

RELACIÓN FÍSICA-MATEMÁTICA UN ESTUDIO EPISTEMOLÓGICO EN DESARROLLO CENTRADO EN EL SIGLO XIX

David Valenzuela Zúñiga, Lianggi Espinoza Ramírez
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Universidad de Valparaíso. (Chile)
david.valenzuela.z@mail.pucv.cl, lianggi.espinoza@uv.cl

Resumen

Física y matemática tienen una estrecha relación epistémica, histórica y filosófica, sin embargo, ha sido poco considerada en la construcción curricular, formación de profesores y enseñanza de la física en general. Este reporte de investigación tiene por objetivo comunicar algunas reflexiones y hallazgos generales producto de la revisión bibliográfica, y las primeras aproximaciones a las obras de Michael Faraday, James Maxwell y Oliver Heaviside.

Palabras claves: epistemología, electromagnetismo, Faraday, Maxwell, Heaviside

Abstract

Physics and mathematics have a close epistemic, historical and philosophical relationship; however, it has been little considered in curricular design, teacher training and general physics teaching. This research report is aimed at communicating some reflections and general findings from the bibliographic review, and the first approximations to the works of Michael Faraday, James Maxwell and Oliver Heaviside.

Key Word: epistemology, electromagnetism, Faraday, Maxwell, Heaviside

■ Introducción

Física y matemática tienen una estrecha relación epistémica, histórica y filosófica, sin embargo, ha sido poco considerada en la construcción curricular, formación de profesores y enseñanza de la física en general. Desde la enseñanza de la física, Redish (2005), Tuminaro (2002), Vinitzky y Galili (2014) sostienen que la matemática enseñada en los cursos, tanto a nivel escolar como universitario, no tiene relación con la utilizada en los ramos de física. La matemática se enseña como un lenguaje abstracto, lógico y perfecto, como una herramienta estudiada de manera aislada y desvincula de la realidad de los estudiantes y, que al ser puesta en uso no coincide y no sirve afectando el entendimiento y rendimiento de los estudiantes.

En esta línea, la matemática para el físico es mucho más que un simple lenguaje y va más allá de resolver ecuaciones, investigar funciones y dibujar gráficos, los físicos describen e investigan sistemas físicos, donde el resultado obtenido (a menudo en forma de resolución de problema) se compara con el sentido común y las restricciones teóricas dadas. En esta actividad, los físicos hacen estimaciones, conjeturas, omisiones y aproximaciones, a menudo extendiendo el área de validez de las herramientas usadas, más allá del rigor matemático (Vinitsky y Galili, 2014; Planinic, Milin-Sipus, Katic, Susac y Ivanjek, 2012).

La física, por otro lado, ha aportado buenos ejemplos para la matemática en el ámbito de la modelación y validación de ciertos modelos, desde los cuales se ha enfocado la enseñanza y el aprendizaje mediante la construcción de conceptos matemáticos (Arrieta, 2003; Cordero, 2008). Pero para la enseñanza de la física, la matemática ha sido más un obstáculo que un facilitador como lo menciona Brahmia, Boudreaux y Kanim (2016), produciendo a nivel curricular en la mayoría de los casos un empobrecimiento matemático de las clases de física (Barbé, Espinoza y Gellert, 2017).

La enseñanza del electromagnetismo, a pesar de las diferentes metodologías, investigaciones y del propio tiempo que invierten profesores como estudiantes en este tópico de la física, tienen resultados poco satisfactorios (Furió y Guisasola, 2001; Furió y Aranzabal, 1998; Guisasola, Almudí, Zubimedi, 2003). La enseñanza del electromagnetismo se ha centrado principalmente en la ley de Ohm y circuitos eléctricos y la investigación respecto a estos tópicos ha posibilitado el desarrollo de metodologías, la identificación de dificultades y su posicionamiento por sobre otros contenidos y conceptos como la noción de campo y su relación con el concepto de potencia que es uno de los que presenta más dificultades y que además es fundamental en el electromagnetismo (Benseghir y Closset, 1996).

La noción de campo tiene la característica de ser transversal a todo el electromagnetismo y dentro de las dificultades que tienen los estudiantes universitarios, como documenta Sandoval y Mora (2009) se identifican la visión newtoniana y no maxwelliano de las interacciones electromagnéticas. Por otro lado, la mayor complejidad matemática que exige a los estudiantes poner en uso integrales de línea, de superficie y el operador vectorial nabra pero además entrelazados con conceptos como curva de nivel, flujo eléctrico, campo eléctrico, densidad de corriente por nombrar algunos. Además muchas veces las clases teóricas de electricidad no están relacionadas con las prácticas de los estudiantes, desarrollando razonamientos en la mayoría de los estudiantes de tipo más bien mecánico, que aplican una “receta”, sin una problematización profunda al momento de interpretar la interacciones electroestáticas (Furió y Guisasola, 2001).

El álgebra vectorial es fundamental para el estudio del electromagnetismo, para su comprensión exige el dominio de conceptos matemáticos como: campo vectorial, campo escalar, operador nabra, divergencia, rotor, gradiente, pero también el cálculo de flujos, potenciales escalares y vectoriales, circulación y trabajo; todos estos conceptos se espera ingenuamente que el estudiante los vincule y ponga en uso de manera casi instantánea. La revisión realizada por Viviana Costa y Marcelo Arlego (2011), permitió agrupar los trabajos de esta línea de investigación en: 1) trabajos interdisciplinarios y contextualización de la matemática con las ciencias e ingeniería, 2) el uso de TIC como mediador en los procesos de enseñanza y aprendizaje asociados al cálculo vectorial, 3) el rol de la historia en la enseñanza del cálculo y 4) las dificultades que manifiestan los alumnos en la comprensión de fenómenos físicos asociados al concepto de campo vectorial.

Ante este contexto poco favorable para el aprendizaje de los estudiantes, los resultados académicos poco exitoso y las dificultades de los profesores para enseñar estos tópicos de manera efectiva se hace necesario comprender mejor la relación entre matemática y física, como también el cómo se vinculan estos saberes. Sabemos poco sobre cómo la matemática influye en la comprensión de la física, cómo la física influye en la comprensión de la matemática, y cómo el saber físico-matemático se ha desarrollado en la historia.

Nos hemos propuesto comprender en mayor profundidad esta relación, haciendo una indagación histórica epistemológica de estos saberes en el siglo XIX, estudiando el desarrollo de la teoría electromagnética y su vínculo con la matemática de la época.

■ Marco teórico

La teoría Socioepistemológica en sus inicios criticó las teorías didácticas, como también los enfoques constructivistas que tenían su centro en el debate teórico del conocimiento matemático, así la socioepistemología abandona la centración en el objeto matemático y su naturaleza epistemológica para privilegiar la epistemología de las prácticas asociadas a su construcción, las prácticas de referencias y la práctica social (Montiel, 2005). A pesar de los avances que se lograron en esa línea, sólo se analiza la práctica social y de referencia referidas al saber matemático, aunque muchos de estos trabajos y desde su inicio han estado estrechamente relacionados con la física. El trabajo doctoral de Espinoza (2014), no centra su estudio en el saber matemático sino en el saber mismo identificando características y situaciones de generación de conocimiento propia de la construcción de otros saberes. Así la caracterización del saber matemático es apenas un caso particular del saber desarrollado por la humanidad.

Algunas consideraciones sobre el saber

Dentro de las conclusiones que menciona Espinoza (2014) con respecto al saber, menciona que: si hay una práctica, entonces existen saberes en acción, por lo tanto, es el resultado de una construcción social, de procesos consensuados por el uso compartido de conocimientos. Asumimos al saber cómo construcción social del conocimiento, en este sentido, el saber o saberes, son procesos deliberados para el uso compartido de conocimiento. Se trata de mecanismos constructivos, altamente sofisticados, de naturaleza social, que se caracterizan por producir interacciones, explícitas o implícitas, entre mente, conocimiento y cultura. (Cantoral, 2013, p.53).

También concluye que la práctica deviene en saber y el saber en prácticas, donde cada vez en este ciclo de ir y venir se hacen más complejas, o sea generan una relación simbiótica más profunda. Esta relación es creciente y el alcance del saber está en función del desarrollo y alcance de la práctica (haciendo la salvedad de que, a diferencia de la simbiosis, estos no son elementos disímiles; más bien, están orgánicamente entrelazados) (Espinoza, 2014, p.189).

Los procesos de institucionalización y especificación del saber invisibilizan los contextos que le dieron origen, despersonaliza y descontextualiza. Por ejemplo, los procesos germinales que dieron origen a un determinado saber matemático desaparecen del discurso, de las instituciones y se desnaturaliza el saber. En los momentos de constitución de un saber podemos distinguir una etapa de origen que está en estrecha relación con la naturaleza y prácticas, luego este saber se desarrolla comienzan a darse los

procesos de difusión institucional, para luego comenzar a ser parte de otros saberes de otras comunidades, en otras prácticas. Lo anterior, no impide que desde la transversalidad se puedan producir nuevos saberes.

Dentro de las características que destacan del saber se mencionan:

- El saber aglutina a la comunidad: El compartir cierto saber en una comunidad, este actúa como un agente integrador, organizador y de difusión. Haciendo que una determinada práctica permanezca en el tiempo, en el sentido de compartir y convivir en comunidad.
- El saber está en constante expansión. El saber al llegar a un máximo desarrollo dentro de una comunidad, hace que se produzcan quiebres, rupturas en la forma de ver al saber por esta comunidad, estos quiebres abren nuevas alternativas para la creación y la innovación, que complementan los saberes anteriores. Este proceso puede ser violento, pero luego de un tiempo vuelve a estabilizarse.
- El saber “vive” entrelazándose con otros saberes: Muy a menudo se suele asociar a una práctica de referencia, por lo tanto, en su naturaleza no existe la fragmentación ni la especificidad, sino que viven en relación con otros, en la transversalidad. El saber ligado a una práctica específica existe, se desarrolla y está en constante expansión, pero aquello se da en la transversalidad.
- El saber produce lenguaje y representaciones comunes: Estas estrategias de representación son esenciales para la comunicación y el pensamiento. En el proceso de institucionalización y los procesos de difusión, estos lenguajes comienzan a ser compartidos entre las comunidades, como también las representaciones. Ambas tanto lenguaje como representaciones están en función del desarrollo de la práctica. La producción de saber y su difusión están íntimamente vinculadas en todo momento.

Principios de la socioepistemología

La teoría socioepistemológica tiene 4 principios de distinta naturaleza que permean toda la teoría, y por tanto la investigación. Estos principios fundamentales el principio normativo de la práctica social, el principio de la racionalidad contextualizada, el principio del relativismo epistemológico y el principio de resignificación progresiva o apropiación (Cantoral, 2013).

■ Metodología

Esta investigación se posiciona desde un paradigma cualitativo de investigación; la metodología utilizada se encuentra actualmente en desarrollo y tiene por objetivo el estudio socioepistemológico de obras antiguas. Hemos considerado algunos aspectos propios de la metodología cualitativa, como el análisis de contenido (Piñuel, 2002; Krippendorff, 2016) y el análisis documental (Garrido, 2001), en coordinación con algunos elementos teóricos particulares de la socioepistemología (Espinoza, 2014; Espinoza y Cantoral, 2010).

El diseño metodológico contempla dos etapas: una internalista y otra externalista. En la primera, se estudia el contenido matemático de la obra, aplicando las técnicas propias del análisis de contenido (Krippendorff, 2016), pero siempre considerando los aspectos contextuales de la obra. La segunda etapa, se estructura en base a las categorías de análisis propuestas por Espinoza y Cantoral (2010). Concebimos

así a la obra como una producción con historia, un objeto de difusión y parte de una expresión intelectual más global.

Las obras que hemos escogido son *Experimental Research in Chemistry and Physics* (Faraday, 1859); *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Maxwell, 1891/1954) y *Electromagnetic Theory* (Heaviside, 1893).

■ Resultados y conclusiones

Los resultados que se mencionan en este avance de investigación están centrado en tres aspectos: la revisión bibliográfica, la metodología y las primeras impresiones sobre la relación física-matemática.

La revisión bibliográfica muestra que no existen estudios epistemológicos de la relación física-matemática focalizadas en la enseñanza y aprendizaje, cuando se hacen estudios epistemológicos la física para los matemáticos es apenas una buena forma de contextualizar o significar los conceptos matemáticos. Por el contrario, cuando se hacen estudios epistemológicos desde la física, la matemática se considera como una herramienta o lenguaje. Esta separación entre matemática y física, producto de los procesos de institucionalización y especialización del saber, ha sido más una dificultad que una ventaja en los procesos de enseñanza, por ello el interés de investigar al respecto posicionado desde la no fragmentación de los saberes.

También se evidencia que el desarrollo de la didáctica específica de la física es un campo emergente a nivel latinoamericano, su desarrollo ha estado vinculado a la didáctica de las ciencias experimentales, la que si bien comparten características como ciencias empíricas, la física tiene una naturaleza epistémica distinta, pues tiene una estrecha, profunda y significativa relación con la matemática que las otras ciencias no comparten.

El siglo XIX es un fragmento de la historia del desarrollo del saber humano, entendido desde Cantoral (2013) que tiene gran importancia para el desarrollo del álgebra y cálculo vectorial, sabemos que el cálculo es una evolución de la geometría desde los infinitésimos, sostenemos que el cálculo vectorial es otra evolución más de lo geométrico, pero como resultado de una combinación de la geometría analítica y el cálculo infinitesimal, nuestra misión será defender esta tesis, como también mientras estudiamos el saber físico-matemático de esta época comprender la relación físico-matemático a través del electromagnetismo y su relación con el desarrollo del cálculo vectorial, considerando como tesis el saber físico y matemático como uno solo.

■ Referencias bibliográficas

- Arrieta, J. (2003). *La práctica de modelación como proceso de matematización en el aula*. Tesis de Doctorado no publicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. México.
- Barbé, J., Espinoza, L. y Gellert, U. (2017). El empobrecimiento matemático de las propuestas de enseñanza de Física en los textos oficiales de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 71-88.
- Benseghir, A. y Closset, J. L. (1996). The electrostatics - electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18(2), 179-191.

- Brahmia, S., Boudreaux, A. y Kanim, S. E. (2016). Obstacles to mathematization in introductory physics. *arXiv preprint arXiv:1601.01235*.
- Cantoral, R. (2013). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa*. México: Gedisa.
- Cordero, F. (2008). El uso de las gráficas en el discurso del cálculo escolar. Una visión socioepistemológica. En R. Cantoral, O. Covian, R.M. Farfán, J. Lezama y A. Romo (Eds.), *Investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: Un reporte Iberoamericano* (pp. 285 -310). México: Ediciones Díaz de Santos.
- Costa, V. A. y Arlego, M. (2011). Enseñanza del Cálculo Vectorial en el contexto de la ingeniería: una revisión bibliográfica. En A. R. Carioca, M. P. Bilbao y M.P. Gazzola (Eds.), *Actas en el I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática (I CIECyM) y II Encuentro nacional en Enseñanza de las Ciencias (II ENEM)* (pp. 88-94). Tandil: NIEyT.
- Espinoza, L. (2014). *La desescolarización del saber: su construcción social desde el malabarismo y las artes circenses*. Tesis de Doctorado no publicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. México.
- Espinoza, L. y Cantoral, R. (2010). Una propuesta metodológica para estudios socio históricos: El caso de la teoría de funciones de Lagrange. En P. Lestón (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa: Vol. 23* (pp. 889-897). México DF: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.
- Faraday M. (1859). *Experimental Research in Chemistry and Physics*. London: Printers and publisher to The University of London. (Vol.1). Recuperado de: <https://archive.org>.
- Furió, C. y Aranzabal, J. G. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(1), 131-146.
- Furió, C. y Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, 19(2), 319-334.
- Garrido, M. (2001). Fundamentos del análisis documental. En J. López (Ed), *Manual de Ciencias de la Documentación* (pp. 337-358). Madrid: Pirámide, 2002.
- Guisasola, J., Almudí, J. M. y Zubimendi, J. L. (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 079-94.
- Heaviside, O. (1893). *Electromagnetic Theory* (Vol. 1). New York: The D. Van Nostrand Company. Recuperado de <https://archive.org>.
- Krippendorff, K. (2016). *Content Analysis: An introductions to Its Methodology*. Los Angeles: SAGE Publications, Inc.
- Maxwell, J. C. (1891/1954). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. New York: Dover.
- Montiel, G. (2005). Estudio Socioepistemológico de la función *Trigonométrica*. Tesis de Doctorado no publicada, Centro de Investigación en Ciencias Aplicada y Tecnología Avanzada. México.
- Piñuel, J. (2002). Epistemología, metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1), 1-42.
- Planinic, M., Milin-Sipus, Z., Katic, H., Susac, A. y Ivanjek, L. (2012). Comparison of student understanding of line graph slope in physics and mathematics. *International journal of science and mathematics education*, 10(6), 1393-1414.
- Redish, E. (2005). Changing student ways of knowing: What should our students learn in a physics class. *Proceedings of World View on Physics Education 2005: Focusing on Change*. New Delhi. Recuperado de <http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/IndiaPlen.pdf>
- Sandoval, M. y Mora, C. (2009). Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(3), 24.
- Tuminaro, J. (2002). *How Students Use Mathematics in Physics: A Brief Survey of the Literature*. Recuperado de: <http://www.physics.umd.edu/perg/math/UsingMath.Pdf>.

Vinitsky-Pinsky, L. y Galili, I. (2014). The Need to Clarify the Relationship between Physics and Mathematics in Science Curriculum: Cultural Knowledge as Possible Framework. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116(1), 611-616.