual tiene una importancia histórica fundamental para el desarrollo tecnológico en el que se basan muchos de los avances que ha tenido la humanidad hasta el momento, por lo cual, dicha experiencia la podemos considerar una experiencia significativa que forma parte de nuestro bagaje histórico-cultural como humanidad. Se sugiere que dicha actividad pueda realizarse en grupos multigrado y sea conducida por un facilitador que tenga habilidades prácticas y el conocimiento histórico de los hechos científicos (Huerta, A., 2020). Lo anterior resume la parte experimental de nuestra práctica.

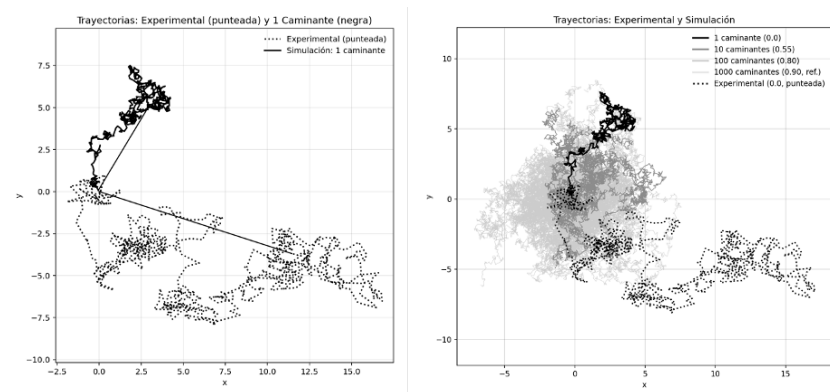


Figura 1: Comparación de las trayectorias del movimiento browniano experimental (línea punteada) que presenta una partícula microscópica de la emulsión aceite en agua, comparada con un caminante aleatorio de la simulación (línea negra), en ambas figuras. A la izquierda se indica también la distancia entre el punto inicial y final de la trayectoria que se usa para calcular el desplazamiento cuadrático medio, es decir el cuadrado de esa distancia promediado para varias trayectorias. A la derecha se muestran diferentes trayectorias obtenidas de 1, 10, 100 y 1000 caminantes aleatorios en diferentes tonos de grises para observar el contraste comparándose también con la trayectoria experimental en línea punteada.

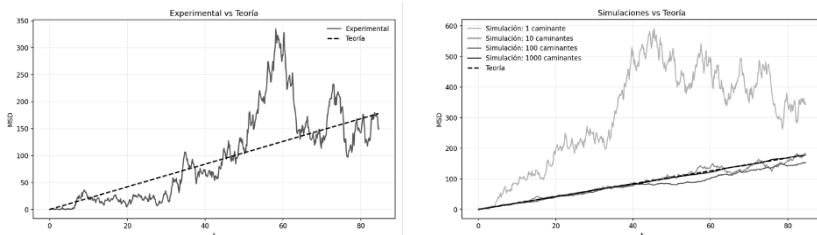


Figura 2: En estas gráficas se muestra la comparación del desplazamiento cuadrático (i. e. distancia entre el punto donde inicia el movimiento y donde termina elevado al cuadrado) obtenido los siguientes resultados comparados con la teoría. A la izquierda: comparación experimento con teoría. A la derecha: modelo computacional a través de simulaciones promediando para 1, 10, 100 y 1000 caminantes aleatorios. En ambos casos se compara con la ecuación de difusión de la teoría de Einstein.

En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos de una simulación de caminatas aleatorias las cuales presentan un desplazamiento cuadrático medio que muestra fluctuaciones comparado con la predicción teórica, similar a lo obtenido con el experimento en la figura 1. En este momento didáctico es importante inducir a que el alumnado se cuestione desde un punto de vista crítico y realice preguntas como: ¿Cómo se hizo la predicción teórica? ¿Cómo se construyen las teorías? ¿Esto ocurre en la realidad? ¿Podemos comparar con un experimento del movimiento browniano? ¿Qué tan válido es el modelo de caminantes aleatorios en la realidad? Por supuesto que si el alumnado ha perdido el interés estas preguntas no saltarán a la vista, lo cual produce tensiones entre los profesores y los alumnos, aburrimiento en algunos de ellos. En este momento puede ser importante plantear nuevos retos como: ¡comparemos con los experimentos! Por supuesto que esa sería la prueba de fuego y donde muchas personas podrían o bien motivarse o, todo lo contrario, debido a falta de tiempo y equipos entre muchas otras necesidades.

De esta forma poco a poco los modelos computacionales fueron tomando el lugar de los experimentos, así como el empleo del

cómputo para resolver ecuaciones muy complicadas desde el punto de vista teórico, integrándose la física computacional de cierta forma en el método científico experimental usado comúnmente en ciencias para obtener conocimiento de algún sistema o fenómeno físico de interés, lo cual en su momento dio lugar a las llamadas leyes de la naturaleza.

Por otra parte, y dando un salto hacia el contraste de resultados se sugiere llevar a cabo simulaciones: (i) Monte Carlo como ejemplo de una metodología estocástica, (ii) dinámica molecular como modelo mecanicista de generar trayectorias y (iii) un modelo granular del movimiento browniano. La comparación no se reduce a 'validar' un modelo: se utiliza para identificar discrepancias (como el análisis de tendencias, el confinamiento, no-gaussianidad o memoria) que motivan refinamientos y, eventualmente, nuevas teorías o modelos efectivos.

Al estudio se añade un tercer componente en otra escala macro —historia y educación activa— para sostener el vínculo que mantiene las ciencias con las humanidades. La historia funciona como genealogía: muestra cómo se formaron los conceptos, métodos y modelos que hoy definen no solo lo 'científico', sino también el componente 'humanista'. La educación activa, por su parte, opera como mediación/traducción: no solo transmite contenidos, sino que pone a los estudiantes a hacer y reflexionar (discutir, escribir, experimentar, modelar y consecuentemente generar experiencias en términos de habilidades y conocimientos), de modo que puedan reconocer y articular lenguajes y criterios distintos. Esto responde al 'abismo de incomprensión mutua' descrito por Snow y al papel central de la educación para enfrentarlo (Snow, 1959). Por lo que es necesario investigar una breve Historia de cómo se construyen y se comparan las teorías con experimentos y simulaciones.

Adrián Huerta agradece los valiosos comentarios de Arcadio Huerta sobre la importancia de los anillos Borromeos en física y topología.

Referencias bibliográficas

AcademiaLab. (2026). Efecto Pauli. AcademiaLab Enciclopedia. <https://academia-lab.com/enciclopedia/efecto-pauli/>

Brody, T. (1975). La crisis del crecimiento en la física. Fondo de Cultura Económica.

Brody, T. (1983). El concepto de estructura en la física y en la ciencia. Fondo de Cultura Económica.

Brody, T. (ca. 1980). La unidad de la ciencia y el problema del conocimiento fragmentado [Manuscrito no publicado]. UNAM.

Brody, T. (1993). Ensayos sobre la filosofía de la física (Obra póstuma). Facultad de Ciencias, UNAM.

Brush, S. G. (1976). *The kind of motion we call heat: A history of the kinetic theory of gases in the 19th century* (Vol. 6). North-Holland Publishing Company.

Carmona, G. (2010). *Termodinámica clásica* (2.ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Gamow, G. (1966). Thirty years that shook physics: The story of quantum theory. Doubleday.

De la Cruz, C. R. (1983). *La física en Xalapa*. Revista Mexicana de Física, 29(3), 449–460. <https://www.uv.mx/ffia/files/2012/09/3415-1.pdf>

García-Colín, L. (1976). Introducción a la termodinámica clásica. Trillas.

Gil Pérez, D. (1998). *Tendencias actuales en la didáctica de la física*. *Jornadas de Didáctica de la Física* en la U.P.V. https://www.researchgate.net/publication/303390142_Tendencias_actuales_en_la_Didactica_de_la_Fisica

Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y filosofía de la ciencia al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 7, 41–62.

Rendimiento académico e intelectual de un método tradicional y de un método inductivo en la didáctica de la Física.

Huerta, A. (2020). El baile de la molécula. En K. Volke y J. Flores (Coords.), *Analogías y conexiones en la Física* (pp. 12-13). CopIt-arXives / UNAM. <https://copitararchives.fisica.unam.mx/TS0020ES/TS0020ES.pdf>

Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford University Press.

Sampieri Cábal, R. (2019). Desmitificando la metáfora: postulación y plausibilidad en la construcción de teorías científicas. *Revista Portuguesa de Filosofia*, 75(4), 2479–2508. <https://philpapers.org/rec/SAMDLM>

Sampieri Cábal, R. (2023). *Ciencia y metáfora: Una perspectiva desde la filosofía de la ciencia*. UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. https://books.google.com/books/about/Ciencia_y_met%C3%A1fora_Una_perspectiva_desd.html

Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Appleton-Century.

Skuse, B. (2019, March 7). *The third pillar of science*. Physics World. <https://physicsworld.com/a/the-third-pillar-of-science/>

Snow, C. P. (1959). *The two cultures and the scientific revolution*. Cambridge University Press.

Snow, C. P. (1964). *The two cultures: And a second look*. Cambridge University Press.

Volke, K., & Flores, J. (Coords.). (2020). Analogías y conexiones en la Física. Coplt-arXives / UNAM. <https://copitarxives.fisica.unam.mx/TS0020ES/TS0020ES.pdf>

Weisstein, E. W. (n.d.). Borromean rings. MathWorld. <https://mathworld.wolfram.com/BorromeanRings.html>

Wikipedia contributors. (2026a). Borromean rings. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Borromean_rings

Zapata Ros, M., & Parodi, M. (2025). *El diseño instruccional de la educación universitaria apoyada en la tecnología y la inteligencia artificial*.

Zeeman, E. C. (1976). *Catastrophe theory*. Scientific American, 234(4), 65–83. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0476-65>