

EL ROL DE LA TECNOLOGÍA EN LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE MATEMÁTICAS Y CIENCIAS, UNA PROBLEMÁTICA RENOVADA

THE ROLE OF TECHNOLOGY IN MATH AND SCIENCE TEACHER TRAINING, A RENEWED PROBLEM

Guillermo Arancibia C*, Mariela Carvacho B., Jorge Gaona P., Tatiana Urzúa LL, Juan Espinoza O., Monika Dockendorff., Carlos Martínez M., Paola Ramírez

Resumen

Se relata la versión 2021 del WTIC UMCE. Se revisaron experiencias de formación inicial docente de matemática y ciencias implementadas en universidades nacionales, permitiendo observar y reflexionar las problemáticas que se enfrenta en relación a la tecnología en el contexto actual. Esta problemática se renueva por factores exógenos al sistema escolar y otros que le son propios. La tecnología requiere ser pensada en base a los problemas matemáticos o científicos, instrumentales y didácticos, en cuanto trabajo pedagógico y didáctico, que propicia el amplio ecosistema de recursos disponibles, actualmente.

Palabras Clave: Tecnología, Didáctica de las Matemáticas y Ciencias, Formación Inicial de Profesores de Matemática y Ciencias.

Abstract

The 2021 version of WTIC UMCE is reported. Experiences of initial teacher training in mathematics and science implemented in national universities were reviewed, allowing to observe and reflect on the problems faced in relation to technology in the current context. These problems are renewed by factors that are exogenous to the school system and others that are specific to it. Technology needs to be thought on the basis of mathematical or scientific, instrumental and didactic problems, in terms of pedagogical and didactic work, which is propitiated by the wide ecosystem of currently available resources.

Keywords: Technology: Didactics of Mathematics and Sciences, Initial Training of Teachers of Mathematics and Sciences.

** guillermo.arancibia@umce.cl; mariela.carvacho@umce.cl; jorge.gaona@upla.cl; tatiana.urzua@umce.cl; juan.espinoza@umayor.cl; mdockend@uc.cl; carlos.martinez@ulagos.cl; procamora@u.uchile.cl

Introducción

Las entidades educativas, de distintos niveles del país, reportan la integración de tecnología informática en sus actividades escolares y en la formación profesional de futuros educadores. En particular se destaca a nivel superior la incorporación de ambientes a distancia y de plataformas para apoyar la enseñanza. La UMCE, como institución formadora de futuros profesores dispone de un apoyo de plataforma para la docencia, además, cuenta con varias carreras que han incorporado con distinto énfasis la tecnología en su docencia, siendo la Facultad de Ciencias Básicas quien tiene una experiencia acumulada de varios años de ejercicio de docencia con apoyo de recurso TIC, en enseñanza de las ciencias y matemática, gracias a la implementación de diferentes proyectos.

La discusión regional (Latino – Americana) y nacional, indica que el gran salto de la integración de la TIC en la docencia y el aula en sus diferentes niveles es un área en desarrollo progresivo y que requiere de permanente revisión y actualización. Más aún, porque después de más de dos décadas de políticas y acciones concretas realizadas en el país, se observan importantes avances, pero también, limitaciones, resistencia y obstáculos, en particular en el ámbito de la formación y la educación con apoyo de TIC. Sin embargo, la instalación de una prueba habilitante en conocimiento TIC en la formación de profesores muestra la relevancia de esta temática en la educación nacional. (MINEDUC, 2016).

Así mismo, en 2020 entraron en vigencia las "Bases Curriculares 3° y 4° medio" de 2019, que establecen las asignaturas de la modalidad Humanista-Científica (HC), y el Plan de Formación General para HC y

las modalidades Técnico Profesional y Artística, que en su área B Ciencias y Matemática señala, una necesaria revisión curricular, con implicancias en los procesos de enseñanza para el aprendizajes de matemática y ciencias, junto a una visión renovada de formación ciudadana con tecnología.

Por ello, la invitación a la presente versión del WORKSHOP DE INTEGRACIÓN DE TIC EN LA DOCENCIA UNIVERSITARIA Y EL AULA ESCOLAR: TENDENCIA Y DESAFÍOS, busca mantener abierto un canal de actualización y discusión académica tan necesario en la materia, dando continuidad a una jornada que se viene realizando desde el año 2012 en la UMCE. El evento contempla la presentación de diferentes experiencias de integración de TIC en la docencia universitaria y el aula escolar, es un espacio académico propicio para profundizar sobre los aportes formativos, metodológicos y didácticos que permite dicha tecnología, sus nuevos escenarios virtuales presenciales y a distancia, sus aportes a la formación de los futuros profesores y a la enseñanza con TIC.

En su realización de estos años, se ha contado con la participación de profesores universitarios – en especial de facultades de ciencias básicas - estudiantes en práctica y docentes de la UMCE y otras instituciones del país, configurando un espacio de presentación, discusión y reflexión académica en la materia.

El foco temático de la versión 2021 del WTIC estuvo en El rol de la tecnología en la formación de profesores de matemáticas y ciencias, como problemática renovada.

Aprender matemáticas con/sin/a pesar de la tecnología

Los profesores y profesoras de matemáticas actualmente se enfrentan a una problemática compleja. Por un lado, informes muestran los bajos niveles de aprendizaje en Chile. Por ejemplo, el informe PISA muestra que cerca de la mitad de los estudiantes alcanzan el nivel 1 o bajo el nivel 1 (OECD, 2019). A pesar de que se ha constatado una mejora con respecto al informe anterior, aún el avance es muy lento (Agencia Calidad de la

Educación, 2014). Por otro lado, aun cuando la tecnología ha penetrado en las escuelas y sobre todo en la vida cotidiana, eso no ha mejorado los aprendizajes en la disciplina (Gorjón et al., 2020; OECD, 2015).

Actualmente la tecnología inunda nuestras vidas y debido a la pandemia, que nos ha afectado desde el 2020, también las aulas. Los alumnos están en clases en línea y miles de profesores se han tenido que adecuar a un contexto virtual que hace un tiempo parecía ser solo ciencia ficción (Asimov, 2005).

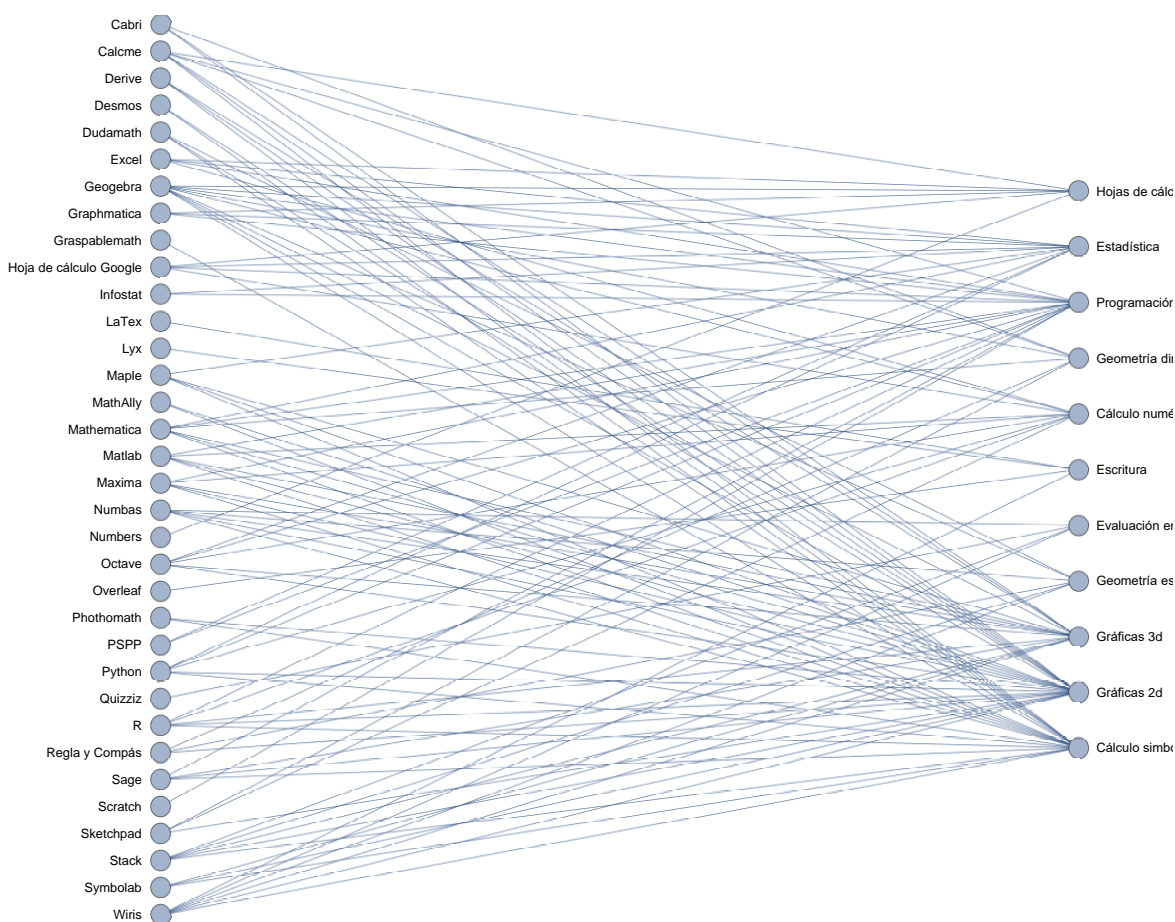


Figura 1. Grafo realizado con *Mathematica* que muestra la relación entre un listado de software y la matemática sobre la que trabajan. Extraído de Gaona (2021).

En matemáticas, han aparecido nuevos programas o aplicaciones. Al hacer una lista no exhaustiva de programas disponibles y usados por profesores y analizar qué es lo que hacen, se observa que son muchos, variados y que el potencial matemático no es el mismo para todos. Hay algunos que están más orientados hacia usos profesionales (Mathematica, Python o R), algunos hacia la enseñanza (Geogebra, Cabri o Wiris) y otros que son más populares en los estudiantes (Photomath o Symbolab). La información de los nombres de los softwares y su potencial matemático se puede resumir en el grafo de la Figura 1.

Frente a esta oferta de programas hay muchas preguntas que emergen de forma natural dependiendo del foco formativo. Cuando los estudiantes están aprendiendo la disciplina (álgebra, geometría, análisis o estadísticas, programación, entre otros) ¿Cuál es el papel que debería tener la tecnología? ¿Se asume o se ignora el uso que puedan dar los alumnos y alumnas a aplicaciones como Photomath y que dan respuesta paso a paso al fotografiar a algunos problemas de cálculo tradicional? Si se piensan en programas diseñados para la enseñanza ¿A cuáles darles prioridad? ¿Con qué criterios elegirlos? ¿Cómo se articulan estos programas que cuentan con distintas fortalezas disciplinares (por ejemplo, Excel para estadística o Cabri para geometría)? Otras preguntas que nos podemos hacer son sobre la naturaleza de la actividad matemática instrumentada: ¿El uso de estos artefactos digitales puede ser considerado como trabajo matemático? ¿Qué tipo de trabajo es?

Lo descrito anterior no es un problema totalmente nuevo, ya en hace más de 10 años Ruthven (2007) señaló que, frente a la proliferación de herramientas digitales disponibles, no es fácil determinar a cuál

darle prioridad y dado el actual conocimiento fragmentario sobre la aplicación de estas herramientas en los temas curriculares es aún más complicado darles un desarrollo y uso coherente. Desde otra perspectiva, Chevallard (1985, p. 9) plantea que el saber enseñado para ser legítimo socialmente debe estar suficientemente cercano al saber sabio, es decir, de los matemáticos y suficientemente lejano del saber banalizado, por ejemplo, el de los padres. Reinterpretando lo anterior, por un lado, programas como Photomath banalizan el conocimiento y le quitan legitimidad a lo que se “ofrece” en la enseñanza y por otro, el trabajo matemático con software debe ser legitimado por la comunidad de matemáticos. De alguna forma lo que se haga se debe mover entre estas dos condiciones.

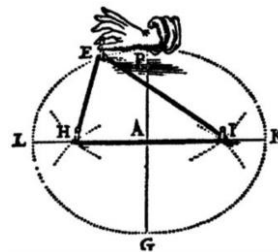


Figura 2. “Máquina” para dibujar elipse descrito en *De organica conicarum sectionum in plano descriptione, Tractatus de 1646*. Extraído de (Bartolini Bussi & Maschietto, 2006)

Quizás, tomando elementos de la historia nos ayude a reflexionar sobre estas preguntas. Si consideramos el proceso de graficar una elipse, Franz van Schooten en 1646 muestra (ver Figura 2) cómo dibujar una elipse a partir de una cuerda y dos estacas quien se basa en la conservación de la suma de dos distancias a los focos. Quien utiliza este artefacto puede estar haciéndolo sin conocer el referencial que lo justifica o también podría darse que esta “máquina” sirva para estudiar y descubrir propiedades subyacentes. De alguna

forma, el artefacto puede generar un trabajo matemático diferente dependiendo de cómo se utiliza.

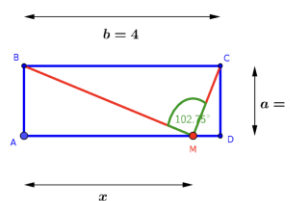
Los softwares computacionales actuales son la evolución de estas máquinas matemáticas, en el sentido de (Bartolini Bussi & Maschietto, 2006). Tienen esta idea de algo que “ejecuta” un proceso conservando propiedades matemáticas, pero al mismo tiempo, tienen validez epistemológica relativa cuando ejecutan un comando que representa un objeto (Flores Salazar et al., 2022). Eso los hace artefactos complejos desde el punto de vista didáctico y lleva a preguntarnos cuál es el trabajo semiótico, instrumental o discursivo (Kuzniak et al., 2016) que potencian o limitan tareas mediadas por ellos. La potencia de cálculo que tienen estas aplicaciones no se traduce inmediatamente en potencialidad de aprendizaje por lo que hay que cuestionar a fondo cuáles programas utilizar y cómo hacerlo en la práctica de la profesión y en la formación de profesores de matemática.

Artefactos digitales en la formación de profesores

La formación de profesores se ve afectada por las problemáticas antes expuestas de dos formas complementarias. Por una parte, los futuros profesores son aprendices de la disciplina matemática. Así, las preguntas planteadas en la sección anterior interpelan a la formación disciplinar: ¿Estos software se integran o no en la formación de cálculo, álgebra, geometría, estadística o probabilidades? Tanto si la respuesta es afirmativa o negativa ¿en qué se basa esta decisión? ¿Es una decisión del profesor particular que dicta una asignatura? o ¿Es una decisión institucional? Por otra parte, los futuros profesores tomarán decisiones sobre qué recursos usan y cómo lo hacen, en este

aspecto, la formación de profesores debe pensar en cómo intencionar este uso y - dependiendo de los énfasis formativos- y explorar el diseño de tareas mediadas con tecnología. Tanto si los profesores son usuarios de recursos como si son diseñadores de recursos deberán pensar en los problemas matemáticos, instrumentales y didácticos del trabajo propiciado con estos recursos. Por ejemplo, consideremos el enunciado de la Figura 3.

Dada la siguiente figura donde ABCD es un rectángulo y M es un punto móvil sobre el segmento AD.



¿Cuánto debe valer x para que el triángulo BCM sea rectángulo en M ?

Figura 3. Enunciado de la tarea.

Al hacer un análisis a priori de la tarea podemos ver que se puede resolver al menos de tres formas:

- Utilizando el teorema de Pitágoras para obtener la ecuación: $x^2 + 1 + (4-x)^2 = 16$
- Utilizando el teorema de Euclides para obtener la ecuación $x(4-x) = 1$
- Utilizando geometría analítica, ubicando los puntos en un plano cartesiano, calculando las ecuaciones de las rectas que pasan por MB y MC y pidiendo que las pendientes sean iguales a menos uno para que sean perpendiculares.

Si la figura se coloca en un *applet* de tal forma que el estudiante pueda explorar la variabilidad del ángulo y se agrega una regla para que pueda estimar las soluciones, tal como se muestra en la Figura 4.

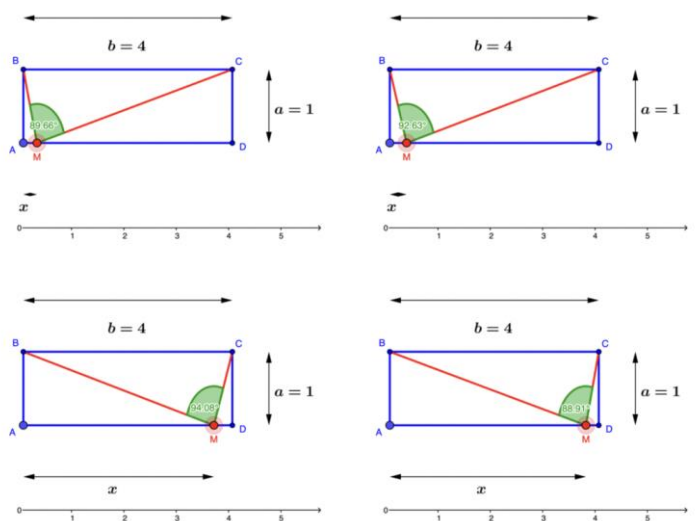


Figura 4. Enunciado de una tarea en un *applet*. En estas cuatro figuras se muestra cuatro posiciones que muestran entre qué valores se pueden encontrar las dos soluciones al problema.

En este caso, el *applet* tiene un rol exploratorio y permitiría acercarse parcialmente a las soluciones. Esto podría ayudar a los estudiantes a establecer que el problema tiene dos soluciones, una de ellas mayor a cero y menor a 0.5 y la otra mayor a 3.5 y menor a 4.

Al diseñar la tarea, las dimensiones elegidas para el rectángulo variables didácticas que afectan la naturaleza de las soluciones. Si $a=1$ y $b=4$ se obtienen dos soluciones irracionales positivas: $-\sqrt{3}+2$ y $\sqrt{3}+2$, en cambio si $a=2$ y $b=5$ se obtienen dos soluciones enteras y positivas: 1 y 4. En ambos casos, cambia la dificultad, tanto en la exploración a través del *applet* como, en la solución de las ecuaciones de grado dos que aparecen. Las futuras y futuros profesores deben ser capaces de decidir de manera explícita sobre estas variaciones dependiendo de los niveles y contextos en los cuales trabajan. También deben ser capaces de generalizar estos problemas y preguntarse, por ejemplo ¿Para qué valores de a y b hay dos,

única o ninguna solución en los reales? ¿Para qué valores de a y b las soluciones son enteras, racionales o irracionales? ¿Cuál es el valor epistémico y pragmático (Artigue, 2002) de la incorporación del *applet*?

Elegir, validar y diseñar tareas mediadas por tecnología son acciones que probablemente se realizan actualmente en la formación de profesores. Para este encuentro queremos discutir con distintos formadores y formadoras las distintas preguntas planteadas en las páginas anteriores y de forma más general queremos escuchar ¿cómo se está llevando a cabo la formación en tecnología para los futuros y futuras profesoras que ingresarán al sistema escolar chileno?. Tomando en cuenta, además, que se incorporan nuevos electivos: Geometría 3D (MINEDUC, 2021a), Límites, Derivadas e Integrales (MINEDUC, 2021b), Pensamiento Computacional y Programación (MINEDUC, 2021c) y Probabilidades y estadística descriptiva e inferencial

(MINEDUC, 2021d), donde la tecnología tiene un rol explícito y preponderante.

Artefactos digitales en la enseñanza de las ciencias

La UNESCO plantea que las tecnologías de la información y la comunicación pueden complementar, enriquecer y transformar la educación. Pero, para ello, se debe dejar de pensar que la tecnología en educación se trata solo de software o hardware. Esta área implica que seamos capaces de incorporar nuevas estrategias metodológicas mediadas por tecnología. Así, por ejemplo, si consideramos el procesador de texto como un artefacto digital, software destinado a la creación y edición de documentos de texto, independiente de ello, permite realizar múltiples actividades como redactar, modificar, almacenar e imprimir textos, con transparencia del artefacto digital utilizado.

El avance del conocimiento científico ha permitido un avance tecnológico el que ha repercutido en el campo de la enseñanza de las ciencias, creándose un entorno didáctico en que los estudiantes aprenden a utilizar una diversidad de artefactos digitales en el laboratorio de ciencias

En el caso del aprendizaje de las ciencias, a partir del año 2000 se han desarrollado artefactos digitales llamados Sistemas Automáticos de Adquisición de Datos (SAAD) aplicados al mundo escolar llamados también EXAO (enseñanza asistida por ordenador) o MBL (*Microcomputer Based Laboratory*) u otros nombres utilizados por diferentes proveedores.

Los Sistemas de Adquisición Automática de Datos corresponden a tecnologías que se han adaptado al entorno escolar

aplicadas en la enseñanza de las ciencias. En la figura se muestra un esquema de un Sistema de automático de Adquisición de Datos (SAAD) y sus componentes principales (ver Figura 5).

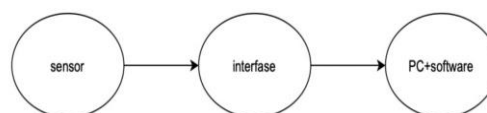


Figura 5. Componentes de un Sistema de automático de Adquisición de Datos (SAAD)

Se han desarrollado diversas actividades experimentales en el ámbito de la Biología, Física y Química, utilizando SAAD. Ejemplo, montaje real de titulación ácido-base, de estudio del movimiento, de fotosíntesis. (ver Figura 6)

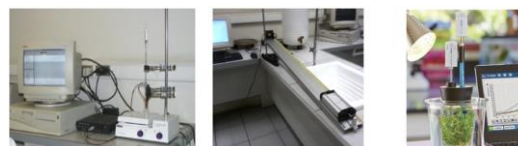


Figura 6. Artefactos digitales en ciencias

También cabe preguntarse en ciencias ¿Qué SAAD utilizar y cómo hacerlo en la práctica en la formación de los profesores de ciencias? ¿Con qué criterios elegirlos? Eventualmente, estos artefactos digitales tienen potencialidades diferentes y la elección de ellos puede generar también un trabajo en ciencias con diferentes resultados, lo que dependerá de comprender su potencialidad. En química a modo de ejemplo en titulaciones ácido base en forma analítica podría conducir a resultados diferentes si sólo es capaz digitalmente de encontrar el punto final, diferente es si éstos pueden sacar la primera o segunda derivada (máximo y mínimo de la curva de titulación). En física por ejemplo al determinar experimentalmente el valor de la aceleración de gravedad se debe tener en cuenta la precisión del artefacto digital que

mida el tiempo de caída para obtener un valor muy cercano al valor aceptado. Es indudable, que independiente de la potencialidad del SAAD, el proceso E-A de las ciencias se fortalece cuando son mediadas por estas tecnologías. Hay diferentes estudios sobre la utilización didáctica de los SAAD como instrumento de aprendizaje y la integración de SAAD como un medio más de laboratorio para el estudio de los fenómenos biológicos, físicos y químicos a partir de situaciones contextualizadas o concretas para derivar en situaciones abstractas. (Sokoloff & Thornton, 2004)

Un SAAD como artefacto digital presenta las siguientes ventajas comparativas para fortalecer el proceso de E.A en relación a los métodos tradicionales para adquirir datos (Pedrajas, 2005; Urzúa & Vargas, 2012).

- Ventajas relacionadas con la sensibilidad de los instrumentos.
- Permite diseñar y llevar cabo experimentos basados información exacta y confiable.
- Ventajas relacionadas con el análisis de los fenómenos en tiempo real.
- La toma de datos se puede repetir varias veces, en un breve lapso de tiempo (tablas, gráficos, medidores digitales, etc).
- Ventajas relacionadas con la flexibilidad pedagógica del uso de estas tecnologías: aumenta el tiempo de discusión y análisis de resultados.

- Los estudiantes adquieren un rol activo en su aprendizaje y a su propio ritmo.
- Medición de magnitudes físicas que son difíciles de medir usando los métodos clásicos.
- Las actividades experimentales promueven el desarrollo de competencias científicas.

También en ciencias, en la perspectiva de Chavellard el saber enseñado para ser legítimo socialmente debe estar suficientemente cercano al saber sabio, es decir, de las ciencias y en este caso, también podría ocurrir el uso operatorio de la tecnología, sin entender el fundamento científico que debería conducir al estudiante acercarse al saber sabio. Lo anterior, no ocurre con otros artefactos digitales, en que si existe una acción más comprometida del estudiante en su proceso de E.A, en el sentido que debe realizar la construcción de su propio aprendizaje como es al utilizar el software Modellus, (Teodoro et al., 2015), donde sitúa su situación experimental a cambios de variables introducidas por él y analiza el comportamiento de su sistema (Física, Química y Biología), y realiza la simulación del mismo. Hay también otros artefactos digitales como el Interactive Physics (DST, 2016), Algodo (Gregorcic, 2015), Physlets (Christian & Belloni, 2003). La elección de alguno de estos dependerá de la estrategia metodológica diseñada por el profesor de ciencias.

Cabe recalcar que al utilizar SAAD como artefacto digital se obtiene una gran cantidad de datos en tiempo real. Los estudiantes realizan el experimento y en el mismo instante obtienen los datos en un modo gráfico u otras formas y requiere de

un tiempo breve para el registro de datos, lo que le permite disponer de mayor tiempo para realizar un análisis detallado de ellos, discusión y conclusiones y lograr una mayor profundización en los conceptos y una correspondencia entre los resultados que se obtienen con estas mediciones y las predicciones derivadas de la teoría. Por otra parte, permite al docente un considerable ahorro de tiempo en el diseño y realización de diversos experimentos, teniendo una participación más activa como guía del proceso E-A.

Finalmente, el uso de aparatos digitales en el laboratorio de ciencias, permiten realizar una intervención educativa innovadora, donde el proceso de aprendizaje se encuentra centrado en el estudiante y el profesor se transforma en un guía de apoyo, aportando al proceso de discusión elementos que facilitan los procesos de enseñanza-aprendizaje.

A continuación se presentan las contribuciones de formadores e investigadores de distintas universidades del país en torno a la tecnología.

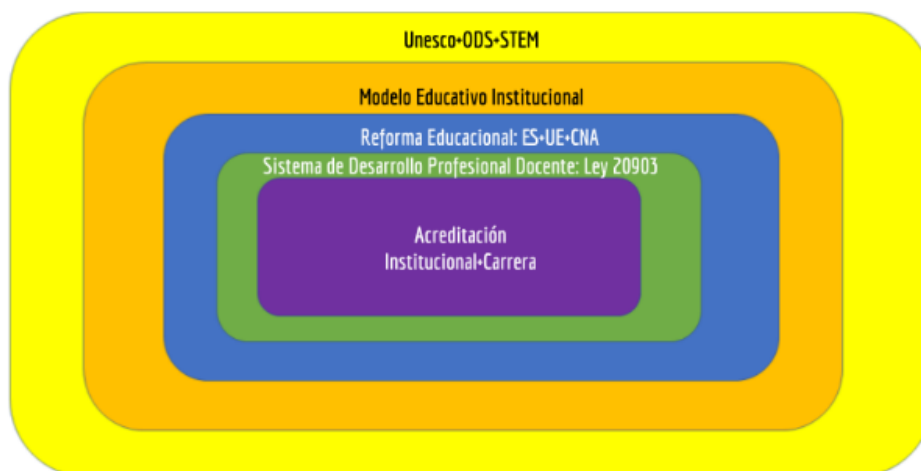


Figura 7. Marcos de Diseño y Auto-regulación FIDEMM. Elaboración Propia

Reflexiones desde el ejercicio de la articulación disciplinar entre matemáticas y ciencias de la computación.

Carlos Martínez, Universidad de los Lagos

Durante los últimos años el sistema educacional en cada uno de sus niveles ha sufrido cambios estructurales, normativos y curriculares significativos gran escala, del mismo modo se han incorporado niveles de aseguramiento de la calidad que inciden sobre el diseño de Plan de Estudios de las carreras del ámbito de Educación en

su conjunto (Figura 7). Estas reformas han incidido a lo largo de la carrera docente, y, en consecuencia, afectarán el desarrollo de la Formación Inicial de Profesores en Educación Media en Matemáticas (FIDEMM), mandando a todos los programas de estudios existentes en las instituciones de educación superior a lo largo de Chile, a que elaboren una respuesta coherente y consistente con cada uno de los aspectos que define este gran marco regulatorio.

En este breve texto, deseamos reflexionar sobre una cuestión que reviste especial

interés a partir de las líneas temáticas que ofrece este Workshop de Integración de TIC-UMCE 2021, y que viene a tensionar por una parte la relación entre las herramientas bajo la categoría de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y la enseñanza de la matemática como parte de un plan de estudios de un carrera FIDEMM, o asumir un nuevo enfoque en que se asuma la articulación disciplinar entre matemáticas y ciencias de la computación (CC) como base disciplinar para el diseño de los nuevos planes de estudios de carreras FIDEMM, con esto queremos decir, que esta tensión reflexiva es una oportunidad de poner en la balanza dos modelos de FIDEMM, un primer modelo basado en TIC+Matemáticas, o un segundo modelo emergente basado CC+Matemáticas.

Algunos argumentos para un cambio de modelo.

A continuación, deseamos dar algunos argumentos preliminares, pero que son suman evidencias de que hay un cambio de enfoque en curso, y que nos dan razones para adscribir el modelo emergente

CC+Matemáticas, asumiendo como positivo el cambio de paradigma en la FIDEMM con una perspectiva a nuestro parecer más idónea para el siglo XXI. Desde las referencias anteriores al marco de Diseños y Auto-regulación para carreras FIDEMM deseamos destacar algunas definiciones y acciones en implementación desde política pública reciente, que justifican este cambio de paradigma. Recordemos, por ejemplo, la actualización a partir del año 2020 de las bases curriculares electivas de matemáticas para 3° y 4° medio, donde se incluye el eje temático de Pensamiento Computacional y Programación (PCyP) (MINEDUC, 2021c), y con mayor fuerza, recientemente con la publicación de los nuevos estándares formación de profesores de matemática (CPEIP & MINEDUC, 2021) donde se incorpora un estándar sobre ‘Pensamiento Computacional y Programación’ el pasado mes agosto. A partir de estos referentes, podemos explicitar algunos elementos presentes en estas c que nos permitirán dimensionar de alguna manera la necesidad del cambio de paradigma del que estamos hablando:

Tabla 1. Unidad 1: La escritura como medio para comunicar y Almacenar la información’. Programa de Estudio Pensamiento Computacional y Programación - 3° o 4° medio

| |
|---|
| Identifican las partes que componen una situación y permiten elaborar instrucciones. |
| Usan proposiciones lógicas para el control del flujo en la ejecución de un programa de computación. |
| Ejecutan ciclos (<i>loops</i>) a partir de un patrón o regularidad que se repite en una secuencia de un programa |
| Resuelven problemas que involucran ejecutar programas mediante lenguaje de bloques. |
| Elaboran representaciones como un pseudocódigo descrito por un diagrama de flujo. |
| Programan en pseudocódigo y lo exportan en un lenguaje simbólico. |

En la Tabla 1, se presentan los indicadores de evaluación de la primera unidad de la

asignatura de ‘Pensamiento Computacional y Programación’ de igual

manera podemos referirnos al conocimiento disciplinar del estándar correspondiente en la Tabla 2.

En ambos contextos se establece con claridad la incorporación de la disciplina de Ciencias de la Computación como parte

de la formación de profesores en matemática, pero con una clara articulación con la disciplina de matemáticas, destacando como concepto de interdisciplinario y de articulación la resolución de problemas.

Tabla 2. ‘Conocimiento disciplinar’ Estándar Pensamiento Computacional y Programación.

| |
|--|
| 1. Conoce los elementos básicos de la ciencia de la computación: hardware y software, representación digital de la información, bases de datos, redes informáticas, inteligencia artificial y robótica, sus aplicaciones prácticas y su impacto en la sociedad. |
| 2. Comprende las estrategias propias del pensamiento computacional tales como, la abstracción, la generalización, el reconocimiento de patrones y la descomposición en problemas pequeños, y las utiliza en la resolución de problemas que sean programables en dispositivos digitales. |
| 3. Diseña algoritmos y define el código necesario para resolver problemas y poner las soluciones en práctica, usando un lenguaje informático, como por ejemplo Python, Java, HTML, o lenguajes de programación en bloque, como Scratch |
| 4. Implementa, prueba y depura aplicaciones para dispositivos digitales, tales como teléfonos móviles, tablets, laptop, robots o makers, para realizar una tarea, resolver problemas o desarrollar un recurso educacional. |
| 5. Diseña, adapta y utiliza algoritmos para la resolución numérica de problemas que involucran ecuaciones, derivadas, integrales o series, utilizando lenguajes como Python. |
| 6. Analiza algoritmos orientados a distintos fines, como ordenar listas, generar números aleatorios o hacer cálculos numéricos, considerando distintos criterios de eficiencia, como número de operaciones, uso de memoria y otros. |

Entendemos esta pequeña reflexión como una oportunidad de compartir nuestra adscripción al modelo CC+Matemáticas (Martínez, 2020) que se fundamenta en la articulación disciplinar entre las matemáticas y ciencias de la computación en el contexto de FIDEMM, creemos que esta es una oportunidad y desafío para quienes se aboquen a la tarea de diseñar y actualizar planes de estudios en el ámbito de FIDEMM en los próximos años, lo que requiere de foros de discusión que permitan entre otras cosas retroalimentar a las agencias ministeriales de que esta

transición también debe ser atendida con altura de miras en procesos de autorregulación y mejora continua (Acreditación, Evaluación Nacional Diagnóstica).

El rol de la tecnología en la formación de profesores de matemáticas en la UC

Monika Dockendorf, Pontificia Universidad Católica de Chile


La integración de la tecnología en la educación matemática es un proceso

complejo que requiere de la articulación de varias habilidades y conocimientos. Se ha llegado a un amplio consenso de que la “tecnología en sí misma no es transformadora, sino que el modo en que se usa para el aprendizaje tiene el potencial de serlo” (Drijvers et al., 2016; Hoyles, 2018; Niss, 2016; Sutherland, 2013; Trgalová, 2022). Ahí radica la importancia de que la Formación Inicial Docente ponga foco en el desarrollo de conocimientos profesionales para el uso pedagógico de estas herramientas. La línea formativa “Ambientes Digitales de Aprendizaje en Educación Matemática”, integrada a la secuencia de cursos de Didáctica de la Matemática I y II para futuros profesores de Educación Secundaria en la Universidad Católica de Chile es un caso que intenciona el desarrollo de este tipo de conocimientos profesionales especializados. Una de las perspectivas teóricas que orienta esta línea formativa

corresponde a las pedagogías de la práctica: métodos que permiten el aprendizaje de habilidades y conocimientos profesionales especializados con distintos niveles de aproximación, progresando hacia contextos cada vez más auténticos (Grossman et al., 2009). Esta línea formativa anual que transcurre en el último año de la carrera tiene como propósito conocer, diseñar e integrar software matemático dinámico especializado para la enseñanza-aprendizaje de la matemática en el aula, principalmente el software GeoGebra.

El modo en que esta línea formativa anual se aproxima a contextos cada vez más auténticos es haciendo progresar las facetas de la práctica profesional que conlleva el uso de tecnología desde niveles básicos y simulados a niveles cada vez más complejos y reales.

Tabla 3. Facetas de la práctica en relación al uso de recursos digitales (Elaboración Propia)

| | Faceta de la práctica | Profesor(a) en formación | Formador(a) profesores |
|--|--|---|---|
| Grado de Autenticidad  | Conocimiento y uso básico de GeoGebra | Aprendiz como usuario básico del software | Modelo de uso de software para el aprendizaje |
| | Análisis de videos de clase con uso de GeoGebra | Observador de prácticas de aula con uso de software | Problematizador(a) de prácticas de aula |
| | Diseño de <i>applets</i> usando GeoGebra | Autor de material digital de aprendizaje (screencast) | Evaluador formativo de propuestas de <i>applets</i> |
| | Resolución de problemas en ambiente digital | Rol de aprendiz colaborativo y reflexión docente | Analizando y conectando las diferentes estrategias |
| | Simulación de propuestas pedagógicas (universidad) | Profesor (simulado) que aplica su propuesta | Estudiante (simulado/a) que plantea dudas y errores comunes |
| | Ensayo de propuestas pedagógicas (aula escolar) | Profesor en formación que aplica su propuesta | Evaluador formativo de uso de tecnología en aula |

La Tabla 3 describe las facetas de la práctica que progresan en relación al uso de recursos digitales como herramientas cognitivas para el aprendizaje de la disciplina y el rol que adquiere tanto el profesor en formación como el (la) formador(a) de profesores en cada una de ellas.

De esta forma, las y los futuros profesores van desarrollando progresivamente habilidades y conocimientos profesionales especializados que les permiten integrar de forma efectiva las herramientas tecnológicas en sus clases.

Los futuros profesores cuyos formadores integran la tecnología en sus clases, modelan su uso pedagógico, favorecen el ensayo en la cátedra y promueven su implementación en la práctica, estarán mejor preparados para integrar exitosamente la tecnología en el aula (Uerz et al., 2018).

Pensamiento computacional

Juan Espinoza, Universidad Mayor

El término STEM (acrónimo de Ciencia (*Science*), Tecnología (*Technology*), Ingeniería (*Engineering*) y Matemáticas (*Mathematics*)) ha venido cobrando fuerza en los últimos años, y en diferentes contextos: industria, política educativa, medios de comunicación generalistas, publicaciones académicas, etc. El término es usado para referirse “al ámbito profesional que incluye las diferentes disciplinas científico-tecnológicas), pero también para referirse al conjunto de conocimientos, competencias y prácticas relacionadas con este ámbito que deben ser promovidas y desarrolladas a lo largo de la escolaridad (alfabetización STEM que se adquiere durante la escolaridad” (López Simó et al., 2020). Estas dos acepciones son diferentes, pero tienen fuerte relación,

dado que las competencias STEM derivan potencialmente en profesionales STEM. La educación STEM es la base fundamental para incrementar y fortalecer el desarrollo de profesionales STEM.

Existe una alerta fuerte que acrecienta la necesidad del foco STEM en educación, este es, el bajo desempeño en ciencias y matemática en pruebas internacionales como TIMSS y PISA. Esta es un área de estudio que se nutre de los resultados de dichas evaluaciones, entre otras fuentes. Esto se debe, entre otras causas, a que, si bien se realiza enseñanza de ciencias, tecnología y matemática en las escuelas, esta se reduce a la simple transmisión de conocimiento y además se realiza de una manera segmentada (Useche G. & Vargas G., 2019).

Autores como Johnson et al (2016) indican que, más aún, el desarrollo económico de los países depende en gran medida de la inclusión de los niños y niñas en disciplinas STEM. ¿Con qué herramientas contamos para potenciar la educación STEM?

STEM y pedagogías emergentes

Cualquier innovación pedagógica requiere la mejora y renovación de las estrategias de enseñanza. Ya he comentado que el fracaso de la enseñanza STEM recae, en parte, en los procesos de enseñanza basados en la transmisión de información. Una pedagogía emergente, pedagogía activa, o nueva pedagogía, no es más que una estrategia didáctica que entrega el rol activo al estudiante, es decir, el foco del aprendizaje es la actividad del estudiante como práctica y muestra de desempeño. El Instituto Tecnológico de Monterrey, a través de su Centro de Innovación Educativa, puso a disposición en la web una lista de 35 pedagogías emergentes a través de un sitio dedicado. Este sitio

llamado “Estrategias de Aprendizaje Activo” incluye una descripción de cada pedagógica presentada, pero además un canvas de trabajo con descripción y ejemplo útil para implementar la metodología en el aula.

Entre todas estas pedagogías hay algunas que resaltan en la literatura como asociadas a la metodología STEM. Autores como Torras Galán et al (2021) postulan que la metodología detrás del STEM es el Aprendizaje Basado en Proyectos, incluso mencionan ambas juntas como ABP-STEM. El ABProyectos es una metodología diversa, que permite la inclusión de otras pedagogías emergentes, como gamificación o aula invertida. De esta manera, el STEM sería la aplicación del ABProyecto en contexto de ciencias, tecnología y matemática.

STEM y tecnología

Otra herramienta disponible para facilitar y fortalecer la educación STEM es la tecnología. En la sociedad moderna, países desarrollados y en desarrollo, la mayor parte de los estudiantes de nivel escolar cuentan con un dispositivo móvil (*smartphone*) en sus bolsillos. Un estudio superficial de estos aparatos nos mostrará que están repletos de sensores que están disponibles para comunicación y entretenimiento, ¿por qué no usarlos para el aprendizaje de habilidades STEM?

El siglo XXI ha venido marcado, entre otros, por la progresiva aparición y sofisticación de estas herramientas digitales, con mayor capacidad pero también con mayores opciones de intervenir su hardware, es decir, usarlo para fines específicos para los cuales no fueron diseñados.

Físicos y profesores del *Institute of Physics* de RWTH Aachen University

comenzaron hace algunos años a desarrollar una APP móvil que permitiera utilizar los sensores presentes en cada *smartphone*. Esta APP se llama Phyphox. Se trata de una tremenda herramienta con la cual se pueden generar experiencias de aprendizaje que incluyen manipulación de sensores, obtención de datos matemáticos, con el propósito de estudiar y comprender fenómenos naturales; una verdadera experiencia STEM. Esta APP es totalmente gratuita y permite cada vez mayores posibilidades: uso remoto del dispositivo, programación de sensores, conexión con placas Arduino, entre otras. He desarrollado actividades de aprendizaje que llamé “Módulos de Aprendizaje Práctico”; experiencias STEM que buscan desarrollar habilidades por medio de investigación científica y análisis matemático por medio del uso de tecnología, reduciendo los contenidos a simples fichas de consulta. Desde hace 3 años soy embajador de Phyphox en Chile, lo que me ha permitido difundir su uso y apoyar a docentes en su implementación.

Escoger bien las tecnologías que usaremos en experiencias STEM es tremendamente relevante. No tiene sentido desarrollar experiencias de aprendizaje con tecnología anticuada o irrelevante en la actualidad. Hoy las mega tendencias tecnológicas están empapando las más diversas áreas del conocimiento; inteligencia artificial, *data science*, *machine learning*, *blockchain*, entre otras, están ofreciendo oportunidades de mejora y crecimiento a la arquitectura, diseño, construcción, agricultura, y también educación.

Pero al frente del uso de tecnología de vanguardia debe haber un objetivo pedagógico, no la tecnología en sí misma. Según organizaciones como la *International Society for Technology in Education* (ISTE), el foco del aprendizaje

en la era digital es el desarrollo de habilidades conocidas como “del siglo XXI”. El ABP es una metodología, que, bien implementada, favorece el desarrollo de estas habilidades, poniendo la tecnología como un medio muy útil, pero sólo un medio para lograr objetivos de aprendizaje avanzados.

¿Cómo podría impactar la propuesta STEM a la formación de profesores?

La inestabilidad social y política, la irrupción descontrolada de la tecnología en la vida laboral, académica y personal; representan un tremendo desafío educativo. ¿Qué habilidades son relevantes para los estudiantes que hoy viven en este contexto, y que se desarrollarán en un futuro incierto? Autores como Serantes-Pazos et al (2021) señalan que la educación STEM es clave para un Educación para la Ciudadanía Global (ECG), una formación integral que aporta conocimiento, estrategias, habilidades y principios éticos.

Esta mirada extiende los alcances y desafíos de la educación STEM, incluyendo factores que hasta ahora no son cubiertos ni considerados por los sistemas educativos. Queda claro que el camino por recorrer con la metodología STEM es extenso e incierto, lo cual nos ofrece la posibilidad de ser parte de su desarrollo.

Reflexiones sobre la práctica educativa en matemáticas y el uso de la tecnología.

Paola Ramírez, Universidad de Talca

Experiencias enriquecedoras con el uso de tecnología podemos encontrar continuamente (véase *MathCity Map Project* en donde se muestra como se intensifica la vivencia del hacer matemático en la ciudad haciendo paseos

en ellas con el apoyo de *google maps*), sin embargo, aun teniendo estos aportes, debemos reconocer que existe una “necesidad” de comprender que la tecnología no hará el trabajo por sí sólo cuando se da el aprendizaje y tal vez, de ese modo, podríamos evitar que “la escuela parece esperar que la tecnología por sí sola haga el trabajo casi 'mágicamente' por los profesores” (Sutherland, 2013, pp. 27-28) obviando la participación de toda la comunidad educativa en ello.

Por tanto, se hace presente, en particular, considerar que al utilizar una herramienta tecnológica (por ejemplo, un software matemático dentro o fuera de una sala de clases) el profesor tiene un rol fundamental en el diseño de la actividad matemática, como también en la interacción que se da con los estudiantes cuando por medio del uso de esta, ellos lleguen a esa “idea” matemática que se desea enseñar. Los estudiantes por su lado, también juega un rol trascendental en la interacción que tienen con el uso de la tecnología, comprendiendo que ellas no les hará el trabajo, sino que son ellos los protagonistas en la manipulación del objeto tecnológico, incluso más, que son capaces de mostrar su grado de aceptación al uso de ello, como lo demuestra el trabajo de realidad aumentada y virtual de estudiantes universitarios en un proyecto de investigación sobre fundaciones matemáticas en la arquitectura (Cabero-Almenara et al., 2021).

También, se hace importante destacar el acceso que se tiene a ella, como se ha argumentado, no basta con entregar el software matemático o decir le hemos entregado un computador a el estudiante o profesor, el acceso va de la mano con la educación de esta misma tomando en cuenta que en países como “Chile,

Ecuador, México y Perú menos del 10% de los individuos cuentan con un nivel completo de comprensión lectora y competencias matemáticas y de resolución de problemas en entornos altamente tecnológicos” (OECD, 2020, p. 23)

Finalmente, cabe preguntarse, ¿Cómo podemos transformar las experiencias que hemos tenido con el uso de tecnología en habilidades transformadoras para los estudiantes, profesores y escuelas en su diario hacer? ¿Cuál es el rol que le damos actualmente al que manipula dicha tecnología? ¿Cuál es la importancia que le damos al diseño de una actividad matemática por medio del uso de un software matemático?

Conclusión

Durante el WORKSHOP DE INTEGRACIÓN DE TIC EN LA DOCENCIA UNIVERSITARIA Y EL AULA ESCOLAR: TENDENCIA Y DESAFÍOS se discutieron diversas problemáticas que deben enfrentar en la formación de profesores y profesoras en relación a la tecnología. Esta problemática se renueva por varios factores, algunos exógenos al sistema escolar y otros que le son propios. En el primer caso, aparece como problemática la renovación y el dinamismo del ecosistema de nuevos artefactos digitales que están a disposición de todo el mundo, en particular las máquinas matemáticas (Flores Salazar et al., 2022) En los factores que son propios del sistema, aparecen los nuevos estándares de formación docente (CPEIP & MINEDUC, 2021) y los nuevos programas diferenciados de matemáticas y ciencias que ponen en relieve el uso pertinente de artefactos digitales.

El encuentro que tuvo dos etapas, una de presentaciones y otra de talleres dictados

por formadores de distintas universidades del país mostró cómo enfrentan los distintos desafíos propuestos por el sistema escolar y por los factores externos, además, mostraron adaptaciones particulares a las realidades locales.

Se observó una variedad de temas tecnológicos abordadas: sistemas de cálculo simbólico, sistemas de geometría dinámica, hojas de cálculo, programación, robots, impresoras 3D, simuladores en matemáticas y ciencias, entre otros. Frente a esta variedad, tal como lo indica Drijvers (2016), la pregunta: ¿la tecnología, el aprendizaje de las matemáticas o ciencias? Parece no ser pertinente, hay que necesariamente hacer un análisis más fino, detallando la tecnología, las tareas movilizadas y el cómo se usan.

Los futuros profesores de matemáticas y ciencias en los diversos dispositivos formativos son puestos en rol de aprendices, diseñadores, desarrolladores, analistas del trabajo de otros, lo que es abordado con una variedad de aproximaciones teóricas. Las presentaciones se abordaron desde el constructo de habilidades para el siglo XXI, *Technological Pedagogical Content Knowledge* TPACK, POE (ciencias), Objetivación, Aproximación instrumental, Espacio de Trabajo Matemático (ETM), entre otros. Esto permite estudiar la tecnología desde una mirada no ingenua, analizando su complejidad y no solo relevando su potencial transformador.

En las contribuciones de las y los investigadores a este documento también se observan distintas miradas que muestran hasta qué punto son necesarias estas instancias de discusión y colaboración para recoger aquellas prácticas formativas que pueden ser transferibles y replicables.

Bibliografía

- Agencia Calidad de la Educación. (2014). *Informe Nacional resultados Chile PISA 2012*. MINEDUC. http://archivos.agenciaeducacion.cl/Informe_Nacional_Resultados_Chile_PISA_2012.pdf
- Artigue, M. (2002). Learning Mathematics in a CAS Environment: The Genesis of a Reflection about Instrumentation and the Dialectics between Technical and Conceptual Work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 245-274. <https://doi.org/10.1023/A:1022103903080>
- Asimov, I. (2005). Cuanto se divertían. En *Cuentos completos I* (pp. 166-163). Ediciones B.
- Bartolini Bussi, M. G., & Maschietto, M. (Eds.). (2006). *Macchine matematiche: Dalla storia alla scuola*. Springer Milan. https://doi.org/10.1007/88-470-0403-9_1
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., & Martínez-Roig, R. (2021). Mixed, Augmented and Virtual, Reality Applied to the Teaching of Mathematics for Architects. *Applied Sciences*, 11(15), Art. 15. <https://doi.org/10.3390/app11157125>
- Chevallard, Y. (1985). Pourquoi la transposition didactique ? En *Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques* (La pensée Sauvage). http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=103
- Christian, W., & Belloni, M. (2003). *Physlet Physics: Interactive Illustrations, Explorations and Problems for Introductory Physics*.
- CPEIP, & MINEDUC. (2021). *Estándares pedagógicos y disciplinarios para darreras de pedagogía en Matemática*. MINEDUC. <https://estandaresdocentes.mineduc.cl/Categoria-p/pedagogias/>
- Drijvers, P., Ball, L., Barzel, B., Heid, M. K., Cao, Y., & Maschietto, M. (2016). Uses of Technology in Lower Secondary Mathematics Education. En P. Drijvers, L. Ball, B. Barzel, M. K. Heid, Y. Cao, & M. Maschietto (Eds.), *Uses of Technology in Lower Secondary Mathematics Education: A Concise Topical Survey* (pp. 1-34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33666-4_1
- DST. (2016). *Interactive Physics—Physics Simulation Software for the Classroom*. <https://www.designsimulation.com/ip/>
- Flores Salazar, J. V., Gaona, J., & Richard, P. R. (2022). Mathematical Work in the Digital Age. Variety of Tools and the Role of Geneses. En A. Kuzniak, E. Montoya-Delgado, & P. R. Richard (Eds.), *Mathematical Work in Educational Context: The Perspective of the Theory of Mathematical Working Spaces* (pp. 165-209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90850-8_8
- Gorjón, L., Osés, A., & de la Rica, S. (2020). *Tecnología en la educación: ¿cómo afecta al rendimiento del alumnado?* (Informe ISEAK 2021/1). <https://iseak.eu/publicacion/tecnologia-en-la-educacion-como-afecta-al-rendimiento-del-alumnado>
- Gregorcic, B. (2015). Exploring Kepler's laws using an interactive whiteboard and Algodoo. *Physics Education*, 50(5), 511-515. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/5/511>
- Grossman, P., Compton, C., Igra, D., Ronfeldt, M., Shahan, E., & Williamson, P. W. (2009). Teaching Practice: A Cross-Professional Perspective. *Teachers*

- College Record*, 111(9), 2055-2100.
<https://doi.org/10.1177/016146810911110905>
- Hoyles, C. (2018). Transforming the mathematical practices of learners and teachers through digital technology. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 209-228.
<https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1484799>
- Johnson, C. C., Peters-Burton, E. E., & Moore, T. J. (2016). *STEM Road Map: A framework for integrated STEM education*. Routledge.
<https://www.book2look.com/book/QoebR9bPsN>
- Kuzniak, A., Tanguay, D., & Elia, I. (2016). Mathematical Working Spaces in schooling: An introduction. *ZDM*, 48(6), 721-737. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0812-x>
- López Simó, V., Couseo Lagarón, D., & Simarro Rodríguez, C. (2020). Educación STEM en y para el mundo digital: El papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(62), Art. 62.
<https://doi.org/10.6018/red.410011>
- Martínez, C. (2020). *Proceso de Armonización Pedagogía en Educación Media en Matemática y Computación (2018-2020)*. Universidad de los Lagos. <http://pmyc.ulagos.cl/index.php/noticias/item/188-aprobacion-propuesta-armonizacion-curricular-2020>
- MINEDUC. (2016). *Docentes en Chile: Conocimiento y uso de las TIC 2014*. MINEDUC, Serie Evidencias Santiago de Chile.
- MINEDUC. (2021a). *Programa de Estudio Geometría 3D de 3° y 4° medio Formación Diferenciada* (MINEDUC).
<https://www.curriculumnacional.cl/portal/Diferenciado-Humanista-Cientifico/Matematica/Geometria-3D/>
- MINEDUC. (2021b). *Programa de Estudio Límites, Derivadas e Integrales 3° y 4° medio* (MINEDUC).
<https://www.curriculumnacional.cl/portal/Diferenciado-Humanista-Cientifico/Matematica/Limites-derivadas-e-integrales/>
- MINEDUC. (2021c). *Programa de Estudio Pensamiento Computacional y Programación 3° y 4° medio* (MINEDUC).
<https://www.curriculumnacional.cl/portal/Diferenciado-Humanista-Cientifico/Matematica/Limites-derivadas-e-integrales/>
- MINEDUC. (2021d). *Programa de Estudio Probabilidades y Estadística Descriptiva e Inferencial 3° y 4° medio – Formación Diferenciada* (MINEDUC).
<https://www.curriculumnacional.cl/portal/Diferenciado-Humanista-Cientifico/Matematica/Limites-derivadas-e-integrales/>
- Niss, M. A. (2016). Mathematics Standards and Curricula Under the Influence of Digital Affordances: Different Notions, Meanings and Roles in Different Parts of the World. En M. Bates & Z. Usiskin (Eds.), *Digital Curricula in School Mathematics* (pp. 239-250). Information Age Publishing.
- OECD. (2015). *Students, Computers and Learning: Making the Connection*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/education/students-computers-and-learning_9789264239555-en
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results (Volume I): What Students Know and Can Do*. Organisation for Economic Co-

operation and Development.
https://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2018-results-volume-i_5f07c754-en

OECD. (2020). *Aprovechar al máximo la tecnología para el aprendizaje y la formación en América Latina*. OECD. <https://doi.org/10.1787/ce2b1a62-en>

Pedrajas, A. P. (2005). Aplicaciones de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación en la educación científica. Primera parte: Funciones y recursos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2-18.

Ruthven, K. (2007). Teachers, technologies and the structures of schooling. *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. <http://erme.site/cerme-conferences/cerme-5/>

Serantes-Pazos, A., Digón-Regueiro, P., Cruz-López, L., DePalma, R., Méndez-García, R. M., & Núñez, M. B. (2021). Por una educación para la ciudadanía global ¿desde un enfoque STEM? *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, 10, Art. 10. <https://doi.org/10.1344/did.2021.10.1-3>

Sokoloff, D. R., & Thornton, R. K. (2004). Interactive Lecture Demonstrations. En *Interactive Lecture Demonstrations*. Wiley-VCH. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004ild..book.....S>

Sutherland, R. (2013). Expanding the possible: People and technologies. En R. Sutherland (Ed.), *Education and social justice in a digital age* (p. 0). Policy Press. <https://doi.org/10.1332/policypress/9781447305255.003.0002>

Teodoro, V. D., Vieira, J. P. D., & Vieira, P. D. (2015). *Modellus v4. 5*. Lisboa: *Modellus*.

Torras Galán, A., Lope Pastor, S., & Carrio Llach, M. (2021). El aprendizaje basado en proyectos en el ámbito STEM: Conceptualización por parte del profesorado. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 20(3), 359-380.

Trgalová, J. (2022). Digital Technology and Its Various Uses from the Instrumental Perspective: The Case of Dynamic Geometry. En P. R. Richard, M. P. Vélez, & S. Van Vaerenbergh (Eds.), *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning* (pp. 417-429). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_18

Uerz, D., Volman, M., & Kral, M. (2018). Teacher educators' competences in fostering student teachers' proficiency in teaching and learning with technology: An overview of relevant research literature. *Teaching and Teacher Education*, 70, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.11.005>

Urzúa, T., & Vargas, J. (2012). Sistemas de adquisición automática de datos en el aula de ciencias y desarrollo de competencias científicas. *Revista chilena de educación científica*, 11(2), 33-41.

Useche G., G., & Vargas G., J. (2019). Una revisión desde la epistemología de las ciencias, la educación STEM y el bajo desempeño de las ciencias naturales en la educación básica y media. *Revista Temas*, 13, 109-121.