

## AETD: EL AULA ENRIQUECIDA CON TECNOLOGÍA DIGITAL

*Recibido: 15 junio 2021\* Aprobado: 13 septiembre 2021*

JOSÉ LORENZO SÁNCHEZ ALAVEZ

*Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla*

*Puebla, México*

*joselorenzo.sanchez@upaep.mx*

### Resumen

Este documento describe elementos fundamentales para el desarrollo de una visión integral de la enseñanza de las matemáticas a partir de la conjugación de tres dimensiones inherentes en la práctica docente: la normativa, la didáctica, la disciplinar, y una dimensión transversal: la tecnológica.

En un contexto institucional existe una especie de entropía del salón de clases en las que las cuatro dimensiones se entrelazan determinando la práctica particular del docente en cuestión y, por supuesto, la calidad de los aprendizajes alcanzados. A este contexto lo consideramos el aula cero y representa el estado convencional de un salón de clases. El estado idóneo para mejorar la calidad de los aprendizajes tiene que ver con la disminución de esta entropía a través de la integración de recursos (materiales y pedagógicos), para enriquecerlos; por ejemplo, con posibilidades que otorga la tecnología digital.

El Aula Enriquecida con Tecnología Digital (AeTD) es una propuesta metodológica en la que se conjugan distintos elementos técnicos y pedagógicos como instrumento mediador para la exploración digital de conceptos matemáticos.

*Palabras clave: educación matemática, tecnología digital, AeTD, superficie interactiva, evaluación instantánea.*

### Abstract

This document describes fundamental elements for the development of an integral vision of the teaching of mathematics beginning with the combination of three dimensions inherent in teaching practice: the normative, the didactic, the disciplinary and a transversal dimension; the technological.

In an institutional context, there is a kind of entropy of the classroom in which the four dimensions are intertwined determining the particular practice of the teacher in question



and, of course, the quality of the learning achieved. We consider this context the zero classroom, and it represents the conventional state of a classroom. The ideal state to improve the quality of learning has to do with the reduction of this entropy through the integration of resources (material and pedagogical), to enrich them, for instance, with possibilities granted by digital technology.

The enriched classroom with digital technology (ECDT) is a methodological proposal that combines different technical and pedagogical elements as a mediating

instrument for the digital exploration of mathematical concepts

*Keywords: Mathematics education, Digital technology, Enriched Classroom with Digital Technology), Interactive surface, Instant evaluation.*

... un visor para la mente  
que le permita a nuestra imaginación  
ir más allá de sus límites naturales.

**Robert Osserman**

## INTRODUCCIÓN

El Aula Enriquecida con Tecnología Digital (AeTD) es una propuesta metodológica permeada por tecnología digital, que parte de las condiciones y contexto de un aula convencional para enriquecerla con aditamentos materiales y técnicos a fin de enfatizar sus propiedades de mediación en el aprendizaje.

En un AeTD se prioriza la exploración de conceptos clave de la matemática, aprovechando los recursos disponibles en lo que denominamos sus tres modos áulicos: *modo aula cero (AeTD-0)*, que consiste en el aula convencional y común; el modo enriquecido con tecnología electrónica (particularmente con pizarrones electrónicos o superficies interactivas) que llamamos *modo de aula SupInt (AeTD SupInt)*; y el modo más sofisticado que involucra interacciones digitales con internet, aplicaciones y realidad aumentada: *modo de aula AR+ (AeTD/AR+)*.

El AeTD se basa en lo que denominamos Sistema de Evaluación por Puntos (SiEP), entendido como una estrategia didáctica basada en la gamificación, a través de un proceso de evaluación

dinámico y permanente para reorientar instantáneamente el proceso de enseñanza. El SiEP requiere principalmente del dominio, diseño y análisis de la información que generan las distintas técnicas e instrumentos de evaluación de los aprendizajes; así como de un bagaje amplio de técnicas de enseñanza que permita al docente enfrentar las dificultades en el aprendizaje de contenidos matemáticos focalizados (INEE, 2009, p. 11). Estos dos rasgos son característicos de las competencias docentes necesarias en una sociedad del conocimiento (Perrenoud, 2007). Aunado a ello, se considera fundamental la incorporación de herramientas digitales para aprender y reaprender conceptos matemáticos inmersos en el currículo escolar, para transformarlos didácticamente en objetos borde (Moreno-Armella, 2013) y, bajo esta nueva condición, incorporarlos en la enseñanza como instrumentos mediadores.

El AeTD pretende, sin obviar o desatender otros aspectos importantes de la práctica docente, centrar la atención en el tiempo que se dedica a los procesos de desarrollo del pensamiento matemático incluyendo, inherentemente, la actitud con que los estudiantes incorporan proceso de aprendizaje autónomo y permanente.

## REFERENTES TEÓRICOS

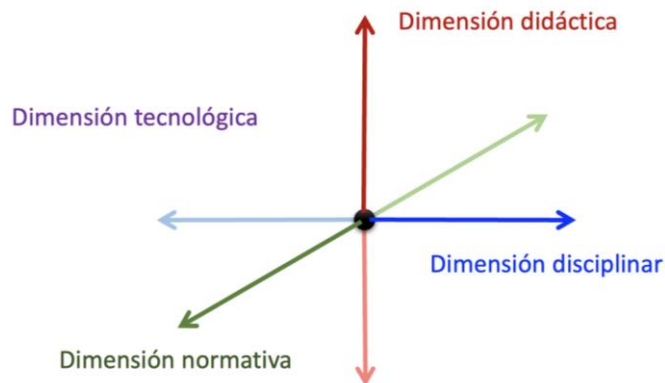
Esta propuesta considera que la práctica docente es multidimensional, transversal y necesariamente interdisciplinaria. Dicha práctica se refleja en el grado de desarrollo de las competencias docentes para enseñar (Perrenoud, 2007) y se refleja en la manera particular para conjugar la dimensión didáctica, la dimensión disciplinar, la dimensión normativa y la dimensión tecnológica en el diseño instruccional de una actividad o secuencia didáctica.

La combinación de estas cuatro dimensiones produce matices distintos de la práctica docente, con fortalezas y áreas de oportunidad particulares para cada docente. Este grado de incertidumbre, por la carencia de índices o referentes medibles del grado de organización integral de dichas tareas, la consideramos como una especie de *entropía del salón de clases*, sin adjetivos ni juicios de valor.

En la Figura 1 es posible localizar tridimensionalmente la posición de la práctica docente permeada por la incorporación de herramientas digitales en dichas dimensiones.

**Figura 1**

*Dimensiones de la práctica docente. La dimensión tecnológica se considera transversal a las otras dimensiones*



## LA DIMENSIÓN NORMATIVA

Es importante que el docente reconozca el ámbito y los límites de intervención de su práctica educativa, entendida como una serie de actividades enmarcadas en leyes, acuerdos, programas institucionales, protocolos de acción, lineamientos y acuerdos de academia. Es decir, lo que se puede y lo que no debe hacerse en un salón de clases. En este trabajo damos suma importancia a la reglamentación relacionada con los procesos del servicio de control escolar; es decir, con la recepción, tratamiento, entrega de reportes de evaluación y transparencia en la rendición de cuentas con la comunidad y, principalmente, con alumnos y padres de familia.

## LA DIMENSIÓN DIDÁCTICA

Una tarea fundamental del docente consiste en identificar el estado que guardan ciertos aprendizajes antes, durante y después de un proceso didáctico. Predecir las potenciales dificultades que presentarán los estudiantes, antes siquiera de conocerlos, es posible a través de los resultados obtenidos en investigaciones realizadas alrededor de este fenómeno.

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

En el informe 2017 el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) se reporta que 65% de los estudiantes de tercero de secundaria se ubican en el nivel I de logro educativo; el 22% en el nivel II, el 9% en el nivel III y que solo el 5 % logra el nivel IV (INEE, 2019, p. 2). Es decir, 6 de cada 10 estudiantes tienen dificultades para realizar operaciones con fracciones y operaciones que combinen incógnitas o variables (representación con letras), así como para establecer y analizar relaciones entre dos variables. Ahora bien, con este antecedente, en el salón de clases es de suma importancia realizar un diagnóstico preciso y situado del estado de los saberes que se consideran importantes para los propósitos de la asignatura, para planificar la mejor estrategia de enseñanza para ese contexto particular.

En la planificación entra en juego la capacidad de organizar actividades de aprendizajes bajo un sólido argumento pedagógico y fundamentado en algún paradigma en psicología de la educación, que permita la interpretación del fenómeno educativo. En este sentido es importante reconocer, por ejemplo, que términos como *zona de desarrollo próximo* y mediación instrumental, son conceptos propios de una perspectiva sociocultural (Hernández, 2014, p. 219) y que el *aprendizaje significativo* lo es de la perspectiva cognitiva (Hernández, 2014, p. 138). Diferenciar estos conceptos es necesario para clarificar el fundamento teórico de las acciones programadas, para no caer en errores conceptuales o metodológicos que deriven en deslizamientos meta-didácticos (Brousseau y D'Amore, 2018).

De manera particular, para el tratamiento didáctico de un tema o concepto, las estrategias puestas en juego deben tomar matices válidos; es decir, echar a andar actividades específicas enmarcadas en técnicas o modelos didácticos que han reportado buenos resultados y además que son reproducibles. Ejemplo de ello son: gamificación, enseñanza de la matemática con tecnología (EMAT), storytelling, mentoring, método de las 5e, realidad virtual, realidad aumentada, aprendizaje invertido, aprendizaje y evaluación adaptativos, aprendizaje basado en retos, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en investigación, aprendizaje basado en proyectos, el modelo 4Mat, entre otros.

En cada momento del curso debe ser posible detenerse y evaluar, tanto la calidad de los aprendizajes en desarrollo como la eficacia de la técnica didáctica elegida, no solo en el sentido

peyorativo con fines de emitir necesariamente una calificación. Esta evaluación se denomina evaluación diagnóstica puntual (Díaz y Hernández, 2002, p. 399). La calidad de la evaluación está vinculada a la calidad de las técnicas e instrumentos elegidos para realizar dicha evaluación y el tipo de interpretación que se haga de su lectura. Es importante optar por aquellos instrumentos acorde a la naturaleza del aprendizaje a evaluar.

## TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

La evaluación diagnóstica o predictiva es aquella que se realiza al inicio de un proceso educativo (Díaz y Hernández, 2002, p. 396). Si la evaluación es a nivel grupal, se denomina *prognosis* y si es específica y diferenciada para cada alumno, se llama *diagnosis* (Jorba y Casellas, 1997, p. 37). En este trabajo hacemos énfasis en el tipo de evaluación diagnóstica inicial y la evaluación diagnóstica puntual. La primera, la evaluación diagnóstica inicial, la entenderemos como la que se realiza al inicio del proceso educativo (un ciclo escolar, un semestre, un cuatrimestre...), para valorar los conocimientos previos de los estudiantes (Ausbel, Novak y Hanesian, 1983). La segunda, la evaluación diagnóstica puntual, es la que se realiza en diversos momentos previo al inicio de una secuencia o segmento de estudio de un concepto (Díaz y Hernández, 2002), incluso antes del estudio formal de un tema específico del curso.

La evaluación –particularmente la evaluación diagnóstica puntual– requiere del uso de técnicas e instrumentos de evaluación; por ello es importante realizar una elección adecuada del instrumento pertinente de acuerdo con la naturaleza del concepto matemático cuyo aprendizaje se pretende medir. En esta propuesta usamos técnicas e instrumentos de evaluación bajo un enfoque constructivista (Díaz y Hernández, 2002). La evaluación también implica la recolección de datos y esto depende de la naturaleza del instrumento elegido. Pero esta cuestión la abordaremos más adelante.

## LA DIMENSIÓN DISCIPLINAR

El dominio disciplinar de la asignatura, es decir, el nivel de competencia matemática es una virtud imprescindible del docente frente a su labor de enseñanza, así como el conocimiento especializado del propio contenido y su interacción con otros factores (Godino, Batanero, Font y Giacomone, 2016). Dichos factores pueden ser de índole psicológico, sociológico, pedagógico, tecnológico u otro campo inherente en la naturaleza humana del aprendizaje. En las siguientes líneas enfocaremos la atención en esta vertiente: en las matemáticas necesarias para interpretar el fenómeno educativo a partir de la valoración y medición de los conocimientos y habilidades matemáticas de los estudiantes, y su refracción en la calificación que se debe asignar en función de su desempeño.

## LA DIMENSIÓN TECNOLÓGICA

Una de las competencias docentes que ha tomado relevancia en los últimos años es el uso de las tecnologías emergentes (Perrenoud, 2007). Es necesario diferenciar el tipo de uso que es posible dar a estas herramientas digitales. Por una parte, es la de considerar a las aplicaciones digitales (*app*) para dispositivos móviles, como herramientas mediadoras para el aprendizaje, en virtud que en algunos casos ofrecen una representación ejecutable del objeto matemático (Moreno y Hegedus, 2009). El otro uso potencial para estas apps tiene que ver con la gestión de información y del manejo de grandes cantidades de datos que es posible obtener con el quehacer diario en la escuela.

### LA TECNOLOGÍA DIGITAL COMO INSTRUMENTO DE MEDIACIÓN CON LOS OBJETOS MATEMÁTICOS

Actualmente existe una gran diversidad de aplicaciones y software educativo con una orientación didáctica hacia las matemáticas. La capacidad expresiva de esta tecnología permite al estudiante nuevos acercamientos a las ideas matemáticas (Moreno y Hegedus, 2009, p. 508); el tipo de recurso elegido para la exploración determina en gran medida la manera como un individuo asume la tarea matemática.

Las actividades didácticas de esta propuesta incorporan tecnología digital a través de apps, donde algunas de ellas absorben la carga procedimental de cálculos engorrosos, con el fin de que

los estudiantes se centren en ideas más complejas y fundamentales (Moreno-Armella, Hegedus y Kaput, 2008). La mayoría de estas apps son gratuitas y las que describimos a continuación se corresponden con cada una de las dificultades presentadas en la sección dimensión didáctico-pedagógica:

- *MyScript Calculator*. Transforma la pantalla del dispositivo en una hoja de papel interactiva donde es posible escribir como en una hoja de papel. La app lo reconoce y lo expresa como un modelo matemático (aritmético o algebraico) con propuesta de solución.
- *Piano 3D Notion*. La combinación de estas dos apps permite transformar patrones geométricos en notas musicales para importarlas en formato de sonido o en partituras formales que pueden almacenarse en formato PDF.
- *Álgebra Touch*. Permite seleccionar, arrastrar o descomponer los términos de una expresión algebraica en un contexto de resolución. El estudiante puede intuir las propiedades de las ecuaciones y, en general, de las operaciones básicas con polinomios.
- *Calculadora gráfica de GeoGebra*. Esta es una de tres aplicaciones de GeoGebra para dispositivos móviles. La ventaja de esta versión es que incorpora la posibilidad de obtener puntos especiales de funciones y un botón para resolución de ecuaciones.
- *GeoGebra Geometría*. Esta versión de GeoGebra, a diferencia de la anterior, incorpora la opción de pasos de construcción con descripciones específicas.
- *Spreadsheets*. Es una aplicación para trabajar en libros y hojas de cálculo. En esta app es posible analizar conjunto de datos a través de diversas funciones, entre ellas las asociadas con el tratamiento de la información como las medidas de tendencia central y la normalización de conjunto de datos.

## LA TECNOLOGÍA DIGITAL COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN

La gama de aplicaciones de las apps es bastante alta. Una de ellas gira en torno a la gestión de información. En este trabajo usamos primordialmente QR Counter, ZipGrade y Spreadsheets, esta última de la suite de Google.



- *QR Counter*. Es una aplicación que lee códigos QR y los almacena en una base de datos que se puede exportar en formato de hoja de cálculo. Cada que la cámara del dispositivo lee un código, activa el contador que (en una situación de clase) permite registrar instantáneamente distintos datos como la asistencia, las participaciones o puntuaciones obtenidas a través de una determinada actividad. Cada estudiante debe poseer su código QR personal que puede diseñar desde alguno de los distintos sitios web para ello.
- *ZipGrade*. Esta aplicación escanea un número ilimitado de hojas de respuestas de hasta 100 reactivos de opción múltiple. Un aspecto interesante de la aplicación es su capacidad de almacenar esta información y de ofrecer un análisis estadístico de las respuestas ofrecidas por los sustentantes; por ejemplo, la frecuencia de respuestas que los estudiantes seleccionan por inciso en cada reactivo, el índice de dificultad de cada ítem, la frecuencia de aciertos por reactivo (a cada pregunta se le puede asignar un puntaje específico). También es posible analizar cada examen de manera individual o bien, el comportamiento general del grupo a través de la puntuación máxima, la mínima, el promedio, la media y la desviación estándar.
- *Spreadsheets*. Es una aplicación dentro de la suite de Google, con propiedades de hojas de cálculo. Esta propuesta permite llevar un control preciso de los puntajes que los estudiantes adquieren en las distintas actividades propuestas. La ventaja principal es que se puede visualizar desde distintos dispositivos o computadoras y se actualiza automáticamente cada 5 minutos. Es posible incrustar una hoja de cálculo de spreadsheets en una plataforma, página web, blog o enviarlo directamente a través de un link por WhatsApp o Messenger.

## METODOLOGÍA

### DEL AULA CONVENCIONAL AL AULA ENRIQUECIDA CON TECNOLOGÍA DIGITAL

A partir de un aula convencional es posible enriquecer el salón de clases hasta convertirlo en un AeTD, sin la erogación de gastos que representen un desgaste financiero para una institución. Lo

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

que se propone es el ajuste y redefinición de la *intencionalidad* de la infraestructura dada. Por ejemplo, transformar el pizarrón convencional en una superficie interactiva (pizarrón electrónico), adaptar una de las paredes del salón en una zona de proyección a gran escala, incorporar un sistema de audio, aprovechar el servicio de internet institucional y reorientar el uso de teléfonos inteligentes de los estudiantes con fines académicos. Todos estos cambios pueden ser graduales y de acuerdo con la factibilidad real de llevarlas a cabo.

## TIPOS DE CONEXIÓN EN UN AETD

En esta propuesta se adaptó un salón de clases convencional y se enriqueció con la combinación de tres tipos de conexión inalámbrica de los dispositivos móviles disponibles:

- **Apple TV.** Es un receptor digital para reproducir contenido multimedia digital a través de *streaming*. Una de las variantes de este medio es la duplicación de la pantalla de un dispositivo móvil. Esta posibilidad permite mostrar en una pantalla o proyección, el contenido en tiempo real de una app (Figura 2).
- **Google Chromecast.** Es un adaptador o llave HDMI, que permite hacer streaming de contenido desde un dispositivo móvil de forma inalámbrica y en calidad Full HD. Este medio permite presentar en una pantalla o una proyección, películas, videos, fotos, música o cualquier otro contenido multimedia (Figura 2).
- **BenQ QCast** Es un dispositivo inteligente para presentaciones inalámbricas, como contenido multimedia, videos, documentos y sesiones de cámara desde cualquier dispositivo móvil. Este dispositivo tiene capacidad de presentación simultánea de hasta 4 dispositivos (Figura 2). Este tipo de conexión se utiliza para la confrontación de argumentos. A través de las 4 pantallas posibles, los equipos de trabajo muestran y argumentan sus resultados matemáticos.

**Figura 2**

*Dispositivos para los distintos tipos de conexión en un AeTD*



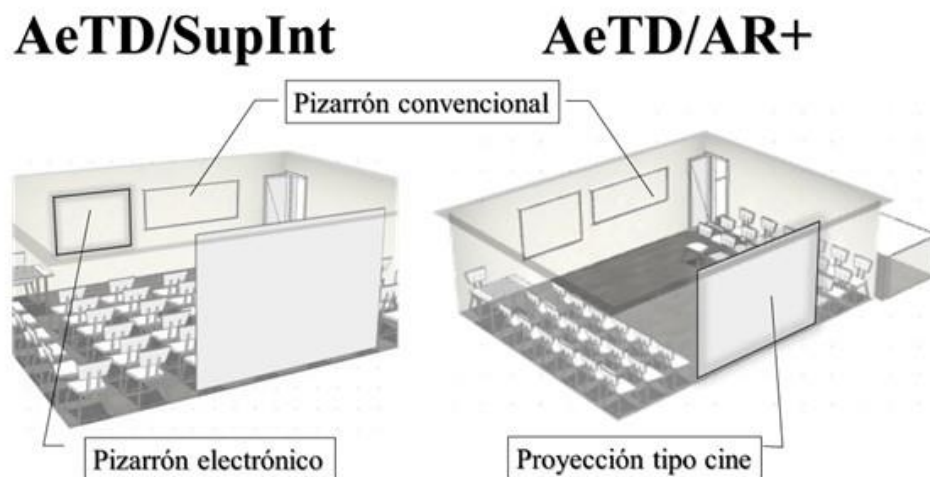
## MODOS DE AULA

A través de la combinación de los tipos de conexión y de recursos específicos es posible generar tres modos áulicos:

- *AeTD-0*. Es el modelo de aula convencional, en el que el salón de clases dispone de los elementos suficientes para la práctica escolar. Consideramos importante este modo de aula porque es el punto de partida. Este modo de aula queda determinado por la infraestructura propia del plantel educativo, del sistema de educación pública. En este modo de aula se consideran solo los recursos con los que se lleva a cabo una educación convencional: sillas, pizarrón, escritorio, cuadernos de apuntes.
- *AeTD/SupInt*. Es el modelo de aula convencional AeTD-0 pero enriquecido con una superficie interactiva. Esta modalidad agrega la interactividad de un pizarrón electrónico para el uso de software educativo a través de una computadora personal (Figura 3).
- *AeTD/AR+*. Es el modelo de aula convencional AeTD+SupInt, enriquecido con una proyección tipo cine, en la que se proyecta la pantalla del dispositivo móvil usando una conexión inalámbrica a través de Apple TV, Google Chromecast o de QCast. En este modo de aula es posible potenciar el uso didáctico de aplicaciones para dispositivos móviles que involucren interactividad, realidad virtual y realidad aumentada (Figura 3).

**Figura 3**

*Modos áulicos*



En un AeTD, metodológicamente, es importante considerar los siguientes momentos (no necesariamente lineales):

## 1) APRENDIZAJE ESPERADO: DIAGNÓSTICO INICIAL

Antes de iniciar un módulo de aprendizaje es importante considerar las potenciales dificultades que se presentarán en el curso. Para tener información más precisa sobre dichas dificultades y las particularidades que se den tomar en cuenta, se requiere adicionalmente la aplicación de instrumentos de evaluación específicos. Un buen diagnóstico permite una mejor planificación de la enseñanza.

## 2) TÉCNICA DIDÁCTICA

La estrategia de trabajo debe asumirse por el estudiante como un reto diario por aprender. Cada acto dentro de este proceso aporta información importante para que el docente redirija su

estrategia de enseñanza (retroalimentación inmediata). En este sentido, se adopta la gamificación como una técnica predominante en el trabajo con los estudiantes.

Específicamente, se establece una meta grupal y los estudiantes ponen en juego sus habilidades y conocimientos para alcanzar ese objetivo común; unas veces lo hace individual y otras de manera colaborativa para favorecer las conexiones sociales (Hertz, 2013). El abordaje de los contenidos en clase debe hacerse de tal manera que, incluso cuando la sesión haya terminado, los estudiantes sigan pensando en estrategias de solución para los problemas planteados (Kiang, 2014).

Sin omitir la formalidad en el tratamiento conceptual de los objetos matemáticos se busca favorecer ambientes dinámicos, activos y atractivos para el estudiante, que los lleve a participar en ellos sin recompensa alguna; sin embargo, cualquier actividad puede ser medida a través de instrumentos de evaluación que permitan recuperar información valiosa para regular la experiencia de aprendizaje. En este sentido, se retoman los elementos de juego convencional para que los estudiantes asuman su participación como motor de acumulación de puntos. Esto, metodológicamente, tiene el fin de enriquecer dicha experiencia de aprendizaje (Detering, Dixon, Khaled y Nacke, 2011).

### 3) SECUENCIAS DE APRENDIZAJE

Para el desarrollo del pensamiento matemático es fundamental la resolución de problemas. En esta propuesta se usa una tipología establecida por Rafaela Borasi para el trabajo en el aula: ejercicios, problemas con-texto, puzzles, pruebas de conjetura, problemas de la vida real, situaciones problemáticas y situaciones (Borasi, 1986). Aunque tradicionalmente se ha considerado la resolución de problemas en un formato de lápiz y papel, se considera importante que estas situaciones problemáticas que se plantean sean enriquecidas a través de la mediación de tecnología digital, en función de su naturaleza. A continuación describiremos 3 secuencias didácticas con actividades de aprendizaje usadas en esta investigación:

## Secuencia 1: La cardioide

En la educación media superior, uno de los temas centrales es la circunferencia. Para ello nos valemos de una práctica tipo laboratorio, donde los instrumentos son las apps digitales y las guías de la práctica son retos escritos en documentos impresos que denominamos *geo-práctica*. En esta actividad, el estudiante se enfrenta a una construcción geométrica que requiere rigurosidad típica de un curso de geometría analítica, pero enriquecida con las posibilidades que otorga el ambiente dinámico de la aplicación GeoGebra Geometría.

La geo-práctica, en este ejemplo, representa una colección de pequeños problemas matemáticos que involucran conceptos típicos como circunferencia, punto medio, segmento y diámetro, entre otros. Geométricamente, el dibujo digital se espera de la siguiente manera (Figura 4):

**Figura 4**

Cardioide



La construcción geométrica se evalúa en términos de la rigurosidad matemática necesaria para que el objeto resista la prueba del arrastre, cuya valoración permite identificar aspectos epistémicos, epistemológicos y filosóficos del objeto geométrico involucrado (Rubio-Pizzorno y Montiel, 2017, p. 147). Aquí es una oportunidad de modificar, si fuera necesario, la estrategia de resolución del estudiante y, posiblemente, la estrategia empleada para la enseñanza de estos conceptos geométricos. Ahora bien, es necesario hacer énfasis en que la tecnología digital enriquece la actividad al agregar dos componentes interdisciplinarios: nociones de informática y la teoría del color en diseño gráfico. Al dotar de movimiento a un extremo del diámetro (el punto C), que genera la circunferencia dinámica, se emplea la siguiente nomenclatura:

*IniciaAnimación (C)*

Para dejar el rastro de dicha circunferencia (sea la circunferencia  $d$ ), la indicación es:

*Rastro ( $d$ , true)*

En las construcciones dinámicas coexisten dos lógicas: la matemática y la informática. La conjugación de ambas implica el desarrollo paralelo de dos formas de pensamiento. Una tiene efectos sobre la otra y viceversa.

El otro componente interdisciplinario es el arte, agregando un componente estético a la construcción. Resulta interesante solicitar a los estudiantes que su diseño busque una armonía de acuerdo con la organización natural del espectro de luz. Se considerará ordenado en la medida que emule este orden y, en caso contrario, se considerará como un *diseño disonante* (Lossada, 2012).

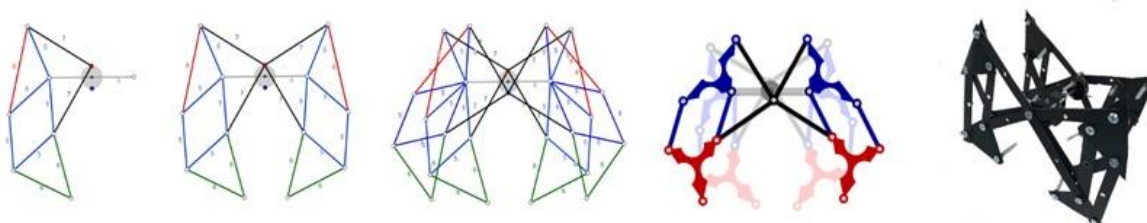
Evaluar el grado de aprendizaje logrado requiere la elección de un instrumento adecuado. En este caso se elige la prueba de ejecución (Díaz y Hernández, 2002). En el caso del diseño de este cardioide, implica valorar si el alumno comprende la representación ejecutable al llevar el concepto de circunferencia del papel y lápiz a su versión dinámica; esta nueva condición del objeto matemático se denomina objeto borde (Moreno-Armella, 2013). En este ejemplo, el tratamiento didáctico se enmarca en una técnica denominada aprendizaje basado en problemas (Tecnológico de Monterrey, 2016).

## **Secuencia 2: Arácnida**

Es posible relacionar las propiedades de las figuras básicas (triángulos y cuadriláteros), con elementos de movimiento mecánico. A través de otra geo-práctica llevamos estas propiedades a su representación ejecutable. Inicialmente la construcción geométrica recibe el nombre de animaris (Figura 5).

## Figura 5

*Animaris. Secuencia de construcción dinámica y modelo robotizado*



Ya con el modelo dinámico, creado en la calculadora gráfica de GeoGebra, se plantea a los estudiantes el reto de desarrollar un sistema robótico enmarcado en estos principios mecánicos de movimiento. El resultado esperado es un robot denominado Arácnida y la mejor estrategia didáctica para trabajarlo en clase es el aprendizaje basado en proyectos (Universidad Politécnica de Madrid, 2008).

Este caso involucra nociones y conceptos matemáticos de manera interdisciplinaria con la robótica, y para automatizar el sistema es recomendable dejar que los estudiantes pongan en juego su creatividad. Por otra parte, la evaluación en esta secuencia requiere de valorar dos aspectos: el proceso y el producto (Universidad Politécnica de Madrid, 2008). Para el primero, se propone como instrumento la producción escrita (informe de proceso) y para el segundo, una rúbrica analítica que dé cuenta de la calidad de autonomía del robot.

### Secuencia 3: Preludio matemático

El Instituto Tecnológico de Massachusetts, MIT, ha diseñado un sistema para convertir las estructuras moleculares de las proteínas en sonidos (audibles para los humanos) que se asemejan a pasajes musicales mediante inteligencia artificial. Al invertir el proceso, efectuando algunas variaciones a la música, se han obtenido proteínas nunca vistas en la naturaleza (Hua, Qin, Martín-Martínez y Buehler, 2019).

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.



Para introducir a los estudiantes en estas cada vez inminentes posibilidades científicas, es necesario hacerlo tangible a conceptos en su contexto con ejemplos de la matemática escolar como sucesiones, aritmética modular y su asociación a campos como la teoría musical. Por ejemplo, cada término de la sucesión de Fibonacci: 1,1,2,3,5,8,13, ... puede ser asociada a una posición en una matriz de 3 columnas y  $n$  filas, usando como selector la aritmética modular:

Sea  $m > 1$ , se dice que dos enteros  $a$  y  $b$  son congruentes, módulo  $m$ , si  $m$  divide a la diferencia  $a - b$  (Cárdenas, Lluís, Raggi y Tomás, 1995, p. 202); es decir:

$$a \equiv b \pmod{m} \text{ si y solo si } |m| \text{ es divisor de } (a - b)$$

En *módulo 3*, podemos asociar cualquier término de Fibonacci en la columna que indique su residuo (el acomodo de las columnas puede ser, incluso, aleatorio). Si un término de la sucesión es divisible por 3, se le asigna la posición "0". Análogamente para los residuos 1 y 2, como indica la Figura 6. Con el acomodo de los términos en la matriz, se asocia a la estructura rectangular que proporciona la app Piano 3D; usando como columnas las respectivas secciones asignadas a 3 teclas que conforman el acorde de piano para una nota en particular. Suponiendo la elección del acorde re, las teclas asociadas a cada columna serán D, F y A (letras asignadas a los tonos re, fa y la) como se muestra en la misma Figura 6.

Al activar la aplicación, el acomodo de notas a partir de Fibonacci en módulo 3, se crea una breve pieza musical que resulta armoniosa. De ahí el nombre de prelude. Ya con la estructura establecida es posible exportarlo hacia otra aplicación: *Notion*. Es interesante observar que la secuencia de Fibonacci, en esta estructura basada en Mod 3, repite un patrón definido a partir de los primeros ocho términos. Esta app permite representar una secuencia de notas musicales (el prelude, en este caso) en una partitura formal.

Esta secuencia relaciona los conceptos de sucesión y congruencia, y favorece el significado matemático que hay detrás de una composición musical. Se recurre a dos aplicaciones y, aún más, es posible incorporar la realidad aumentada (Tecnológico de Monterrey, 2017) a través de una versión 3D de un piano que puede visualizarse (y tocarse) en cualquier lugar del salón de clases.



centra en la rigurosidad de la representación geométrica, se debe optar por una prueba de ejecución (Díaz y Hernández, 2002, p. 387).

Por su parte la arácnida, por la metodología de proyectos, requiere un seguimiento más cuidadoso y distintos instrumentos de evaluación; principalmente, una lista de cotejo que dé cuenta del proceso de involucramiento en las fases del proyecto y una rúbrica para la evaluación del prototipo robótico. Para el preludio matemático, dada la complejidad del producto final, se recurre a tres instrumentos: los ejercicios y problemas realizados en clase, la prueba de ejecución y el portafolio de evidencias, valorando la calidad de los productos parciales.

Cada una de las tres secuencias descritas a modo de ejemplo, se compone de actividades concretas cuya evaluación permite obtener información del desempeño del estudiante. En cada sesión es posible obtener información que, como se explicó anteriormente, puede asociarse a una calificación numérica. Entre más rasgos se evalúan, la calificación final tiende a ser más justa.

## 5) ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Esta es una parte importante de la propuesta y su propósito es fundamentar una estrategia para recolectar la mayor cantidad posible de información con respecto al desempeño logrado por cada estudiante en cada actividad planteada, dentro y fuera del aula. El estudiante genera, desde un sitio web, un gafete de identificación que contiene un código QR. Este gafete, impreso en hojas blancas, permite identificar al estudiante; a este aditamento le llamamos credencial QR (Figura 7).

## 6) RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Bajo la taxonomía de Stein, se proponen distintos problemas que involucran un mismo concepto matemático y que requieren distintos niveles de demanda cognitiva en su resolución (Smith y Stein, 1998). Para ello, los estudiantes utilizan tarjetas similares a las credenciales QR, pero con la variante que pueden seleccionar el puntaje elegido.

Los puntajes 1 y 2 corresponden a una demanda cognitiva baja: memorización y procedimiento sin conexiones, respectivamente. Los puntajes 3, 4 y 5 corresponden a problemas que requieren una demanda cognitiva alta. El puntaje 3 requiere procedimientos con conexiones. Los puntajes 4 y 5 al nivel “hacer matemáticas”, pero el 5 es exclusivo al trabajo en equipo.

En el reverso de la tarjeta QR de resolución de problemas, el alumno resuelve un problema y plasma su argumento matemático. Los problemas planteados suelen ser de distinta índole (Borasi, 1986, p. 126), buscando desarrollar distintas habilidades matemáticas en los estudiantes (Figura 7).

## Figura 7

*Credencial QR y Tarjeta de resolución de problemas*



La solución y la estrategia de solución elegida por el estudiante se valoran y se asigna un puntaje. Esta información se recopila a través de la app QR Counter, simplemente escaneando el código QR del alumno en cuestión. Cualquier actividad realizada en una situación de aprendizaje puede ser medible a través de instrumentos de evaluación, y la recolección de estos datos puede realizarse de manera instantánea a través de QR Counter. Los trabajos, tareas y ejercicios, por ejemplo, también pueden valorarse y almacenarse en la misma app.

Cuando el instrumento de evaluación es más complejo (examen o rúbrica, por mencionar los más usuales), la recolección de datos puede correr a cargo de ZipGrade. En el caso del examen, se proporciona a los estudiantes una hoja de respuestas en la que tiene que seleccionar una opción de respuesta. Al escanear las hojas de respuesta se almacena toda la información referente al

estudiante en particular y, además, el desempeño del grupo expresado en rasgos estadísticos como media y desviación estándar.

## 7) DIAGNÓSTICO RECURSIVO Y RETROALIMENTACIÓN

Cada rasgo observado es una oportunidad para obtener información valiosa del proceso de desarrollo de las competencias matemáticas. Cada dato puede ser un referente para argumentar un cambio de estrategia (tanto de resolución como de enseñanza). Por ejemplo, en un reactivo en el que 40 % de los estudiantes identificó el error en la fórmula que se solicitó analizar, implica que el 60% no lo hizo. Si en este mismo ítem, además seleccionó mayoritariamente una opción de respuesta determinada, se hace evidente cierta dificultad en el reconocimiento de dicha representación algebraica. Este tipo de información es un ejemplo claro y de suma importancia para reflexionar en torno a la pertinencia de la estrategia didáctica empleada en el desarrollo conceptual de un tema. Situaciones de esta índole deben fundamentar un fortalecimiento de la estrategia de enseñanza, o bien, un ajuste instantáneo que permita centrar la atención en el aprendizaje de los estudiantes. No es necesario esperar a los momentos administrativos que solicitan una representación numérica del desempeño.

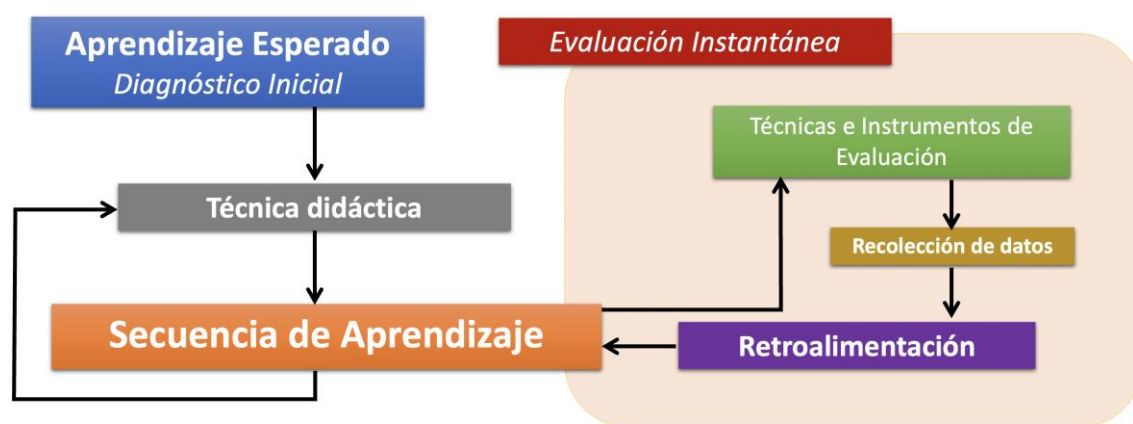
## 8) CORTE E INDICADORES DE DESEMPEÑO: LA EVALUACIÓN INSTANTÁNEA

La evaluación es un proceso continuo y es posible traducirlo en una valoración numérica o cualitativa en cualquier instante del proceso educativo. Entre más rasgos se consideren en la evaluación, la calificación tenderá a normalizarse. La evaluación instantánea permite compartir con los padres de familia y la comunidad escolar, una especie de radiografía del estado de incorporación de un aprendizaje esperado. El componente digital automatiza esta tarea de manera que cualquier integrante de la comunidad escolar puede conocer, en tiempo real, el desempeño alcanzado por cada estudiante y del logro por grupo de alumnos (Figura 8).

La idea es que la evaluación instantánea se convierta en un instrumento para el docente (ajuste en la estrategia), para los estudiantes (visualización permanente del desempeño en un contexto grupal) y para los padres de familia (revalorización de la escuela como instancia formativa).

**Figura 8**

*Evaluación instantánea*



## RESULTADOS

Se han analizado los productos, evidencias de aprendizaje y las actitudes adoptadas en la clase de matemáticas por estudiantes del Centro de Estudios de Bachillerato 4/1, durante los semestres 2018-2019 A, 2018-2019 B y 2019-2020 A. Los resultados obtenidos, en aspectos centrales, se describen a continuación.

### ACTITUD HACIA EL ESTUDIO

En el AeTD no hay pase de lista convencional. Los alumnos reconocen la importancia de asistir a clases y además de ser puntuales en esa responsabilidad. Cada asistencia y la puntualidad, inicialmente, se asumen como acciones que permiten obtener puntos, pero que a mediano plazo se

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

convierten en conductas sistemáticas a través del tiempo. Es decir, un hábito que favorece la disciplina en el estudio.

Los jóvenes estudiantes que han trabajado bajo el modelo AeTD han mostrado un incremento notable en la asistencia y puntualidad, ostentando porcentajes que superan el 95% en estos ramos. Superada esta dificultad, es decir, que el alumno ahora está convencido de la importancia de ser regular en esta conducta, ahora la atención se centra en las actividades que se realizan al interior del salón de clases. Este estudio muestra avances con respecto a las líneas de investigación que relacionan tecnologías de la información y la comunicación con el desarrollo de competencias y hábitos de estudio (Barroso, 2007).

## EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

El SIDEPP, dada su capacidad de automatización, permite reducir el trabajo administrativo, de manera que se maximiza el tiempo para uso potencial en actividades de aprendizaje. Este hecho se refleja en la entrega puntual al departamento de control escolar, de la información de los reportes de evaluación obtenidas por 8 grupos de 50 estudiantes cada uno.

Las puntuaciones obtenidas por los alumnos del tercer y cuarto semestre en el ciclo escolar 2018-2019 A y 2018-2019 B, presentan un aumento significativo con respecto a lo alcanzado por estudiantes del mismo grado, pero de distinto turno. La diferencia también es significativa cuando se compara con los obtenidos por alumnos los mismos semestres, pero de generaciones anteriores.

Por su parte, el puntaje z es usado por los estudiantes para interpretar su propio desempeño con respecto al desempeño grupal en las tareas de aprendizaje. Dan significado al signo “+” o “-”, no en un sentido de aprobado/reprobado, sino de la ubicación de su propio desempeño con respecto a la media grupal. Esta resignificación del concepto de desempeño académico favorece la propia valoración que hace de sí cada estudiante.

## ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS

Un fenómeno que se ha hecho presente en el AeTD sugiere que el estudiante muestra disposición a ir más allá de la resolución de ejercicios a lápiz y papel desde un pupitre individual. El hecho de levantarse del asiento para experimentar en carne propia un concepto matemático (a través de realidad aumentada, en un modo áulico AeTD/AR+) expresa lo que Vittorio Gallese y George Lakoff llaman conocimiento encarnado (2005). Ejemplo de ello es la explicación, con sus propias palabras (y movimientos corporales) de una alumna ante su grupo de trabajo, después de una sesión de exploración conceptual de sumas de Riemann en un AeTD/SupInt. Con mediación del software GeoGebra (Figura 9).

### Figura 9

*Embodied. El saber de una estudiante unido al funcionamiento de su sistema sensoriomotor*



## INTERDISCIPLINARIEDAD

Hacer matemáticas es una actividad que se expresa en habilidades que requieren de baja y alta carga cognitiva (Smith y Stein, 1998) y en ello no solo son necesarios el lenguaje y los símbolos. El

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.



desarrollo de las habilidades del pensamiento abstracto también requiere la mediación de los sentidos (Radford, 2009).

En un AeTD ha sido factible explorar esta posibilidad a través de las tres secuencias didácticas descritas. La naturaleza digital de dichas secuencias hace necesario reconocer la dificultad a la que se enfrentaría un docente que quiera reproducir dichas actividades sin uso de tecnología digital. En este contexto, se hace necesario redefinirlas como *i-Secuencias*, para hacer énfasis en el carácter digital de las actividades involucradas.

La primera de las tres *i-Secuencias* tiene que ver con el diseño digital de una cardioide. El poder expresivo de la app GeoGebra permitió a los estudiantes la percepción, entendimiento y manipulación de los colores desde un enfoque equilibrado y lúdico. El AeTD/SupInt, favoreció la exploración de situaciones de creación artística innovadoras (Figura 10).

**Figura 10**

*AeTD/SpInt. Arte y matemáticas.*

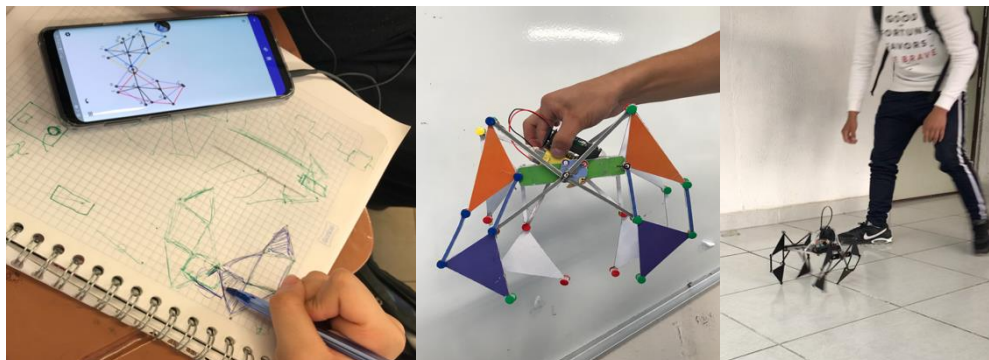


La segunda i-Secuencia, llevó a los estudiantes a la manipulación de materiales concretos basados en propiedades de figuras geométricas básicas, a partir de un modelo interactivo diseñado en GeoGebra.

Esta secuencia basada en la técnica de aprendizaje basado en proyectos llevó a los estudiantes a involucrarse en el ámbito de la robótica. Algunos de los prototipos funcionales logrados pueden mostrarse en la Figura 11. Es necesario reconocer el proceso de consolidación del producto pues se experimentó con distintos materiales, desde cartón hasta acrílico.

**Figura 11**

*AeTD/AR+. Robótica y geometría*



La tercera i-Secuencia estableció una relación entre distintas secuencias numéricas (Fibonacci, desarrollo decimal de  $\pi$  y el desarrollo decimal de  $e$ ), y representaciones gráficas en celdas rectangulares. La idea central residió en el desarrollo del concepto de función. Al establecer una relación funcional entre elementos de distintos conjuntos, bajo un modo de aula AeTD/AR+, los estudiantes vivenciaron las distintas representaciones de un objeto matemático a través de sus conversiones a sistemas de representación equivalentes en otros sistemas semióticos, pero con significaciones diferentes (Duval, 1999) y, aún más, se enfrentaron a una representación inusual en el aula: la representación sonora (y, por ende, su representación en partitura) de una secuencia numérica.

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

Sorprendentemente esta representación sonora expresa una armonía equiparable a composiciones formales realizadas por personas con educación musical formal. A esta breve composición le denominamos preludio matemático, y su ejecución (en el caso de un estudiante sin educación musical) puede llevarse a cabo en un ambiente de realidad aumentada como la que se muestra en la Figura 12.

**Figura 12**

*Preludio matemático: Fibonacci con AR*



## CONCLUSIONES

Cuando en 1609 Galileo Galilei pulió su propia lente para ver más lejos, fue el primer ser humano en observar algunos fenómenos astronómicos que cambiarían la visión del universo. Las imágenes derivaron en conceptos inéditos en la especie humana y desde ese momento se han mantenido en constante evolución a partir de las mejoras instrumentales desarrolladas hasta nuestros días.

Así como el telescopio de Galileo, los instrumentos en general han permitido al hombre ir más allá de sus limitaciones biológicas: lo ha dejado ver más lejos y mirar lo más pequeño, le han

Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

permitido escuchar mejor para entender, le han dejado sentir con más detalle aquellos fenómenos que no se pueden tocar. Y esa mediación tiene efectos sobre la manera en que interpreta la vida misma.

En términos educativos, el AeTD –como muchos más instrumentos– pretende ser una herramienta mediadora que integre elementos analógicos y digitales bajo la dirección de un docente consciente de que su labor se define en múltiples dimensiones. Bajo este esquema es más probable que las condiciones que el alumno encuentre en el salón de clases le permitan encontrar patrones, conjeturar, e ir más allá de planteamientos convencionales y rutinarios.

El AeTD-0 es un punto imprescindible para el inicio de un proceso de aprendizaje que poco a poco va enriqueciéndose con metodologías y nuevos instrumentos analógicos que, a su vez, son un revulsivo para la comprensión de un objeto matemático. Como en una espiral ascendente, las tecnologías en sus distintos formatos vuelven a enriquecer la experiencia como en una relación simbiótica. Atreverse a involucrar tecnologías emergentes como las apps y su inaudita posibilidad de *aumentar la realidad*, abre nuevas posibilidades que valen la pena echar a andar.

Transitar del AeTD-0 hacia el AeTD/SupInt o hasta el AeTD/AR+, no es solo el cambio o enriquecimiento a través de nuevos dispositivos electrónicos; más bien debe entenderse como el proceso que nos lleva a amplificar nuestra capacidad de percepción para reorganizar las estrategias cognitivas a través de los instrumentos, como sucedió con nuestra primera herramientas de sílex y sus modificaciones deliberadas, hasta llegar a los procesadores digitales actuales: el uso de las herramientas como revulsivo para reinterpretar y replantear constantemente nuestra visión del mundo.

En el contexto actual este reto representa una premisa fundamental: la democratización de posibles escenarios digitales de la escuela del futuro.

## REFERENCIAS

- Ausbel, D. J., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Barroso, C. (2007). La incidencia de las TICs en el fortalecimiento de hábitos y competencias para el estudio. *Edutec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa* (23). doi:10.21556/edutec.2007.23.497
- Borasi, R. (1986). On the nature of problems. *Educational Studies in Mathematics* (17), 125-141.
- Brousseau, G. y D'Amore, B. (diciembre de 2018). Los intentos de transformar análisis de carácter metacognitivo en actividad didáctica. De lo empírico a lo didáctico. *Educación Matemática*, 30(3), 41-54.
- Cárdenas, H., Lluís, E., Raggi, F. y Tomás, F. (1995). *Álgebra Superior*. Trillas.
- Detering, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining “gamification”. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, (pp. 9-15). ACM. doi:10.1145/2181037.2181040
- Díaz, F. y Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. Mc Graw-Hill.
- Duval, R. (1999). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Universidad del Valle.
- Gallese, V. y Lakof, G. (2005). The brain's concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3) 455-479.
- Godino, J., Batanero, C., Font, V. y Giacomone, B. (2016). Articulando conocimientos y competencias del profesor de matemáticas: El modelo CCDM. En C. Fernández, J. L. González, F. J. Ruiz, T. Fernández y A. Berciano (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XX* (pp. 288-297). SEIEM.
- Gorostiza, L. (2001). La probabilidad en el siglo XX. *Miscelánea matemática* (33), 69-92.
- Hernández, G. (2014). *Paradigmas en psicología de la educación*. Paidós.
- Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

- Hertz, M. (14 de agosto de 2013). Games can make "real life" more rewarding. *Edutopia*.  
<https://www.edutopia.org/blog/games-make-real-life-rewarding-mary-beth-hertz>
- INEE. (2009). *El aprendizaje en Tercero de Secundaria*. Autor.
- INEE. (2019). Informe de resultados PLANEA 2017. El aprendizaje de los alumnos de tercero de secundaria. Autor.
- Jorba, J. y Casellas, E. (1997). *La regulación y la autorregulación de los aprendizajes*. (Vol. 1). Síntesis.
- Kapp, K. (2012). *The gamification of learning and instruction. Game-based methods and strategies for training and education*. Pfeiffer.
- Kiang, D. (14 de octubre de 2014). Sing gaming principles to engage students. *Edutopia*.  
<https://www.edutopia.org/blog/using-gaming-principles-engage-students-douglas-kiang>
- Lee, J. y Hammer, J. (2011). Gamification in education: What, how, why bother? *Academic Exchange Quarterly*, 15(2), 1-15.
- Lossada, F. (2012). *El color y sus armonías*. Publicaciones Vicerrectorado Académico CODEPRE.
- Moreno, L. y Hegedus, S. (2009). Co-action with digital technologies. *Mathematics Education*, 41(4) 505-519.
- Moreno-Armella, L. (2013). La semiótica y lo digital: dominios coextensivos. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, (11), 339-348.
- Moreno-Armella, L., Hegedus, S. y Kaput, J. (2008). From static to dynamic mathematics: historical and representational perspectives. *Educational Studies in Mathematics*, 68, 99-111.  
doi:10.1007/s10649-008-9116-6
- Perrenoud, P. (2007). *Diez nuevas competencias para enseñar. Invitación al viaje*. Grao, Colofón.
- Radford, L. (2009). Signs, gestures, meanings: elementary algebraic thinking from a culturalsemiotic perspective. En V. Durand Guerrier, S. Soury-Lavergne y F. Arzarello (eds.). *Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research* (pp. XXXIII-LIII). INRP.
- Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.

- Rubio-Pizzorno, S. y Montiel, G. (2017). Geometría dinámica como actualización didáctica de la evolución conceptual de la geometría. En P. Perry (ed.). *Memorias del encuentro de geometría y sus aplicaciones*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Sánchez Alavez, J. L. (2016). El dispositivo didáctico digital: convergencia analógico digital para la exploración de objetos matemáticos. *Revista A&H*, (3), 31-45.
- Sánchez-Alavez, J. L. (en prensa). *Club de robótica*. Umbral.
- Salkind, N. (1999). *Métodos de investigación*. Prentice Hall.
- Smith, M. y Stein, M. (1998). Selecting and creating mathematical task: from research to practice. *Mathematics teaching in the middle school*, 3(5), 344-350.
- Tall, D. (2008). James J. Kaput (1942–2005) imagineer and futurologist of mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 68(2), 185-193. doi:10.1007/s10649008-9121-9
- Tecnológico de Monterrey. (mayo de 2016). Evaluación del desempeño en el modelo educativo basado en competencias. *Observatorio de innovación educativa del Tecnológico de Monterrey. EduTrends*.
- Tecnológico de Monterrey. (2016). *Gamificación*. Observatorio de innovación educativa.
- Tecnológico de Monterrey. (diciembre de 2017). Realidad aumentada y virtual. Observatorio de Innovación educativa del Tecnológico de Monterrey. EduTrends.
- Universidad Politécnica de Madrid. (2008). *Aprendizaje orientado a proyectos*. Servicio de Innovación Educativa.
- Yu, C. H., Qin, Z., Martin-Martinez, F. J. y Buehler, M. J. (2019). A self-consistent sonification method to translate amino acid sequences into musical compositions and application in protein design using artificial intelligence. *ACS nano*, 13(7), 7471-7482.
- Sánchez, J. (2022). AeTD: El Aula Enriquecida con Tecnología Digital. (15). *A&H, Revista de Artes, Humanidades y Ciencias Sociales*. 69-99.