

La historia de las matemáticas como recurso didáctico para enriquecer su enseñanza mediante simulaciones

Magally Reyes Martínez¹, Alejandro Garciadiego Dantán²

(1) Centro Universitario Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México, Av. Hermenegildo Galeana 3, María Isabel, 56615 Valle de Chalco Solidaridad, México, e-mail: mmreyes@hotmail.com

(2) Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, Coyoacán, 04510 Ciudad Universitaria, CDMX, México, e-mail: gardan@ciencias.unam.mx



Presentado en eXIDO 21

RESUMEN

La función didáctica que tiene la historia de las matemáticas para incidir en la comprensión de sus fundamentos y evidenciar la dificultad de conceptos, plantea alternativas de enseñanza para el cálculo diferencial, la materia de mayor reprobación a nivel superior. Se presenta la obra de Francisco Antonio Bataller, uno de los primeros profesores de matemáticas de la Nueva España del siglo XVIII, con sus tratados sobre hidrodinámica y óptica para problemas de minería. Además, se analiza el primer libro de texto de matemáticas de Benito Bails que presenta problemas de optimización que aún se utilizan en libros de texto contemporáneos. Estos fundamentos permiten elaborar modelos simulados usando tecnología para tratar la derivada y propiedades de optimización, tomando así estos problemas un sentido diferente para los estudiantes de ingeniería de primer año universitario. Se presentan resultados de aplicación de estas actividades en 90 alumnos de primer semestre de Informática Administrativa en la Universidad Autónoma del Estado de México durante el periodo de pandemia.

Palabras clave: Historia de las matemáticas, Cálculo diferencial, Matemáticas novohispanas, Simulaciones, Optimización

ABSTRACT

The didactic function of the history of mathematics to influence the understanding of its foundations and to show the difficulty of concepts raises teaching alternatives for differential calculus, the subject with the highest failure rate at the higher level. The work of Francisco Antonio Bataller, one of the first mathematics professors in New Spain in the 18th century, is presented, with his treatises on hydrodynamics and optics for mining problems. In addition, the first mathematics textbook by Benito Bails is analyzed, which presents optimization problems that are still used in contemporary textbooks. These fundamentals allow elaborating simulated models using technology to deal with the derivative

and optimization properties, thus taking these problems in a different sense for first-year undergraduate engineering students. Results of application of these activities in 90 first semester students of Administrative Informatics at the Universidad Autónoma del Estado de México during the pandemic period are presented.

Keywords: History of mathematics, Differential calculus, Novo-Hispanic mathematics, Simulations, Optimization.

INTRODUCCIÓN

El estudio de una carrera universitaria en las áreas tecnológicas se caracteriza por un alto contenido de asignaturas de matemáticas, la razón de ser es que los contenidos de diversas materias como álgebra, geometría analítica, cálculo, estadística y probabilidad, entre otras, aportan elementos que serán utilizados posteriormente a lo largo de la carrera. De manera que, por tradición, los contenidos de estas materias se imparten preferentemente con un acercamiento teórico y riguroso y posteriormente, en el mejor de los casos, se usan en algunas aplicaciones (Cantoral, 2012; González-Martín, 2018); este enfoque ha generado dificultades en el aprendizaje de las matemáticas en nivel superior (Matamoros, 2018; Martínez, Soberanes y Cruz, 2020) y altos índices de deserción (Berrocoso, 2015; Christensen, 2008).

Ante ello, surge una postura donde se debe analizar la pertinencia de las matemáticas en carreras con enfoque tecnológico para formar competencias, habilidades y conocimientos útiles para su formación profesional (Rooch et.al., 2016; Wedelin et.al., 2009). En este sentido, comunidades académicas preocupadas por la relación del aprendizaje de las matemáticas en carreras de ingeniería han buscado alternativas para mejorar su incorporación en estudiantes de ingeniería y por lo tanto en el ejercicio de su profesión (Granados, 2009; González-Martí, 2018). Un primer acercamiento es conectar los métodos básicos de matemáticas con aplicaciones reales (Moreno, 2007; Ellis, Kelton y Ramsmussen, 2014) o bien introducir modelización matemática (Rodríguez, 2010; Loch y Lamborn, 2016) y resolución de problemas

sustentado en alguna teoría didáctica (Martínez, Soberanes y Cruz, 2020): ontosemiótica, socioepistemología, orquestación instrumental, etc.

Además, se han identificado algunos obstáculos que dificultan la enseñanza de las matemáticas en escuelas de ingeniería que tienen que ver con: Obstáculos epistemológicos (Castela, 2016), Obstáculos conceptuales (Morales, 2019), Ideas previas (Márquez, 2019; Cuevas, 2021) y Rigor formal (Delgado, 2022), entre otros.

Otro enfoque para minimizar las dificultades en la enseñanza de las matemáticas en escuelas de ingeniería es incorporar la función didáctica que tiene la historia de las matemáticas como instrumento en la comprensión de sus fundamentos y de las dificultades de sus conceptos, para así responder a los retos de su aprendizaje. Aportaciones como las de Bressou (2011), Barbin (2006) y Katz (1993) muestran la importancia de explorar problemas en la historia de las matemáticas que corresponden a intereses históricos particulares por resolver alguna dificultad que los matemáticos de entonces, llamados filósofos naturales porque abarcaban diversas ciencias durante el siglo XVIII, y buscaban explorar algún fenómeno físico y darle una respuesta con las herramientas matemáticas y lógicas que contaban en su momento.

Por ello, en este trabajo mostraremos el acercamiento a problemas históricos en la enseñanza de las matemáticas que provienen de los primeros libros utilizados para la enseñanza de esta ciencia en la Nueva España, que se escribieron con ese fin didáctico en España, y que fueron adoptados bajo un contexto de interés de la minería en la nueva colonia al ser la principal actividad comercial entre España y la Nueva España.

UN PRIMER ACERCAMIENTO

Francisco Antonio Bataller (1751-1800), catedrático de matemáticas del *Colegio de Reales Estudios de San Isidro* de Madrid, fue impulsor de la

enseñanza de las ciencias en esta institución, derivado de su prestigio en 1777 viajó a la Nueva España para encargarse de varios trabajos mineros, ya que era la actividad principal en este territorio a cargo de España.

Fue designado para ocupar el puesto de profesor de física en el *Seminario de Minería* en 1791, el primer curso destinado para la formación en matemáticas y física en la Nueva España, para aquellos estudiantes de cierto estatus social que buscaban capacitarse para dirigir trabajos en diversas ramas relacionadas con la minería.

Bataller dictó a un escribano los cuatro volúmenes de sus *Principios de Física Matemática y Experimental* (1802). La obra consta de cuatro tratados: I. Tratado de las Propiedades de los Cuerpos, II. Tratado de Mecánica de Sólidos, III. Tratado de la Hidrodinámica y IV. Tratado de la Óptica.

I. Tratado de las Propiedades de los Cuerpos

Este tratado versa sobre el concepto de vacío: establece que las bombas hidráulicas, comúnmente usadas para desaguar minas, y en las jeringas, funcionan gracias al principio del vacío, pero se cuestiona sobre la existencia del vacío, probada por Newton y otros autores de la época. La postura de Bataller es que para argumentar primero se apela al sentido común, como era manifestado desde los griegos: “Los antiguos miraban como imposible la existencia del vacío, veían que cuando se levanta el embolo de una jeringa, inmediatamente entraba el agua o el aire y ocupaba el vacío, que deja el embolo”.

Luego busca las causas del fenómeno, da ejemplos y llega a un primer argumento: Hagamos esta otra suposición, figurémonos que hay tres grandes esferas, como las que representamos por A, B, y C (figura 1) capaces de contener toda la materia que hay en el universo. Es inevitable que Dios con su poder absoluto puede hacer que toda la materia del universo, sin aniquilarla, se encierre dentro de dichas esferas, respecto a que no pueden tocarse en todos

los puntos, como se demuestra en la Geometría, luego es posible la existencia del vacío.

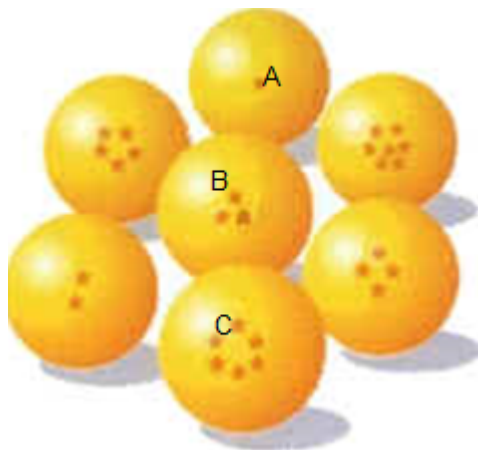


Figura 1. Esferas aglutinadas con espacio representando el vacío (Battaler, 1802a).

Finalmente, recurre a lo que caracteriza su libro, *los experimentos que apelan a razonamientos lógicos*: Se sabe que los cuerpos unos son más pesados que otros, que el Oro por ejemplo es más pesado que el Corcho. Pero siendo la gravedad una misma, es preciso suponer que hay más cantidad de materia en una pulgada cúbica de Oro que otra de Corcho como se deja entender. Pero no se puede concebir que haya más cantidad de materia en el Oro que en el Corcho sino es suponiendo que aquel está más lleno de materia que este, y por consiguiente que tiene menos huecos, o vacíos de materia. Luego en el supuesto de que hay unos cuerpos más pesados que otros se infiere ha de haber más vacíos en unos que en otros, y por consiguiente es preciso suponer la existencia del vacío.

II. Tratado de Mecánica de Sólidos

Las leyes del movimiento que el autor desarrolló en este tratado las utilizó para al estudio del equilibrio de las siguientes máquinas simples: Funicular, palanca, balanza, balanza romana, garrucha o polea, torno (o eje de peritrochio), plano inclinado, tornillo y cuña. El estudio de estas máquinas fue importante porque los aparatos que se manejaron en ese tiempo fueron producto de una

combinación de las máquinas simples para acoplarlas a las necesidades particulares de la minería, ver figura 2.



**Figura 2. Balanza hidrostática
[Bataller 1802c]**

Figura 2. Balanza modificada según las necesidades de la minería (Bataller, 1802c).

En general, las leyes físicas aplicadas corresponden a las conocidas actualmente, la importancia de su estudio en el contexto de la minería obedece a la serie de modificaciones que debían realizar en la Nueva España para su uso, ya que no podían incluso mandar a traer refacciones en caso de que se descompusieran.

III. Tratado de la Hidrodinámica

En este tratado, Bataller estudió la naturaleza de los fluidos y de sus movimientos, lo utiliza para estudiar tubos capilares, este tema es de importancia para el autor porque debe enfrentar la diversidad y consistencia de fluidos, según las condiciones de una mina. En particular en los libros originales de grandes matemáticos y físicos como Newton (1987), él no da ejemplos del uso de tubos capilares con azogue en sus *Principios Matemáticos de Filosofía*

Natural, luego entonces Bataller debe desarrollar este nuevo apartado en su libro.

Bataller contaba con una amplia experiencia en el tipo de problemas que se les presentan a los mineros, para el manejo de instrumentos como el barómetro y las bombas neumáticas, requirió adecuar su funcionamiento para aplicar modificaciones en la dimensión de los tubos capilares para adecuarlas a las condiciones locales y así lograr manejar el azogue, ver figura 3.

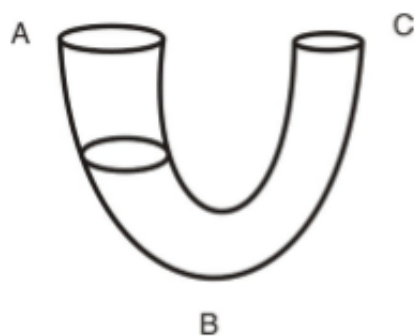


Figura 1. Tubos capilares [Bataller 1802c].

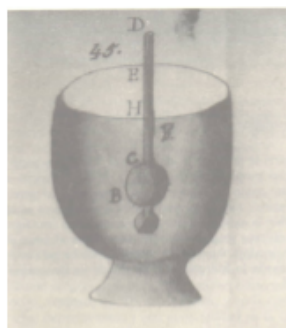


Figura 3. Areómetro o pesalicores [Bataller 1802c]

Figura 3. Tubos capilares y su uso en aerómetros (Bataller, 1802c).

En relación con el comportamiento de los fluidos, Bataller advirtió que las teorías acerca de las resistencias generadas por la gravedad no son completamente satisfactorias, en especial porque lo que presentaba Newton (1987) era más en un sentido teórico, por lo que recurrió a la experiencia valiéndose de los péndulos, ya que la regularidad de sus movimientos daba mayor exactitud. Pero con todo esto, no resultó que las resistencias sean como los cuadrados de las velocidades, que fue la afirmación de Newton, ya que esto se verificó en las oscilaciones grandes, y no resultó así en las pequeñas.

Aún así, la posibilidad de modificar maquinaria traída desde España en los barcos, que muchas de las veces sufrían daños severos, adecuarlas para resolver algunos problemas de las minas, y realizar ajustes para que fueran

“máquinas didácticas” muestra las necesidades educativas a las que se enfrenta Bataller y su propuesta de solución mediante sus Tratados.

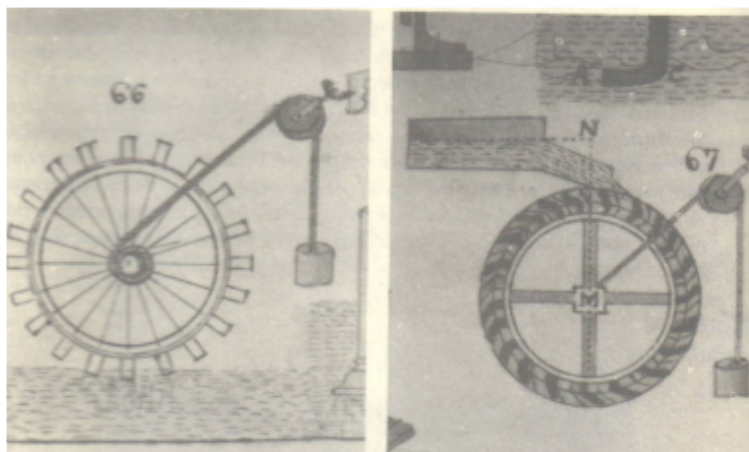


Figura 4. Molinos y ruedas [Bataller 1802c]

Figura 4. Maquinaria modificada para experimentar la gravedad (Bataller, 1802c).

III. Tratado de la Óptica

Bataller más que buscar aportar algo original se dedicó a compilar la información de los grandes hombres de ciencia de la época, en particular de Newton, al buscar que fuera más entendible a través de experimentos o cuestionando sobre casos en los que la teoría no tiene una aplicación inmediata o visible, y en el mejor de los casos al presentar una necesidad específica extraída de su experiencia en minas y su solución a través de esta, confirmando la teoría.

Un segundo acercamiento

Benito Bails (1730-1797), realizó estudios de matemáticas y teología, su obra máxima fueron los *Principios de Matemáticas*, que incluyeron: Aritmética, Álgebra, Secciones cónicas, Dinámica y estática, Hidrodinámica, Óptica, Elementos de astronomía, Astronomía física, Arquitectura Civil, Arquitectura Hidráulica, Tablas de logaritmos y Diccionario.

Sus textos fueron utilizados de 1782 a 1856 para impartir clases de física y matemáticas en la Real Academia de San Carlos y el Real Seminario de Minería en la Nueva España.

Por ejemplo, para estudiar el cálculo infinitesimal trató primero las funciones (que clasificó en verdaderas y aparentes) y luego las series y diferencias finitas con sus aplicaciones. Definió una cantidad variable como aquella que crece o mengua, lo que para él fue sinónimo de función. Agrega que cuando las cantidades variables crecen o decrecen en cantidades finitas se llama cálculo de diferencias y cuando ocurre en cantidades infinitamente pequeñas se llama cálculo de las diferenciales.

En los *Principios de Matemáticas* aparecen problemas de los denominados típicos en los libros de texto de cálculo diferencial e integral usados en los últimos 200 años, incluyendo algunos usados todavía; por ejemplo, el siguiente problema aparece en Bails (1722) y también en Granville (1986):

- Determine el cilindro máximo que se puede inscribir en un cono (versión de Bails)

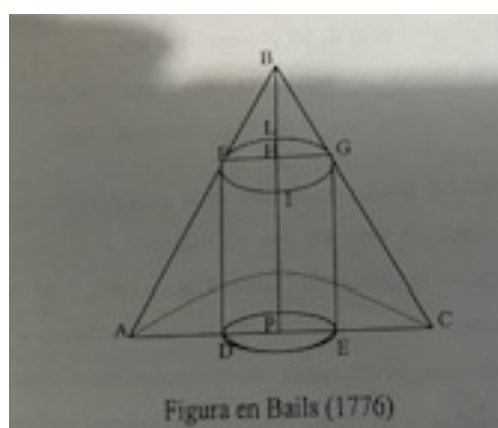


Figura 5. Problema de máximos y mínimos en Bails (1772).

- Hallar la altura del cilindro de volumen máximo que puede inscribirse en un cono circular recto dado (versión de Granville)

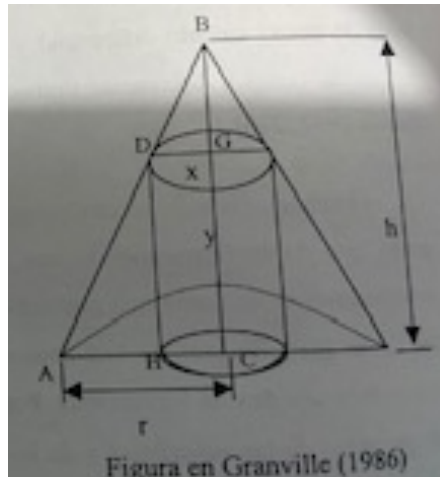


Figura 6. Problema de máximos y mínimos en Granville (1986).

Otro ejemplo de problema que aparece en Bails (1722), aparece en Flores (1982) y en Granville (1986): Partir un número en dos partes con circunstancia que el producto de la una por la otra sea mayor que el producto de las otras dos partes cualesquiera del mismo número (versión de Bails). LA ilustración del problema se traslada a un contexto de distancias y sus propiedades, como se muestra en la figura 7.

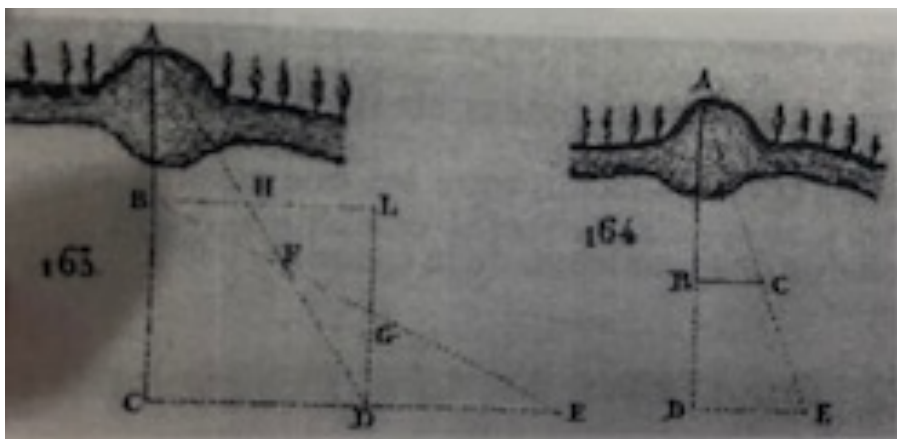


Figura 7. Problema de Medir una línea inaccesible en Bails (1772).

Este breve acercamiento al tipo de problemas que se requerían explorar dado el contexto de la Nueva España y las necesidades de la minería muestra cómo los primeros profesores buscaron acercar el conocimiento a través de libros

escritos con fines educativos pero además fomentando la experimentación, la exploración de conceptos mediante razonamiento lógico, enfrentando a los estudiantes a situaciones particulares que requieren diversas soluciones, de esta postura sobre la utilidad de la historia de las matemáticas en su enseñanza retomamos algunos ejemplos.

Modelos usando tecnología

La historia es la fuente de inspiración, autoformación y orientación en la actividad docente y al revelar la dimensión cultural de la matemática, el legado histórico permite enriquecer su enseñanza y su integración en los conjuntos de los saberes científicos, artísticos y humanísticos que constituyen la cultura (García y Dolores, 2018).

De este acercamiento, el grupo de investigación del Departamento de Matemática Educativa (Cuevas et al., 2012; Cuevas et al, 2014; Cuevas y Pluvinage, 2009) ha desarrollado una serie de applets denominados Entornos Didácticos Interactivos Computacionales (EDVI) que buscan un acercamiento a simular en primer momento un problema de la realidad, que tenga fundamento histórico, usar la tecnología para aportar a los procesos de modelación de estos problemas y que los estudiantes puedan realizar procesos de abstracción de la realidad simulada a un modelo propio que represente las condiciones del problema a resolver, esto a través de hojas de exploración guiadas, para finalmente llegar a una solución del problema y verificar los resultados en la simulación inicial, dando así un significado al proceso y a la solución del problema original.

Algunas de estas simulaciones son: 1) EDVI Globo, que explora el concepto de raíz, parte del problema de una boya sumergida en agua que son problemas típicos para medir líneas de flotación; 2) el EDVI Poleas, que examina los significados de conceptos base del complicado concepto de función (variable dependiente, independiente, dominio, rango y relación

funcional), parte de problemas del manejo de poleas simples; 3) el EDVI Barril de Kepler, como su nombre describe tiene que ver con medir la mayor capacidad de líquido que se puede almacenar en un barril según se modifique la altura del cilindro, el almacenar líquidos en contenedores para preservarlos ha sido una preocupación desde las antiguas civilizaciones; 4) el EDVI Isoperímetro, que busca cerca un terreno de la mayor área posible con una reja de alambre, un problema clásico de optimización en los libros de texto de cálculo diferencial más antiguos; y finalmente un ambiente de aprendizaje denominado CalcVisual que es un sistema tutorial inteligente que sirve de apoyo para explorar los conceptos importantes en un curso de precálculo y cálculo, permitiendo al estudiante interactuar, hacer suposiciones, equivocarse y solucionar de diversas maneras un problema, obteniendo retroalimentación cuando lo requiere sobre temas como raíces, signo, paridad, límites, derivada, máximos y mínimos, concavidad, monotonía y la gráfica de la derivada y la segunda derivada, solo aplica para funciones polinómicas, ver figura 8.

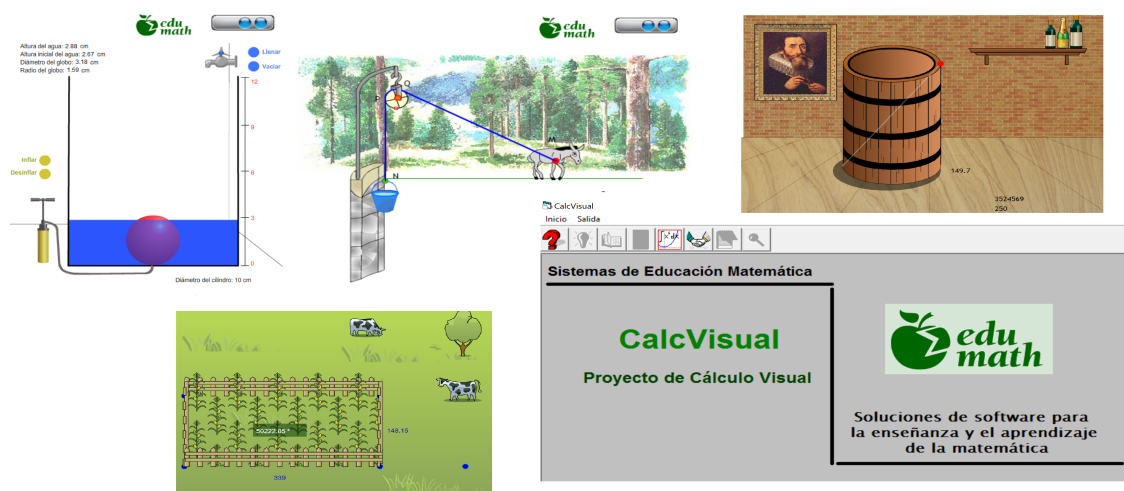


Figura 8. Diversos EDVI con fundamento en la historia del cálculo.

Ahora bien, estos EDVI han sido probados en diferentes universidades, distintas licenciaturas y en varios años, en este trabajo únicamente se comentará brevemente su aplicación en la Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Valle de Chalco en la Licenciatura en Informática Administrativa.

RESULTADOS

Los EDVI enumerados en el apartado previo se aplicaron en 90 estudiantes (2 grupos) de primer semestre de la carrera de Informática Administrativa (2020A presencial, 2021A virtual) de la Universidad Autónoma del Estado de México, campus Centro Universitario Valle de Chalco en México, estos estudiantes cursaron la materia de Matemáticas aplicadas a la informática, que incluye el tema de Cálculo diferencial a desarrollar en un mes y medio, con clases programadas de 4 horas a la semana, por lo que éstas cuentan con apoyo de tecnología en una sala de cómputo con 24 computadoras con acceso a internet, trabajando en parejas, y al sitio donde se encuentran los EDVI que presentan la simulación y la hoja de exploración guiada, en el caso del semestre 2021A (febrero-junio) se utilizó todo en esa modalidad derivado del confinamiento por pandemia (<https://mattec.matedu.cinvestav.mx/univermath/portada/>).

Los resultados que presentan los estudiantes en general, es que se cuenta con un avance promedio de exploración de conceptos de cálculo diferencial del 80%, como se presentan en cada EDVI, y estos acercamientos le permiten al profesor posteriormente abordar con mayor profundidad los conceptos propios del Cálculo diferencial:

- Poleas: 85% contestan de forma adecuada las actividades
- Globo: 75% contestan de forma correcta las actividades
- Isoperímetro: 90% contestan de forma adecuada las actividades
- Barril de Kepler: 80% contestan de forma correcta las actividades

CONCLUSIONES

La función didáctica de la historia de las matemáticas, en particular del Cálculo diferencial, permite un acercamiento para incidir en la comprensión de sus fundamentos y evidenciar la dificultad de conceptos, por lo que los problemas derivados de una preocupación histórica pueden retomarse para plantear alternativas de enseñanza para el cálculo diferencial, la materia de mayor reprobación a nivel superior, en especial en carreras relacionadas con ingenierías.

Al analizar los problemas planteados en la obra de Francisco Antonio Bataller, uno de los primeros profesores de matemáticas de la Nueva España del siglo XVIII, con sus tratados sobre hidrodinámica y óptica para problemas de minería y los presentados en el primer libro de texto de matemáticas de Benito Bails, también del siglo XVIII, son problemas de optimización que permiten explorar conceptos en un contexto de necesidad propio de la actividad minera de la Nueva España, lo interesante es que este tipo de problemas aún se utilizan en libros de texto de cálculo diferencial contemporáneos.

Este tipo de problemas sirven de fundamento para elaborar modelos simulados usando tecnología, los EDVI, para tratar temas relacionados con la derivada y sus propiedades de optimización, tomando así estos problemas un sentido diferente para los estudiantes de ingeniería de primer año universitario. Los resultados de la aplicación de estas actividades en 90 alumnos de primer semestre de Informática Administrativa en la Universidad Autónoma del Estado de México durante el periodo de pandemia 2021A y de manera presencial en 2020B, muestran que es factible su uso y se obtienen resultados alentadores al lograr que respondan de forma adecuada un promedio de 80% de los estudiantes en los 4 EDVI (Globo, Poleas, Isoperímetro y Barril de Kepler) y apoyarse en el sistema tutorial inteligente CalcVisual para contrastar sus hipótesis y profundizar en los conceptos de cálculo diferencial.

REFERENCIAS

- Bails, B. (1772). *Principios de Matemáticas*. Madrid. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Barbin, E. (2006). Apports de l'histoire des mathématiques et de l'histoire des sciences dans l'enseignement, *Trema*, 26, 20-28.
- Bataller, F. 1802a. *Principios de física matemática experimental*. Tratado I, México.
- Bataller, F. 1802c. *Principios de física matemática experimental*. Tratado I, México.
- Berrocso, J. (2015). El pensamiento computacional y las nuevas ecologías del aprendizaje. *Educación a Distancia*, 12(46), 69-85.
- Bressoud, D. (2011). Historical reflections on teaching the fundamental theorem of integral calculus. *Am. Math. Mon.*, 118(2), 99-115.
- Cantoral, R. (2012). Enseñanza de las matemáticas en la educación superior. *Cátedra*, 11(18), 154-178.
- Castela, C. (2016). When Praxeologies Move from an Institution to Another: An Epistemological Approach to Boundary Crossing. In R. Göller, R. Biehler, R. Hochmuth & H-G Rück (Eds.). *Proceeding of the KHDM Conference: Didactics of Mathematics in Higher Education as a Scientific Discipline*, 153-161. Universitätsbibliothek Kassel.
- Christensen, O. (2008). Closing the Gap Between Formalism and Application – PBI and Mathematical Skills in Engineering. *Teaching Mathematics and its Applications*, 23(7), 131-139.
- García-García, J. y Dolores-Flores, C. (2018). Intra-mathematical connections made by high school students in performing Calculus tasks. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 49(2), 227-252.
- Cuevas, A. (2021). Investigadores del DME-Cinvestav. <https://matedu.cinvestav.mx/ccuevas/presentacion.php>
- Cuevas, A., Pluinage, F. y Martínez, M. (2012). Promoviendo el pensamiento funcional en la enseñanza del cálculo: un experimento con el uso de tecnologías digitales y sus resultados. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 17, 137 – 168.
- Cuevas, A., Rodríguez, A. y González, O. (2014). Introducción al concepto de derivada de una función real con apoyo de las tecnologías digitales. *El cálculo y su enseñanza*, 5(5), 157-164.
- Cuevas, C. y Pluinage, F. (2009). Cálculo y Tecnología, *El Cálculo y su Enseñanza*, 1, 45-60.
- Delgado, M. (2022). El efecto de la pandemia de COVID 19 sobre la evaluación del conocimiento matemático. Actuaciones que intentan persistir después de la pandemia. *El Cálculo y su Enseñanza*, 18(1), 13-40.
- Ellis, J., Kelton, M. y Ramsmussen, C. (2014). Students Perceptions of Pedagogy and Associated Persistence in Calculus. *ZDM-The International Journal of Mathematics Education*, 46(6), 661-673.
- Flores, M. 1982. *Cálculo Básico*. Cálculo Diferencial e Integral. Progreso.
- González-Martín, A. (2018). ¿Cómo se usan los contenidos del cálculo en ingeniería? El caso de la integral y el momento flector. En: Cuevas, A.,

- Martínez, M. y Cruz, R. (editores). *Tendencias actuales en enseñanza de las ciencias, una perspectiva para investigadores y docentes*. México: Pearson, UAEM. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/112758>
- Granados, L. (2009). El acompañamiento como estrategia pedagógica en el aprendizaje exitoso de las matemáticas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 3(6), 33-59.
- Granville, W. (1986). *Cálculo Diferencial e Integral*. México: UTEHA.
- Katz, V. (1993). Using the History of Calculus to Teach Calculus. *Science & Education*, 2, 243-249.
- Loch, B. & Lamborn, J. (2016). How to Make Relevant to First-Year Engineering Students: Perceptions of Student on Student-Produced Resources. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 47(1), 29-44.
- López, V. Historia de los inicios de la enseñanza del cálculo infinitesimal en México. *Tesis de Maestría en Matemática Educativa*. CINVESTAV.
- Marquéz, C., Gaviria, C. y López, Y. (2019). Evaluación del desarrollo de competencias a partir de la modelación matemática, *Revista Ingenierías USBMed*, 10(2), 8-15.
- Martínez, M. (2002). Newton en México. *Tesis de Maestría en Ciencias*, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Martínez, M., Soberanes, A. y Cruz, R. (2020). Tecnologías emergentes en la enseñanza del cálculo diferencial en ingeniería. *Pi-Innova Math*, 3, 190-205.
- Matamoros, G. (2018). La comprensión de la derivada como objeto de investigación en didáctica de las matemáticas. *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 11(2), 267-296.
- Moreno, A. (2007). Una propuesta de enseñanza virtual y su aplicación a la asignatura "Matemáticas e Imaginación". *Relada (Revista Electrónica de ADA)*, 1(2), 59-64.
- Muñoz-Villate, W. (2021). Relación entre historia de las matemáticas y la formación de ingenieros. *Visión electrónica*, 15(1): 142-151, Enero-Junio.
- Newton, I. (1987). *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*. Madrid: Alianza.
- Rodríguez, R. (2010). Aprendizaje y enseñanza de la modelación: el caso de las ecuaciones diferenciales. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 13(4-I), 191-210.
- Ramos, M. (1994). Difusión e institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII. *Universidad Autónoma de Puebla*. Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología.
- Rooch, A., Junker, P., Härterich, J. y Hackl, K. (2016). Linking Mathematics with Engineering Applications at an Early Stage – Implementation, Experimental Set-Up and Evaluation of a Pilot Project. *European Journal of Engineering Education*, 41(2), 172-191.
- Saldaña, J. (1989). Los orígenes de la ciencia nacional. *Cuadernos de Quipu*, 4, UNAM.
- Trabulse, E. (1983). *Historia de la Ciencia en México*. México: FCE.
- Wedelin, P. (2009). Perceptions of mathematics in engineering. *European Journal of Engineering Education*, 34(4), 305-316.