



UNIVERSIDAD A DISTANCIA DE MADRID
(UDIMA)

*Facultad de Ciencias de la Salud y de la Educación
Departamento de Educación*

*Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Bachillerato,
Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas*

***EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA Y LAS METODOLOGÍAS ACTIVAS EN
LA ENSEÑANZA DE MATEMÁTICAS EN EDUCACIÓN SECUNDARIA Y
BACHILLERATO: SITUACIÓN Y TENDENCIAS GLOBALES.***

María de la Concepción Martín Robles

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Bajo la dirección de:

Marian Simón Rodríguez

MADRID
Junio de 2020

ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	9
4. METODOLOGÍA	10
5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN	12
5.1. FUNDAMENTOS BIBLIOGRÁFICOS.....	12
5.1.1. HORIZON REPORTS.....	12
5.1.2. ORGANIZACIÓN DEL BACHILLERATO INTERNACIONAL.....	16
5.1.3. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y TECNOLOGÍA.....	18
5.2. ELEMENTOS DE ANÁLISIS.....	18
5.2.1. SITUACIÓN EN EL SISTEMA EDUCATIVO ESPAÑOL.....	19
5.2.1.1. CONTENIDO CURRICULAR DE MATEMÁTICAS.....	19
5.2.1.2. INICIATIVAS RECIENTES.....	21
5.2.1.3. USO DE TECNOLOGÍA (CALCULADORAS) EN EXÁMENES.....	23
5.2.2. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y TIC/TAC.....	24
5.2.3. TPACK, MTSK Y LAS MATEMÁTICAS.....	33
5.2.4. ALFABETISMO DIGITAL: FITNESS.....	40
5.2.5. TECNOLOGÍA EN MATEMÁTICAS: PRESENTE Y FUTURO.....	42
6. CONCLUSIONES	48
6.1. TECNOLOGÍAS PARA LA EDUCACIÓN: OPORTUNIDADES Y RETOS.....	48
6.2. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y MARCOS DE CONOCIMIENTO.....	49
6.3. FUTURO Y LÍNEAS DE ACCIÓN.....	52
7. REFERENCIAS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Competencia Matemática y Competencias en Ciencia y Tecnología.....	20
Figura 2. Modelo de aula del futuro.....	22
Figura 3. Ejemplo real de aula del futuro en Extremadura.....	23
Figura 4. Distribución de los estilos de aprendizaje según Kolb	25
Figura 5. Modelo de metodologías activas (apoyadas por TIC) centradas en el estudiante.....	31
Figura 6. TPACK – Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido	36
Figura 7. Componentes centrales del TPACK aplicado a las matemáticas	37
Figura 8. Dominios del conocimiento matemático para la enseñanza MKT.....	38
Figura 9. Subdominios del MTSK.....	39
Figura 10. Subdominios de las cinco áreas de competencia digital de los docentes.....	42
Figura 11. Ejemplos de impresiones de 3D de fórmulas y ecuaciones matemáticas.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre aprendizaje centrado en contenidos y en actividades.....	30
Tabla 2. Cambio en roles de profesores y alumnos	31

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

RESUMEN

Las tecnologías han irrumpido en la sociedad a una velocidad vertiginosa penetrando hasta ocupar una posición de protagonismo en las capas de relaciones sociales, entretenimiento, comunicaciones, trabajo y aprendizaje. Las posibilidades que proporcionan han superado cualquier expectativa y siguen creciendo a un ritmo exponencial. La cuarta revolución industrial en que se integran acarrea unos profundos cambios en el paradigma de elementos esenciales como son las instituciones educativas, tanto desde el punto de vista de los estudiantes, como de los docentes, como del currículo oficial. De forma paralela, desde hace treinta años las metodologías activas han ido adquiriendo progresivamente un protagonismo mayor hasta estar presentes en la actualidad en un gran número de instituciones educativas de todo el mundo. Este movimiento de renovación de las metodologías docentes se ha visto acompañado por el desarrollo de marcos de conocimientos para los profesores, que redefinen el papel del profesor y establecen la necesidad de entender profundamente la materia, la pedagogía y la intersección entre ambos elementos. PCK, TPACK, MKT y MTSK son modelos desarrollados sobre este concepto particularizados para determinadas asignaturas y para incluir elementos como las tecnologías. Los docentes de matemáticas tienen a su disposición un abanico casi interminable de distintas tecnologías así como un amplio repertorio de metodologías activas y de marcos de conocimiento desarrollados para ellos, pero la elección de uno u otros no es sencilla y, en la actualidad, las decisiones se están tomando con muy poca información sustentada en investigaciones académicas que recojan las barreras de entrada de cada una de ellas, las interacciones existentes y el conocimiento de cuándo estas interacciones refuerzan o dificultan el aprendizaje. El presente trabajo ahonda en esta circunstancia, detectando cuál es la realidad subyacente a esta circunstancia y cuáles son las tendencias en la actualidad a nivel global.

PALABRAS CLAVE

Metodologías activas, marcos de conocimiento del docente, tecnologías para la enseñanza, innovación en matemáticas.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos veinte años los avances tecnológicos han sido formidables, introduciendo nuevas herramientas y nuevos métodos para afrontar retos y resolver problemas en todos los ámbitos de la vida, ya sean académicos, profesionales o personales.

Los niños pequeños utilizan con facilidad tabletas, *smartphones* y juegan a videojuegos complejos, los estudiantes hacen cursos *online* a demanda sobre infinidad de temáticas y los investigadores tienen acceso a cantidades ingentes de información, impensables hace veinte años. Las nuevas tecnologías han introducido nuevas oportunidades para aprender que permiten a las personas acceder a los contenidos que elijan, en el lugar y en el momento de su preferencia. Los profesores tienen acceso a una enorme cantidad de información de respaldo y a una comunidad docente global, donde se pueden intercambiar experiencias y herramientas.

Sin embargo, la revolución digital ha introducido algunos importantes retos en las instituciones educativas: los profesores deben asumir una transición desde una figura de experto a una figura de gestor de conocimientos procedentes de diversas fuentes; los currículos deben adaptarse a las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías, como es la posibilidad de particularizar la enseñanza a cada alumno, en función de sus necesidades o intereses, en lugar de tratar de mantener una enseñanza uniforme e igual para todos, herencia de la revolución industrial; los exámenes deben adaptarse a esta nueva situación; es necesario pasar de un sistema de “conocimientos dentro de la cabeza” a otro de “fiabilidad de recursos procedentes de múltiples fuentes”; y, quizás el más importante, es el paso desde un aprendizaje por adquisición de conocimientos a un aprendizaje por acción (Collins y Halverson, 2009).

De igual manera, durante los últimos veinte años se han producido avances importantes en el marco teórico de la pedagogía, como es el caso de las metodologías activas. A finales de los años 1970 se sentaron las bases para su desarrollo teórico y, a mediados de los años 1980, David Kolb como se cita en Canos y Mauri (2005) ya definía el aprendizaje como “el proceso por el que se crea el conocimiento a través de la transformación de una experiencia”, defendiendo el aprendizaje activo y cooperativo frente a los métodos tradicionales por ser una forma más humana y natural para las personas.

Pero no fue hasta principios de los años 1990 cuando Bonwell y Eison (1991) desarrollaron y detallaron un completo marco de implantación de estas metodologías para las aulas. Los autores concluyeron que era improductivo para el aprendizaje que los alumnos simplemente escucharan, sino que debían leer, escribir, discutir e involucrarse en la resolución cooperativa

de problemas, realizando tareas que requiriesen ejercicios mentales de análisis, síntesis y evaluación, centrándose por tanto las metodologías activas en los estudiantes haciendo cosas y pensando en lo que estaban haciendo, en lugar de centrarse en las materias que debían ser transmitidas. Esto, además, permitía cubrir las necesidades de aprendizaje de cada alumno, en función de su estilo de aprendizaje.

Estos cambios en las metodologías de enseñanza en las aulas requerían de una evolución (o revolución, si se quiere) del papel de los docentes. Shulman (1986) propuso unos nuevos requerimientos para estos, que denominó *conocimiento didáctico del contenido* (PCK). Este marco, que ya tiene un extenso nivel de aceptación e implementación global, dejaba patente que los docentes debían poseer un conjunto integrado de conocimientos de pedagogía, de los alumnos, de los contextos educativos, de las finalidades y valores de la educación, de la materia, del currículo y, finalmente, el denominado conocimiento didáctico del contenido, para alcanzar de esa manera una comprensión suficiente de cómo se adaptan, organizan y representan las materias a los distintos intereses y capacidades de los alumnos (Arce, Conejo y Muñoz, 2019).

El sistema PCK ha evolucionado para adaptarse a distintas situaciones y materias de enseñanza. En lo referente a las matemáticas, Ball, Thames y Phelps (2008) construyeron sobre el marco de Shulman (y sobre los 20 años que habían transcurrido desde su planteamiento inicial) y lo particularizaron para la enseñanza de matemáticas, generando así el marco denominado *conocimiento matemático para la enseñanza* (MKT).

Más recientemente Carrillo, Climent, Contreras y Muñoz-Catalán, (2013) tomaron los conceptos de Shulman y de Balls y, tras ponerlos a prueba, propusieron el *conocimiento especializado del profesor de matemáticas* (MTSK), como una evolución de los anteriores modelos destinada a cubrir las lagunas que los autores habían identificado.

Por otra parte, en lo referente a las tecnologías, conscientes de su marcado carácter complejo y de alta variabilidad en el tiempo, Mishra y Koehler (2006) elaboraron a partir del modelo de Shulman el *conocimiento tecnológico pedagógico del contenido* (TPACK), para ayudar a los docentes a diseñar estrategias pedagógicas que facilitaran la enseñanza con estas tecnologías, estableciendo el marco como un objetivo crítico del aprendizaje de cualquier profesor.

A continuación, se procederá a profundizar más en la circunstancia de por qué en la actualidad, habiendo infinidad de recursos tecnológicos a disposición de los profesores y habiendo múltiples marcos teóricos de conocimientos para estos, la implementación de innovaciones tecnológicas sustanciales dentro de las metodologías de enseñanza para las matemáticas

(incluyendo las activas), materia que está intrínsecamente unida a las tecnologías de cálculo, procesamiento y representación, ha sido mucho más lenta y, hasta cierto punto, ha estado descolgada del desarrollo tecnológico global (Zbiek y Hollebrands, 2008, como se cita en Drijvers, Monaghan, Thomas y Trouche, 2015, p.10). Se documentarán los factores más indicativos para analizar esta situación abordando distintas experiencias y el estado del conocimiento en varios países.

Para ello, en primer lugar, y tras exponer las razones que me han llevado a realizar este trabajo, se definirán los objetivos a alcanzar con el mismo.

A continuación, se procederá a describir la metodología seguida para identificar, seleccionar, validar, interrelacionar y analizar los textos que se toman para el presente trabajo de revisión teórica.

Posteriormente, se expondrán los fundamentos bibliográficos seleccionados como base y punto de partida para el análisis de la problemática en cuestión.

Después de eso, se entrará en el análisis propiamente dicho, evaluando temas como la situación en el sistema educativos español, la intersección de metodologías activas y TIC, los marcos teóricos de conocimiento del profesor, el alfabetismo digital y el papel de la tecnología en la enseñanza de las matemáticas.

Para finalizar, se expondrán las conclusiones, las limitaciones identificadas y la perspectiva que puede tener el presente trabajo de fin de máster.

2. JUSTIFICACIÓN

Es un hecho que la tecnología digital progresa sin cesar y presenta un número cada vez mayor de herramientas y oportunidades, al igual que también lo es que el nivel de omnipresencia y de penetración de estas tecnologías en la vida de las personas desde su nacimiento nos permite hablar de “nativos digitales”. Sin embargo, estas realidades, a pesar de ser condiciones necesarias, no son suficientes para garantizar un impacto significativo en el avance de los procesos de enseñanza y aprendizaje (Passanisi y Peters, 2012).

Se ha podido comprobar cómo el hecho de que los estudiantes se muestren cómodos con la utilización casi constante de redes sociales, internet y teléfonos inteligentes, no implica que sepan utilizar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) de forma productiva dentro de un marco académico o profesional (Vlachopoulos, 2016).

Por ello, progresivamente, se ha pasado desde un objetivo ideal de *habilidad en la utilización* de ciertas tecnologías, hacia otro más amplio de *fluidez digital*, que puede definirse como “el alcance que tiene en las personas el buen uso y aprovechamiento de las tecnologías para adquirir más conocimientos, ser más efectivos y estar mejor conectados en sus tareas del día a día” (Accenture, 2017, p. 10).

Esta idea es compatible con el hecho de que, en los ámbitos académicos, al utilizar el concepto de tecnología en general, cada vez se hace menos referencia a las *tecnologías de la información y la comunicación* (TIC) y más al concepto de *tecnologías del aprendizaje y el conocimiento* (TAC), que se centra más en los métodos y en los usos de la tecnología que en el mero conocimiento de las herramientas informáticas (Lozano, 2011).

Los novedosos sistemas de datos y comunicaciones han modificado sustancialmente la manera en que jugamos, trabajamos, nos comunicamos y aprendemos, introduciendo profundas modificaciones en las escuelas y en las clases. Esta nueva realidad ha requerido adaptar la docencia y los contenidos a las tecnologías existentes y futuras y también a las nuevas necesidades de los estudiantes de cara al desarrollo de su carrera profesional (Leneway, 2014). De acuerdo con el autor, uno de los principales retos a superar en este ámbito es que la investigación académica no ha podido mantener el ritmo de avance en los desarrollos tecnológicos, especialmente los digitales, para apoyar debidamente a los docentes en la elección de tecnologías o de procedimientos de enseñanza.

El análisis de esta aparente paradoja en que, por un lado, tanto los docentes como los estudiantes de matemáticas de secundaria disponen de la mayor variedad en la historia de la humanidad de

tecnologías en apoyo de la enseñanza y del aprendizaje (internet, computadoras, tabletas, pizarras digitales interactivas, calculadoras científicas que permiten realizar cálculos algebraicos con capacidades de cálculo muy superiores a los requerimientos curriculares, comunidades digitales, infinidad de programas informáticos, etc.), mientras que por el otro lado no se sabe a ciencia cierta qué tecnologías deben usarse en cada tema, o cómo deben usarse, para lograr un proceso de enseñanza y aprendizaje óptimo, es el primer pilar donde se fundamenta el presente estudio.

El segundo objetivo de estudio está relacionado con el impresionante desarrollo que han visto las metodologías activas en el aprendizaje a lo largo de los últimos veinte años.

En 2001, dos años después de la aprobación de la Declaración de Bolonia, los Ministros Europeos en funciones de la Educación Superior se reunieron en Praga para discutir el futuro de Europa desde el punto de vista de la educación y una de las conclusiones que alcanzaron fue que “en la Europa futura, (...), las estrategias del aprendizaje para toda la vida son necesarias para encarar los desafíos de la competitividad y el uso de nuevas tecnologías y para mejorar la cohesión social, la igualdad de oportunidades y la calidad de vida” (EEES, 2001).

Es decir, ya consideraban estratégico el *lifelong learning* (LLL), que es un concepto que requiere de unas metodologías de enseñanza que garanticen resultados duraderos y aplicables a distintos ámbitos o a experiencias novedosas de la vida. Este es el caso de las metodologías activas, construidas sobre la base del modelo de aprendizaje a través de la experiencia de Kolb, que sostiene que es más importante centrarse en el proceso de aprendizaje que en la materia a transmitir en sí misma. De este modo, se activan de forma natural en las personas los procesos de recopilación, tratamiento y análisis de la información, su posterior procesamiento y maduración, para finalmente llegar a la interiorización que permite experimentar usando los nuevos conocimientos (Canos y Mauri, 2005).

La apuesta del Espacio Europeo para la Educación Superior (EEES) por las metodologías activas supone el fin del modelo de enseñanza enraizado en la Revolución Industrial y representado fielmente por la clase magistral.

Esta modificación metodológica requiere que el alumno se involucre decididamente en su aprendizaje y pase de tener un papel pasivo a otro activo, incrementando su capacidad de trabajo autónomo en la misma medida que su capacidad de trabajo en equipo (García-Peñalvo, 2011).

De igual manera que la adopción de metodologías activas impone un cambio radical en el papel de los alumnos, ocurre lo mismo con el papel de los profesores, piedras angulares en el proceso

de aprendizaje, que deben afrontar una transición desde una figura centrada en la transmisión de contenidos a otra de facilitador que sepa negociar con los alumnos, guiarles y aconsejarles con el objetivo final de conseguir la autonomía del alumno y la creación de hábitos y técnicas de aprendizaje sólidos para el resto de sus vidas (Luelmo del Castillo, 2018).

De esta manera, los conocimientos requeridos a los profesores ya no pueden estar eminentemente centrados en la materia, sino que tienen múltiples dimensiones que deben ser atendidas debidamente para poder practicar la docencia de forma exitosa (Arce, Conejo y Muñoz, 2019).

El marco teórico más conocido que recoge estos conocimientos es el desarrollado por Shulman (1986) al definir el *conocimiento didáctico del contenido* (PCK), que defendía que los profesores debían dominar los contenidos específicos de su campo, debían dominar los conocimientos pedagógicos, pero además debían dominar la intersección de ambos campos que era un elemento diferente a los sumandos tomados por separado.

De este modo, el PCK hace referencia al conocimiento de los contenidos, pero enfocado a su enseñanza, es decir, las formas en que representan y formulan los contenidos de manera que sean comprensibles para otros, conociendo qué es lo que hace que el aprendizaje de determinados temas sea fácil o difícil y cuáles pueden ser los sesgos o concepciones erróneas en los alumnos que lo condicionen.

Tanto la investigación como la práctica han ido desarrollando y adaptando este marco a diversos campos de conocimiento, habiéndose desarrollado varios específicos para las matemáticas. En 2008 se produjo el primer avance significativo en este sentido al concebirse el *conocimiento matemático para la enseñanza* (MKT) por parte de Ball, Thames y Phelps o, más recientemente, en 2013, con la definición del *conocimiento especializado del profesor de matemáticas* (MTSK) de Carrillo, Climent, Contreras y Muñoz-Catalán.

Como se ha mencionado anteriormente, el primer pilar del presente trabajo es el de la tecnología. El segundo es de las metodologías activas y los marcos de conocimiento de los docentes, particularizados para las matemáticas. Y el tercer y último pilar es la intersección de ambos campos, el primero en cambio y evolución constante y el segundo de corto y reciente desarrollo.

Esta intersección puede evaluarse desde el punto de vista del *conocimiento tecnológico pedagógico del contenido* (TPACK) de Koehler y Mishra (2009), que es una evolución del

modelo de Shulman en que introduce la tecnología como sumando adicional, generándose así nuevas dimensiones de conocimiento.

El presente trabajo se centrará en analizar y describir con más detalle el estado actual de este concepto desde las dimensiones de aplicabilidad a las aulas, idoneidad de las tecnologías elegidas y futuro previsible.

3. OBJETIVOS

El objetivo del presente documento de revisión bibliográfica es profundizar en la intersección de las metodologías activas, los marcos de conocimientos de los docentes y las TIC/TAC, encontrando cuáles son las tendencias a nivel global, cuáles son los principales obstáculos que se están encontrando y cómo se están afrontando estos retos, mejorando la comprensión del binomio de las metodologías activas y la tecnología en sus dimensiones de aplicación y efectividad.

Se tratará de encontrar qué respuestas se están dando globalmente, y con qué grado de efectividad y eficiencia, a ciertas cuestiones, como son:

- Analizar las tecnologías que pueden utilizar los alumnos de matemáticas de secundaria para mejorar su aprendizaje de las matemáticas.
- Determinar las metodologías activas más apropiadas para aprovechar al máximo este potencial tecnológico.
- Identificar las barreras de entrada de las metodologías activas y las tecnologías en las aulas.
- Determinar el grado de avance de la investigación llevada a cabo sobre la intersección de metodologías activas y tecnología, con énfasis en experiencias reales llevadas a cabo en clases.
- Evaluar el estado de implantación en las aulas y el potencial de los marcos de conocimiento en la actualidad, así como de los específicos para los profesores de matemáticas, como el MTSK.
- Determinar el rol actual y previsible de las TIC/TAC en el marco TPACK.
- Evaluar si el currículo básico legal está diseñado para dar cabida a estas tecnologías de forma fundamental, o solo incluye la palabra “tecnología” para *cubrir el expediente*.

Estas y otras preguntas serán las que subyacen al actual trabajo y, si bien no será posible encontrar una respuesta definitiva e inequívoca para todas ellas, sí se buscará entender y presentar de forma clara y concisa las respuestas que se consideran más acertadas a nivel global, proponiendo finalmente un posible marco de referencia para introducir mejoras al actual sistema de enseñanza.

4. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo de revisión teórica, se han seguido las siguientes etapas:

En primer lugar, se ha elaborado una lista con las principales preguntas que se trata de responder en el actual trabajo. Esta lista se ha ido modificando a lo largo de la elaboración, creando nuevas preguntas, agregando otras y separando algunas en sub-preguntas.

En segundo lugar, se han identificado tres fuentes en las que localizar información relevante que pueda proporcionar una contextualización o una respuesta a las preguntas anteriores:

- Contenidos y bibliografía utilizados en los libros de texto del Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria, Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas.
- Biblioteca de la Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA) y sus plataformas, siendo las más utilizadas Proquest y Summon.
- Google Académico.

En tercer lugar, se ha hecho una lista de las palabras clave (y sus combinaciones) utilizadas para realizar las búsquedas digitales, que incluyen, a modo de ejemplo: tecnologías enseñanza matemáticas secundaria; TPACK matemáticas; MTSK secundaria/bachillerato; y futuro PCK/TPACK. Las búsquedas se han realizado en todos los casos tanto en español como en inglés.

Asimismo, para tratar de identificar las fuentes bibliográficas (tanto escritas como audiovisuales) más apropiadas y establecer un orden de prioridad, se ha establecido el siguiente criterio de selección preliminar:

- Documentos con menos de 15 años de antigüedad (salvando aquellos que por su destacada relevancia así lo justifiquen).
- Documentos académicos y/o referenciados en textos académicos relevantes.
- Documentos estructurados sobre investigación y/o experimentación real en las aulas.
- Documentos procedentes de entidades privadas reputadas o entes gubernamentales, incluyendo a las sociedades matemáticas españolas como la Real Sociedad Matemática Española o las pertenecientes a la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESPM).
- Documentos publicados bajo el paraguas de la Organización del Bachillerato Internacional (OBI).

En cuarto lugar, después del proceso de recolección y priorización de la información, se ha procedido a un primer proceso de cribado, eliminando todos los documentos obtenidos que no atiendan expresamente a los criterios mencionados, incluyendo blogs generalistas, documentos sin conclusiones relevantes o documentos teóricos sin sustento de experiencia o referencias.

A continuación, se ha llevado a cabo un análisis descriptivo, comparativo y correlacional, tratando de identificar interrelaciones y fenómenos de causalidad entre las variables identificadas.

Este proceso descrito se considera circular, en la medida en que nueva información ha abierto nuevas líneas de investigación y ha obligado a revisar alguna de las hipótesis de partida, de las preguntas iniciales e incluso de los criterios de selección y cribado de fuentes y de información.

Con todo ello, se confía en haber alcanzado unas conclusiones para el presente trabajo con el suficiente grado de acierto, profundidad, relevancia y utilidad para futuras investigaciones relacionadas con este campo.

5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

5.1. FUNDAMENTOS BIBLIOGRÁFICOS

Para la elaboración del presente documento se han considerado tres macrogrupos de informes como fundación sobre la que construir la investigación.

Por un lado, se han seleccionado los denominados *Horizon Reports* (en español, Informes de Horizonte), para cuya elaboración se selecciona cada año, desde 2002, a decenas de expertos internacionales para identificar y evaluar las prácticas educativas y las tecnologías emergentes de mayor impacto en la educación durante los cinco años siguientes a su publicación.

Estos informes son de amplia difusión y aceptación, siendo algunos de ellos traducidos al español por el Ministerio de Educación de España a través del Departamento de Proyectos Europeos del Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF).

Por otro lado, se han tomado los informes de evaluación de enseñanza en secundaria elaborados o encargados por la Organización del Bachillerato Internacional (OBI). La elección de este organismo se ha justificado, por un lado, en la consideración de que promueve desde hace años el uso de metodologías de enseñanza activas apoyadas en tecnología y más centradas en el proceso que en el contenido y, por otro, en el entendimiento de que engloba procedimientos y tendencias a nivel global, representando a 500 000 alumnos en más de 120 países. No se obvia el hecho de que este organismo es una alternativa más de entre las variadas metodologías educativas disponibles en la actualidad, pero la circunstancia de que recoja una muestra tan elevada de alumnos geográficamente repartidos y que se centre en dos de los aspectos esenciales del actual trabajo (metodologías activas y tecnología), nos llevan a considerarlo como fundamento bibliográfico.

En último lugar, se han tratado de identificar todos aquellos trabajos de investigación y revisión relevantes cuyo objeto sea la intersección de metodologías activas y tecnología. El volumen de documentos bajo este epígrafe es el menor de los tres, por tratarse de un tema moderno, poco experimentado y aun en fase de estudio.

5.1.1. HORIZON REPORTS

Entre los años 2000 y 2017, el organismo New Media Consortium (NMC), con el apoyo de Consortium for School Networking (CoSN) y MindSpark Learning, elaboró una serie de informes anuales que recogían el impacto de las prácticas y tecnologías innovadoras más

significativas en la educación a nivel mundial, tanto para la etapa escolar de primaria y secundaria (Horizon Reports K-12) como para la universitaria (Horizon Reports Higher Education), en el horizonte temporal de los cinco años siguientes a la publicación de cada informe.

A partir de 2019 EDUCAUSE, la organización sin ánimo de lucro de mayor tamaño especializada en el análisis y en la promoción del avance de la educación universitaria por medio de las tecnologías de la información, se ha hecho cargo de la elaboración de los Horizon Reports para la educación universitaria, quedando en suspenso la elaboración de aquellos centrados en la etapa escolar.

Para la elaboración de los informes Horizon Reports K-12, NMC reunía anualmente un panel de expertos internacionales y les planteaba tres cuestiones:

- ¿Cuál es el futuro previsible a cinco años en las instituciones educativas?
- ¿Qué tendencias metodológicas y desarrollos tecnológicos promoverán cambios significativos en la enseñanza?
- ¿Cuáles son los retos críticos que habrá que afrontar en ese periodo y cómo se pueden desarrollar soluciones a nivel estratégico?

De la edición K12 de 2017 (Freeman, Adams, Cummins, Davis y Hall, 2017), que es la última publicada para la etapa de secundaria (y también la última traducida al español por INTEF), se destacan varias ideas.

La primera es que los alumnos están pasando de ser aprendices a ser creadores. Esto se materializa en los *makerspaces*, por ejemplo, que han adquirido un papel protagonista dentro de las metodologías activas proporcionando a los alumnos oportunidades para crear y experimentar fomentando el pensamiento creativo complejo (Freeman, Adams, Cummins, Davis, y Hall, 2017, p. 18). Estos espacios pueden englobarse dentro de la metodología activa de *aprendizaje por proyectos*, consistiendo esencialmente en la creación de espacios físicos separados en los que grupos de alumnos colaboran, compartiendo recursos y conocimientos, con la finalidad de elaborar productos que supongan soluciones creativas a problemas específicos (Mosquera, 2018b).

La segunda idea seleccionada es que el pensamiento crítico, tradicionalmente esencial para el éxito en la carrera profesional, se incrementa significativamente al eliminar las barreras

existentes entre los bloques de conocimientos, estableciendo conexiones claras entre ciencias, humanidades y arte, al dotarle de un espectro divergente complementario (Freeman *et al.*, 2017, p. 22). Este aspecto se ha materializado en el conglomerado STEAM (acrónimo inglés de Science, Technology, Engineering, Mathematics and Arts o, en español, de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Matemáticas y Humanidades), que supone un proceso de enseñanza y aprendizaje integrador entre las materias pertenecientes a estas disciplinas, manteniendo el foco científico, pero basándolo en un proceso divergente creativo y crítico que solo las Artes o las Humanidades pueden aportar (Mosquera, 2018a).

En tercer lugar, se destaca que el uso extendido de la tecnología, implementado ya en la mayor parte de los ámbitos del aprendizaje en las escuelas, no tiene un papel relevante en la disminución de las brechas existentes en el desempeño o en el compromiso de los alumnos, atribuibles a su estatus socioeconómico, raza o género (Freeman *et al.*, 2017, p. 25).

El cuarto elemento que se destaca es el de la evaluación continua del aprendizaje, elemento que se considera imprescindible para entender y atender mejor las necesidades de los estudiantes. Los avances en tecnologías analíticas de aprendizaje permiten que los centros educativos puedan tener una visión holística y continua del proceso y de la efectividad del aprendizaje, favoreciendo la adaptación de nuevas estrategias de enseñanza que cubran la totalidad del espectro estudiante, desde las poblaciones en situación de riesgo hasta las de altas capacidades (Freeman *et al.*, 2017, pp. 16-17).

Estas analíticas implican la medida, recopilación, análisis e informe de datos sobre los estudiantes y de sus contextos, con el fin de comprender y optimizar el aprendizaje y los entornos en que tiene lugar, con el fin de mejorarlos. La emergencia de este campo puede atribuirse a factores como el *big data*, el aprendizaje con Recursos Educativos Abiertos (REA) o los propios intereses nacionales que han llevado a un mayor interés por medir, demostrar y mejorar los resultados en educación y optimizar el aprendizaje, para beneficiar a la sociedad (INTEF, 2017).

El concepto de tecnologías analíticas de aprendizaje debe entenderse innovador no en tanto en cuanto a su planteamiento, que ya apareció en el documento *Apertura de la educación: Docencia y aprendizaje innovadores para todos a través de nuevas tecnologías y recursos educativos abiertos* publicado por la Comisión Europea en 2013, sino en lo relativo a los marcados avances que se suceden cada año en las herramientas que los soportan. En el mencionado documento se exponía así:

La tecnología permite desarrollar nuevas soluciones para un aprendizaje más personalizado, al hacer que los profesores tengan un seguimiento más preciso y actualizado de cada alumno. A través de la analítica del aprendizaje pueden surgir métodos de aprendizaje nuevos y más centrados en el alumno, dado que puede seguirse de cerca la evolución de los alumnos que utilizan las TIC con regularidad: los profesores pueden conocer exactamente los resultados del aprendizaje de cada persona y determinar las necesidades de apoyo adicional en función del estilo de aprendizaje de cada uno (Comisión Europea, 2013, p. 5)

El desarrollo y la implementación de estas analíticas se considera que está aún en un nivel muy preliminar, habiéndose incrementado el número y las capacidades de las herramientas tecnológicas a velocidad exponencial, pero quedando aún mucho trabajo por hacer en la definición de qué es lo que se quiere y puede obtener de forma alineada con los valores y necesidades de cada país (Ferguson, Brasher, ClowCooper, Hillaire, Mittelmeier, Rienties, Ullmann y Vuorikari, 2016, p. 10).

En España, como respuesta a la mencionada Comunicación de la Comisión Europea de 2013, el gobierno de España a través del Ministerio de Economía y Competitividad designó en 2015 al organismo SNOLA (Spanish Network of Learning Analytics) como “red de excelencia” en este campo, consistiendo en una “Red Temática reconocida por el Ministerio de Economía y Competitividad compuesta por los principales investigadores nacionales dedicados a la analítica de datos de aprendizaje (...) con un enfoque principalmente tecnológico” (SNOLA, s.f.).

En quinto lugar, se destaca que la fluidez digital debe ir más allá de simplemente saber utilizar las tecnologías, dirigiéndose hacia un aprendizaje profundo de los entornos digitales que habilite una adaptación intuitiva a nuevos contextos y a la creación colaborativa de contenido (Freeman *et al.*, 2017, p. 14). Y es precisamente sobre estas habilidades digitales profundas donde los autores sostienen que pueden sustentarse avances significativos sobre el aprendizaje significativo y sobre las metodologías activas (Freeman *et al.*, 2017, pp. 11, 14 y 18).

En sexto y último lugar, se destaca la figura del docente bajo la idea de que ni la expansión de la tecnología ni la adopción de metodologías activas van a reemplazar esta figura, pero sí van a requerir que evolucione, adoptando un papel de habilitador y guía que coordine y ayude a los alumnos a navegar por los proyectos, a generar significado y a desarrollar hábitos de aprendizaje

para el largo plazo. Para ello, la responsabilidad no recae solo sobre los profesores sino también sobre los centros educativos para generar una “cultura docente” que habilite, favorezca y recompense esta transición hacia unas prácticas educativas efectivas (Freeman *et al.*, 2017, p. 30).

5.1.2. ORGANIZACIÓN DEL BACHILLERATO INTERNACIONAL

De todos los informes evaluados, se ha tomado en primer lugar el que la OBI encargó en 2015 a un panel de expertos denominado *Uso de la Tecnología en Matemáticas de Secundaria* (Drijvers, Monaghan, Thomas y Trouche, 2015), por ser el más exhaustivo. Su objetivo declarado era, dentro de las metodologías de enseñanza actuales, proporcionar una visión informada sobre el uso y la integración de la tecnología en el currículo, en la clase y evaluar su impacto en el aprendizaje en los cursos de matemáticas de secundaria (Drijvers *et al.*, 2015, p. 3).

Para la elaboración de este informe se analizaron cientos de publicaciones, incluyendo la totalidad de los artículos recogidos en las principales revistas especializadas en la enseñanza de matemáticas a nivel europeo, entre 2000 y 2014. Posteriormente, se analizaron los contenidos curriculares de seis países (Reino Unido, Francia, Holanda, Nueva Zelanda, Singapur y Australia) en lo relativo a la tecnología y la enseñanza de matemáticas en secundaria y la implantación real de estos sistemas en las clases.

Con ello, se buscaba obtener un entendimiento mayor del papel de las tecnologías utilizadas en secundaria y del grado de integración que tenían tanto en el currículum en general como en la enseñanza en particular, desde el punto de vista del trinomio alumno-clase-profesor.

En lo relativo a las distintas tecnologías, aun reconociendo la importancia cada vez mayor de recursos como internet, computadoras, tabletas y pizarras digitales interactivas (PDI), el estudio se centra especialmente en las calculadoras científicas, tanto las que simplemente tienen representación gráfica (más conocidas como GDC, acrónimo del inglés *graphic display calculator*) como las que además permiten realizar cálculos algebraicos (más conocidas como CAS, acrónimo del inglés *computer algebra system*).

De entre las conclusiones que se alcanzan en el informe, se consideran destacables cinco.

En primer lugar, los autores comprueban que el currículum básico lectivo en todos los países evaluados incluye el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para los

cursos de secundaria¹, tanto de forma general como de forma detallada, especificando actividades concretas en que serán utilizadas (Drijvers *et al.*, 2015, pp. 29-33).

En segundo, se reconoce la elevada dificultad para evaluar el aprendizaje de los alumnos de forma correlacionada con el uso de las tecnologías. Uno de los factores que considera determinante para este obstáculo es la existencia de dos grupos separados de docentes: por un lado, aquellos que consideran las TIC como un medio para comunicar las matemáticas a los estudiantes; por otro, los que consideran las TIC como un medio por el que los estudiantes pueden expresar relaciones matemáticas. A pesar de ello, concluye que las calculadoras sí han demostrado ser una ayuda para la comprensión de conceptos, mientras que las TIC en general están proporcionando una diferencia “modesta” en el aprendizaje de las matemáticas, al contrario de lo que intuitivamente podría parecer (Drijvers *et al.*, 2015, p. 5).

Sin embargo, en esta evaluación del aprendizaje, los autores comprueban que, de forma inequívoca, la forma de organizar los recursos en la clase, incluyendo la distribución espacial de los alumnos y la planificación racional (y relacionada) de tareas de papel, tareas con TIC y sesiones de enseñanza a la totalidad de la clase, sí son factores cruciales en el aprendizaje.

En tercer lugar, en el informe se comprueba que la introducción de la tecnología obliga a los alumnos a adquirir y dominar unas nuevas habilidades, no sólo en el propio uso de esta, sino en la interpretación de las gráficas y en la creación de conexiones entre las representaciones matemáticas numéricas, simbólicas, gráficas y geométricas. Sin estas habilidades, los estudiantes tenderán a aceptar imágenes gráficas, sin tener un entendimiento crítico de las mismas y sus relaciones con la información numérica o simbólica subyacente (Drijvers *et al.*, 2015, p. 6).

En cuarto lugar, si bien es evidente que el profesor es el elemento esencial para la utilización exitosa de la tecnología en la clase, hay algunos retos que está siendo difícil superar para este colectivo, como pueden ser, por un lado, los relacionados con las propias habilidades matemáticas de los profesores y sus percepciones acerca de la naturaleza del conocimiento matemático y cómo debería aprenderse y, por otro, los relacionados con el entendimiento que los profesores tienen sobre los principios y las técnicas requeridos para la enseñanza de las matemáticas con tecnología (Drijvers *et al.*, 2015, p. 6).

¹ La situación específica de España se evalúa en detalle en el capítulo siguiente, donde se comprobará que, en este ámbito, está a la par con los países analizados en el informe.

En quinto y último lugar, se destaca la importancia para el aprendizaje con tecnología de considerar que las clases no son entes aislados, sino que pertenecen a un ecosistema más amplio de otros grupos geográficamente separados pero conectados por medios de esas mismas tecnologías, que permiten compartir recursos, experiencias y prácticas de clase, favoreciendo el trabajo colaborativo a gran escala entre alumnos y entre profesores (Drijvers *et al.*, 2015).

5.1.3. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y TECNOLOGÍA

Se consideran de especial relevancia todos aquellos escritos académicos que se hayan construido a partir de los principios establecidos por Kolb (1985) sobre el *aprendizaje experiencial* o *activo* y sus cuatro estilos predominantes de aprendizaje (acomodador, divergente, convergente y asimilador), como es el caso de Bonwell y Eison (1991), cuando lograron desarrollar un marco de implantación en las aulas de este modelo. Estos modelos suponían una modificación profunda de los principios establecidos con el paso de los años en los sistemas educativos, dado que el enfoque debía ahora darse en el proceso de aprendizaje en lugar de en la adquisición de contenidos específicos y el profesor debía modificar su papel de instructor hacia uno de guía e incluso de compañero en el proceso de aprendizaje.

Adicionalmente, tienen especial relevancia los trabajos que han surgido a partir de la postura tomada por el Espacio Europeo para la Educación Superior (EEES, 2001) en apoyo de la utilización de las metodologías activas en el ámbito educativo, que refuerzan la idea de que los alumnos deben abandonar la postura pasiva de antaño y asumir una mayor responsabilidad en su propio proceso de aprendizaje, trabajando en equipo e incrementando su autonomía (García-Peñalvo, 2011).

Son de interés todas aquellas experiencias reales de implantación de estas metodologías en las aulas, en las que se ha podido comprobar su grado de idoneidad para la atención a la diversidad o en situación de riesgo de exclusión, como son las experiencias llevadas a cabo por Iglesias, Madrid, Ramos, Robles y Serrano (2013), Arellano (2014), García (2015) o Caballero (2016).

5.2. ELEMENTOS DE ANÁLISIS

En cumplimiento de los objetivos del presente trabajo, se abordarán cinco elementos de análisis. En primer lugar, se realizará una revisión del papel de la tecnología en el currículo oficial de matemáticas en España. A continuación, se realizará una evaluación de las metodologías activas, su evolución y tendencias, en su intersección con la tecnología y con la docencia de matemáticas. Posteriormente, se hará lo propio con los marcos teóricos de conocimiento de los

profesores en ese mismo punto de intersección con tecnología y matemáticas. En cuarto lugar, se evaluarán los conceptos de nativos digitales, alfabetismo digital y su impacto en el uso de la tecnología en los programas pedagógicos. Por último, se revisarán las principales tecnologías disponibles en apoyo de la enseñanza de matemáticas.

5.2.1. SITUACIÓN EN EL SISTEMA EDUCATIVO ESPAÑOL

5.2.1.1. CONTENIDO CURRICULAR DE MATEMÁTICAS

En el Real Decreto 1105 (2014, pp. 391-413), por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, en lo relativo a la asignatura de matemáticas, se recoge el concepto de tecnología tanto de forma general como de forma detallada, llegando a detallar algunas actividades concretas en que estas serán utilizadas.

De acuerdo con el contenido de este Real Decreto, el papel de las tecnologías se puede englobar en tres grandes campos definidos por su finalidad: en primer lugar, las destinadas a recopilar y ordenar la información; en segundo, aquellas usadas para hacer cálculos, hacer análisis crítico de datos y hacer representaciones y simulaciones, favoreciendo el aprendizaje de los alumnos; y, en tercer lugar, las usadas para preparar informes y documentos y posteriormente divulgarlos en los entornos adecuados.

De forma transversal a estos tres grupos se mencionan expresamente las TIC, en tanto en cuanto proporcionan herramientas para la búsqueda, el cribado y el análisis de información procedente de Internet u otras fuentes, permitiendo además elaborar documentos e informes que posteriormente se pueden presentar y compartir. Esta última idea queda plasmada explícitamente cuando plantea la elaboración de documentos propios (vídeos, presentaciones, textos...) como resultado final del trabajo realizado para posteriormente compartirlo con el aula u otros entornos apropiados para su publicación o discusión. Los campos de conocimiento en que se recoge el uso de las TIC son los cuatro que señala el Real Decreto: cálculo y álgebra; geometría; funciones; y estadística y probabilidad.

Por su parte, el Ministerio de Educación y Formación Profesional de España, al ahondar en el currículo en Primaria, ESO y Bachillerato, recoge el concepto de *competencia matemática* y *competencias básicas en ciencia y tecnología* (CMCT) como una de las competencias claves a desarrollar. El objeto es el de permitir “conductas y toma de decisiones personales estrechamente vinculadas a la capacidad crítica y visión razonada y razonable de las personas”, en apoyo de la sostenibilidad de la situación de bienestar (MEFP, s.f.).

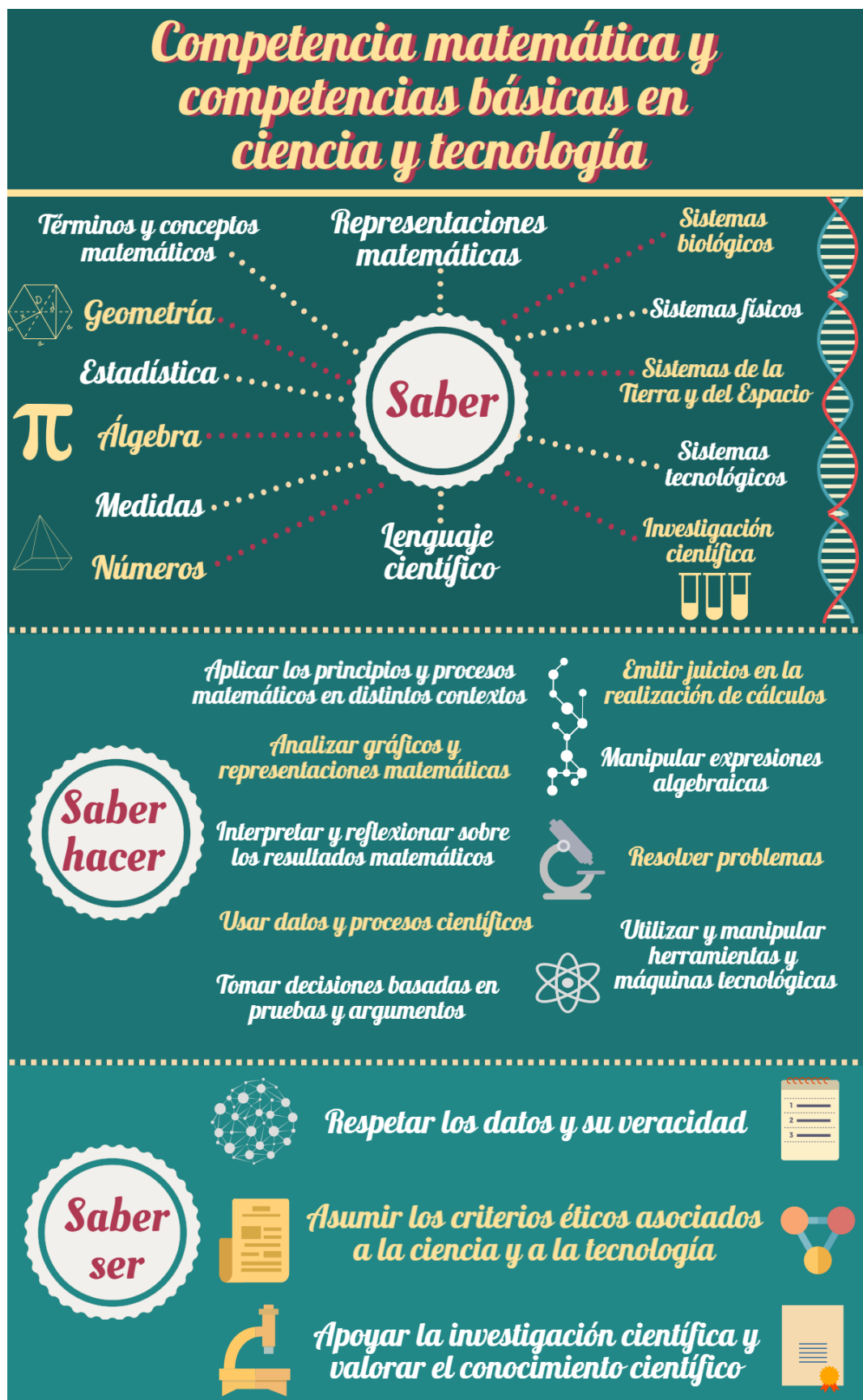


Figura 1. Competencia Matemática y Competencias en Ciencia y Tecnología. (MEFP)

En la figura anterior se puede observar que, a través de la CMCT, se destacan tres dimensiones del conocimiento: saber, saber hacer y saber ser, observándose cómo el peso que tradicionalmente recaía de forma exclusiva sobre el aprendizaje de los fundamentos, términos y conceptos matemáticos, ahora se reparte también sobre la aplicación de estos elementos, incluyendo la toma de decisiones basada en pruebas y argumentos, el análisis crítico de gráficos, estadísticas y otras representaciones matemáticas o la interpretación y reflexión de resultados matemáticos, todo ello con el conocimiento de las herramientas tecnológicas adecuadas.

En resumen, tal y como se expuso anteriormente, el papel que se le otorga a la tecnología en el currículo español es asimilable al que se daba en los países estudiados por Drijvers *et al.* (2015) (Reino Unido, Francia, Holanda, Nueva Zelanda, Singapur y Australia).

5.2.1.2. INICIATIVAS RECIENTES

Desde el Ministerio de Educación y Formación Profesional de España, a través del Centro Nacional de Innovación e Investigación Educativa (CNIIE) y del INTEF, se promueven distintos proyectos y programas en apoyo de la innovación y el uso de tecnología en las aulas, como son Leer.es, eTwinning, La aventura de Aprender, Pensamiento Computacional, Scientix, Proyecto EDIA, MasDIV, MENTEP, Samsung Smart School y Aula del Futuro.

Estos programas abarcan desde la creación de redes y ecosistemas educativos multidisciplinares e internacionales, hasta el estudio experimental y experiencial de los distintos tipos de aprendizajes y su relación con los espacios, métodos y agentes, pasando por repositorios y bancos de contenidos digitales y metodológicos, por el fomento de comunidades de innovación en la educación dentro de la Unión Europea (UE) y por la introducción de habilidades de programación en el currículo educativo.

Por su proximidad al objeto del presente trabajo, tres de estas iniciativas ameritan una mención especial.

La primera de ellas es MENTEP (del inglés Mentoring Technology-Enhanced Pedagogy) y consiste en un programa de experimentación iniciado en 2015, coordinado por INTEF y financiado por la Comisión Europea, que busca mejorar la capacidad de innovación de los docentes con las TIC en la práctica de su labor educativa tomando por base un marco de competencia específico denominado TET (Technology-Enhanced Teaching – Enseñanza Mejorada con Tecnologías) (Educalab, s.f.).



Figura 3. Ejemplo real de aula del futuro en Extremadura. (INTEF, 2017a)

5.2.1.3. USO DE TECNOLOGÍA (CALCULADORAS) EN EXÁMENES

Del Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, antes mencionado, se desprende el carácter esencial del uso de la tecnología en el aprendizaje de las matemáticas (FESP, 2018). Sin embargo, en los exámenes de acceso a la Universidad se prohíbe el uso de las calculadoras científicas con representación gráfica o que permitan realizar cálculos algebraicos, integrales o derivadas.

La Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas aprobó a finales de 2018 un informe detallado sobre la necesidad de permitir el uso de las calculadoras científicas, gráficas y simbólicas (CAS) en los exámenes de acceso a la universidad.

En dicho informe (FESP, 2018) se conminaba a los Rectores de las Universidades a permitir el uso de estas tomando por base varias consideraciones. En primer lugar, sostienen los autores que las calculadoras sirven el propósito de apoyar el desarrollo del pensamiento creativo en los alumnos, simplificando la ejecución de operaciones que no son la esencia del conocimiento matemático, más orientado a conocer cuáles son las operaciones que hay que hacer, en qué orden y con qué objetivo. En segundo lugar, consideran que, dado que en la actualidad se cuenta con aplicaciones matemáticas cada vez más complejas en dispositivos portátiles a disposición de los alumnos desde la etapa de Primaria y esta tecnología forma parte de su aprendizaje hasta Bachillerato, no tiene sentido despojarles de este elemento en las pruebas esenciales de

conocimientos que suponen las de acceso a la universidad. En tercero, resaltan que el currículo básico de cumplimiento legal establece el uso obligatorio de las calculadoras, por lo que la prohibición de las calculadoras gráficas o CAS lleva a una incongruencia legal.

5.2.2. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y TIC/TAC

Como exponen Labrador y Andreu (2008), las metodologías activas no suponen un concepto nuevo y desconocido, pudiendo encontrarse su presencia en personas e instituciones reformadoras como Pestalozzi en el siglo XVIII, *la escuela nueva* a finales del siglo XIX o La Institución Libre de Enseñanza a principios del siglo XX.

Sin embargo, fue Kolb (1985) el que, haciendo un análisis crítico de las teorías de Dewey, Lewin y Piaget, detalló lo que denominó *proceso de aprendizaje experiencial*, que supone la base y la esencia del entendimiento moderno que se otorga al concepto de metodologías activas.

De acuerdo con su descripción, el *aprendizaje experiencial* es aquel que tiene claramente definidas seis características: el aprendizaje debe ser concebido como un proceso y no en función de los resultados alcanzados; el aprendizaje es un proceso continuo enraizado en las experiencias; el aprendizaje es un proceso holístico de adaptación al mundo; el aprendizaje incluye transacciones entre las persona y el ambiente que le rodea; el aprendizaje es el proceso de creación de conocimiento; y, por último, el proceso de aprendizaje requiere una resolución de conflictos entre modos dialécticamente opuestos de adaptarse al mundo (Kolb, 1985, pp. 26-37)

Este modelo de Kolb, relacionado especialmente con el último aspecto mencionado, determinaba que había cuatro habilidades que, aunque en ocasiones pudieran entrar en conflicto, debían darse de forma equilibrada para lograr producir un aprendizaje efectivo: *experiencia concreta* (CE), *observación reflexiva* (RO), *conceptualización abstracta* (AC) y *experimentación activa* (AE).

Es decir, que los estudiantes debían ser capaces de involucrarse completamente y sin sesgos en nuevas experiencias (CE); debían ser capaces de observar y reflexionar sobre sus experiencias desde distintos puntos de vista (RO); debían ser capaces de crear conceptos que integraran sus observaciones en teorías lógicas (AC); y debían ser capaces de utilizar estas teorías para tomar decisiones y resolver problemas (AE). En función del carácter predominante de cada una de estas habilidades en las personas, definió cuatro tipos predominantes de estilos de aprendizaje: acomodador, divergente, convergente y asimilador, representando las metodologías activas el

enfoque óptimo para atender todas estas diferencias en el espectro estudiante, como puede verse en la figura 4 (Matzumura, Gutiérrez, Pastor-García, Zamudio y Ruiz-Arias, 2018).



Figura 4. Distribución de los estilos de aprendizaje según Kolb (Matzumura *et al.*, 2018).

Sin embargo, la introducción de este modelo en las aulas presentó algunas dificultades que fueron identificadas y estudiadas por Bonwell y Eison (1991) quienes, dando un paso más, construyeron un modelo de implantación del marco teórico de Kolb en las escuelas.

En primer lugar, procedieron a dar una definición de *aprendizaje activo* (denominado en inglés *active learning*) como aquél que reunía cinco características: con él, los estudiantes hacían algo más que escuchar; se ponía menos énfasis en la transmisión de información y más en el desarrollo de las habilidades de los estudiantes; los estudiantes llevaban a cabo pensamientos complejos (análisis, síntesis, evaluación, etc.); los estudiantes realizaban actividades como leer, comentar y escribir; y, por último, con esta metodología se ponía un énfasis especial en la exploración que los alumnos realizaban de sus propias actitudes y valores (Bonwell y Eison, 1991, p. 4).

En segundo lugar, analizaron las barreras de entrada de estas metodologías en las aulas, principalmente relacionadas con los retos que debían afrontar los docentes para incluirlas y la poca formación que había al respecto para ayudar en el cambio radical del paradigma de la figura del profesor. Para facilitar el proceso, establecieron una tabla que recogía las principales barreras que incluían el tiempo de clase requerido, la planificación previa necesaria, el potencial para controversia o las necesidades de conocimientos previos de alumnos y de profesores. A

continuación, caracterizaban una serie de estrategias de bajo y de alto riesgo para lograr eventualmente la superación de estas barreras y facilitar así la introducción progresiva de las metodologías en las aulas de forma exitosa, de forma ajustada a la medida de aversión al riesgo de cada docente (Bonwell y Eison, 1991, pp. 62-66).

Desde entonces, las metodologías de aprendizaje basado en la experiencia, centradas en los distintos procesos que se dan durante el desarrollo del aprendizaje y la consiguiente adquisición de conocimientos, se han desarrollado y extendido progresivamente hasta llegar a convertirse en nuestros días en un asunto prioritario, si se tienen en cuenta las líneas definidas por el EEES y su apuesta por este tipo de enseñanza, en que se busca lograr que el alumno sea partícipe de forma activa y no pasiva de su proceso de aprendizaje aumentando su autonomía, capacidad de trabajo en equipo, autocrítica y capacidad de organización y planificación (García-Peñalvo, 2011; Labrador y Andreu, 2008).

Las técnicas específicas que se engloban dentro de las metodologías activas (o aprendizaje activo) son múltiples, aunque las más conocidas son las de aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en proyectos, método del caso, aprendizaje cooperativo, contrato de aprendizaje, técnica expositiva, lección magistral participativa y simulación.

Una de las claves de las metodologías activas se ha introducido anteriormente, al mencionar que el modelo de Kolb reconocía la existencia de cuatro grandes estilos distintos de aprendizaje en las personas (acomodador, divergente, convergente y asimilador), destacándose que las metodologías activas ayudan a armonizar la presencia equilibrada de esos grupos en el marco de diversidad de los estudiantes (Matzumura *et al.*, 2018).

La atención a la diversidad en las aulas es uno de los objetivos esenciales de los sistemas educativos en la actualidad, evitando exclusiones por razones cognitivas, económicas o culturales. Las metodologías activas se han mostrado muy adecuadas para tal fin, en el entendimiento de que los cinco elementos sobre cuya intersección se construyen (el alumno, el profesor, el orientador, la comunidad y los espacios físicos (Luelmo, 2018)) presentan una flexibilidad, una cobertura y un grado de interacción óptimos (García, 2018).

Algunas experiencias llevadas a cabo en las aulas en los últimos años han permitido comprobar que las técnicas de aprendizaje activo permitían atender debidamente la diversidad reconociendo y respetando los ritmos de cada estudiante y fomentando la colaboración entre compañeros, favoreciendo la inclusión (García, 2015), incluso en situaciones de elevado riesgo de exclusión (Iglesias, Madrid, Ramos, Robles y Serrano, 2013).

De acuerdo con el modelo de las *inteligencias múltiples* de Gardner, los humanos tendríamos ocho o nueve *inteligencias* distintas (lingüística, cinético-corporal, lógico-matemática, espacial, musical, interpersonal, intrapersonal, naturalista y posiblemente la existencial) (Gardner, 2003), que no deben confundirse con los estilos de aprendizaje mencionados anteriormente. Esta variabilidad en las *inteligencias*, presentes con una distribución diferente en cada persona, es uno de los focos de diversidad entre los alumnos.

Al igual que en el caso anterior, experiencias reales llevadas a cabo en las aulas durante los últimos años han permitido evaluar el papel de las metodologías activas frente a la diversidad desde el punto de vista de las *inteligencias múltiples*, confirmando el elevado impacto de estas técnicas en el desarrollo del abanico de estas *inteligencias* de forma global, en contraposición con el uso de metodologías tradicionales, que se enfocan excesivamente en una o dos de ellas obviando las demás (Romero, 2012; Caballero, 2016; y García Marín, 2017).

Al retomar la idea mencionada anteriormente de los cinco elementos sobre los que se estructuran las metodologías activas, un simple silogismo nos permite considerar que cuando la introducción de estas en las aulas presenta dificultades, es porque se presentan problemas en uno o más de estos elementos. Como dice Luelmo (2018), los estudiantes deben querer participar, involucrarse en las tareas y comunicarse de forma activa con sus compañeros y profesores; los profesores deben estar suficientemente capacitados para afrontar estas tareas, tanto en el aspecto pedagógico como en la materia; los enlaces entre profesores, dirección y comunidad (denominados orientadores) deben garantizar una comunicación completa y fluida que facilite la resolución de dificultades y mantenga a todos motivados por involucrarse; la comunidad, tanto los padres como el entorno cultural y social, deben actuar de facilitadores para que ocurra el aprendizaje; y, finalmente, los espacios físicos, deben tener un grado de idoneidad suficiente. Una última dificultad, que merece una mención aparte por su trascendencia y complejidad, es la de la evaluación, que requiere un cambio radical en su entendimiento y ejecución con respecto a las metodologías tradicionales.

Adicionalmente a todo lo expuesto, es necesario destacar ahora el elemento esencial que no se ha incluido en el presente análisis: las TIC/TAC.

Las TIC se introdujeron progresivamente en el ámbito escolar durante la década de los noventa, produciéndose una verdadera explosión en su penetración y sus posibilidades entre 2000 y 2010. Sin embargo, poco tardó en comprobarse que estas posibilidades tecnológicas *per se* no habían introducido una mejora sustancial en los procesos de aprendizaje.

Por un lado, se observó que el concepto TIC en sí mismo era un vocablo excesivamente amplio y siempre creciente, que estaba introduciendo elementos que no se habían desarrollado pensando en sus aplicaciones en la educación, por lo que las tecnologías entraban en las aulas en muchas ocasiones de forma desordenada o poco ajustada a las necesidades reales. Por otro lado, ante un crecimiento exponencial de las capacidades de cálculo acompañado de un constante abaratamiento de la tecnología y de una miniaturización más que lineal, la innovación en las aulas se centró más en utilizar más y mejores tecnologías que en adaptar las metodologías educativas a las nuevas posibilidades o desarrollar otras nuevas con la pedagogía en la mente.

Con todo ello, algunos autores propusieron delimitar el concepto de TIC al de TAC (tecnologías del aprendizaje y el conocimiento). De esta forma, en concepto TAC quedaba delimitado a aquellos programas informáticos, plataformas y dispositivos enmarcados en un contexto educativo, con unos objetivos y sistemas de seguimiento que permitieran medir el valor educativo de estas experiencias de aprendizaje (Sancho, 2008).

Este matiz nos permite incidir en los aspectos más formativos de las TIC tanto para el estudiante como para el profesor, buscando aprender más y mejor, centrándose en los métodos y en los usos de la tecnología y no sólo en el conocimiento de las herramientas informáticas. De esta forma, lo que se busca, en el fondo, es modificar el concepto de aprendizaje *de* la tecnología hacia el de aprendizaje *con* la tecnología, desarrollando competencias fundamentales como la de aprender a aprender (Lozano, 2011).

Entonces, bajo la premisa de que se utilizaran únicamente las TAC, era esencial modificar las metodologías para aprovechar las posibilidades que estas ofrecían o, aún mejor, desarrollar metodologías y tecnologías educativas en paralelo. Y para esto, algunos autores comprobaron que se mostraban idóneas las metodologías basadas en el aprendizaje activo. Salinas (2004), Por ejemplo, propuso el desarrollo y utilización de metodologías activas centradas en el alumno, cuya calidad residiera en un proceso de toma de decisiones exitoso sobre la intersección entre las tecnologías a utilizar, su función pedagógica y los aspectos de organización del proceso de enseñanza-aprendizaje. Específicamente, proponía un modelo de Comunidades Virtuales de Aprendizaje estructurado sobre la metodología del aprendizaje colaborativo, en torno a una plataforma digital que él denominó entorno virtual de enseñanza-aprendizaje (EVEA).

Ha pasado más de una década desde estos planteamientos y la realidad es que el mundo está viviendo una revolución digital que era inimaginable en aquel momento, tanto por su magnitud como por su velocidad de cambio. Schwab (2015), en calidad de fundador del foro Económico

Mundial, consideró que lo que estaba aconteciendo era la cuarta Revolución industrial, diferenciada de la tercera (y no una simple continuación de ella) en lo relativo a su velocidad exponencial de crecimiento, a su alcance global y al profundo impacto que presentaba de forma simultánea en los sistemas de producción, gestión y gobernanza. Sostiene que las incertidumbres asociadas a estar viviendo las etapas iniciales de este profundo y radical cambio, sin conocer los efectos que tendrá o la dirección que tomará, no deben ser óbice para comprender que el objeto de la revolución no es el desarrollo de las tecnologías en sí mismas, sino que, con un enfoque antropocéntrico, debe ser el desarrollo de las personas desde las dimensiones del individuo, de las comunidades y de las organizaciones (Schwab, 2015).

Es importante destacar en este punto que, en la situación descrita, el papel de las personas es esencial para moldear y construir un futuro a partir de las tecnologías o sobre ellas, sin esperar a que este futuro nos asalte o adelante. Para ello, además de la participación informada de las personas, se debe contar con metodologías prospectivas debidamente investigadas, probadas e implementadas (Domínguez León y Domínguez Hacha, 2018).

Sea como sea, en esta transformación digital que ha penetrado en nuestras vidas cambiando la forma de trabajar, aprender y disfrutar del tiempo de ocio, se ha comprobado que, tal y como se preveía, la existencia de infinidad de tecnologías avanzadas, enormes redes sociales y plataformas de acceso a información como nunca antes, no se ha traducido de forma automática en cambios pedagógicos y de contenido profundos que se hayan mostrado sustanciales o duraderos para los alumnos (Collins y Halverson, 2009).

Como apuntaba Leneway (2014), uno de los motivos es que la investigación académica dirigida a apoyar a los responsables del diseño del currículo básico y de los propios docentes no ha sucedido a la misma velocidad que el desarrollo de la tecnología, quedando muy retrasada y creando huecos en la elección de metodologías y tecnologías de apoyo que se han cubierto sin el debido respaldo. Otro motivo es que la finalidad de la etapa de escolarización también ha ido sufriendo un profundo cambio, modificándose desde una de preparación para la carrera profesional (elemento que también está en transformación) hacia otra dirigida a cumplir unos nuevos requerimientos como son el aprendizaje continuado durante toda la vida, el trabajo autónomo y el trabajo en equipo.

Por último, también ha sucedido que la revolución tecnológica ha incitado a docentes y a pedagogos, quizás a consecuencia del motivo anterior, a crear nuevas metodologías, sin comprender bien las posibilidades que las TIC/TAC ofrecen y el efecto que tienen en apoyo de

metodologías existentes (principalmente las activas) por sus posibilidades de comunicación, trabajo en grupo, acceso a información y creación de comunidades supra escolares.

En este contexto, se ha mostrado como opción más procedente la de centrar la innovación en revisar los nuevos papeles que se van a atribuir y las nuevas interacciones que pueden existir entre docentes, estudiantes, materiales, contenidos, tecnologías, metodologías y sistemas de evaluación (Silva y Maturana, 2017).

El giro educativo hacia los procesos en lugar de hacia los contenidos se puede resumir en la tabla 1:

Tabla 1. *Diferencias entre aprendizaje centrado en contenidos y en actividades*

Aprendizaje centrado en los contenidos		Aprendizaje centrado en las actividades
El estudiante suele ser reactivo y pasivo, a la espera de lo que diga o decida el docente.	>	Los estudiantes tienen una implicación activa en su aprendizaje, sin esperar que el docente decida por ellos.
El margen de decisión del estudiante es pequeño.	>	Mucha libertad para los estudiantes y espacio para las propias decisiones en cuanto a ciertos elementos importantes de su aprendizaje.
Se fomenta un aprendizaje individual.	>	Se fomenta un aprendizaje en colaboración con los compañeros.
Los estudiantes no tienen muchas oportunidades para aprender autónomamente.	>	Los estudiantes tienen ocasiones de ser autónomos en su aprendizaje.
Competencias memorísticas y de replicación de contenidos.	>	Competencias relacionadas con procesos, con una orientación a resultados, y a la búsqueda, selección y manejo de información.
La educación personal y profesional a menudo está restringida a periodos determinados de la vida.	>	Educación personal y profesional a lo largo de la vida.

Nota: Adaptado de Sancho y Borges, 2011, p. 39.

Y este cambio también está relacionado con el cambio de roles en profesores y alumnos, como puede verse en la tabla 2:

Tabla 2. Cambio en roles de profesores y alumnos

Cambios en el rol de los docentes	
Cambio de:	Cambio a:
Transmisor de conocimientos Fuente principal de información Experto de materia Fuente de todas las respuestas	Facilitador del aprendizaje Colaborador, tutor, guía Participante del proceso de aprendizaje
El profesor controla y dirige todos los aspectos del aprendizaje	El profesor facilita a los estudiantes más opciones y responsabilidad sobre el aprendizaje
Cambios en el rol de los estudiantes	
Cambio de:	Cambio a:
Receptor pasivo de la información	Participante activo en el proceso de aprendizaje
Replicantes de conocimientos	Produce y comparte conocimiento; en ocasiones, puede actuar como experto
El aprendizaje es entendido como una actividad individual	El aprendizaje es entendido como una actividad colaborativa

Nota: Adaptado de Newby *et al.* 2000 en UNESCO 2004, p.28)

Y es precisamente en este nuevo entorno de cambio donde mayor potencial han mostrado las metodologías activas combinadas con las TIC/TAC, generando numerosas experiencias exitosas con técnicas como el método del caso, el aprendizaje basado en problemas, el aula invertida (Flipped Classroom), al aprendizaje colaborativo, el aprendizaje y servicio, los juegos de rol o los debates (Silva y Maturana, 2017).

Este nuevo marco educativo se puede condensar en la siguiente figura:



Figura 5. Modelo de metodologías activas (apoyadas por TIC) centradas en el estudiante (Silva y Maturana, 2017).

Durante los últimos diez años se han llevado a cabo diversos proyectos de investigación para evaluar la efectividad y eficiencia de sistemas integrados de tecnologías y metodologías activas, si bien la mayor parte de estas se ha producido a nivel universitario. Se destaca el estudio llevado a cabo como parte del Programa de REDES-I³CE de Investigación en docencia universitaria en colaboración con la Universidad de Alicante, denominado “Las TIC al servicio de metodologías activas: nuevos escenarios de aprendizaje en Educación Superior” (Lledó *et al.*, 2017).

Este estudio, llevado a cabo con alumnos del Grado de Maestro Educación Infantil, comprobó el éxito de aplicar metodologías activas combinadas con las TIC, dando cumplimiento a los requerimientos ya mencionado del EEES, como son dar mayor importancia al estudiante, favorecer el trabajo en equipo y reforzar su capacidad de adquisición de herramientas para ser más autónomo y mantener un aprendizaje permanente durante su vida. Por otra parte, se comprobó cómo esta integración de TIC y metodologías activas favorecía la evaluación continua, uno de los principales escollos argumentales contra la adopción de estas metodologías (Lledó *et al.*, 2017).

Otra iniciativa destacable fue la llevada a cabo en 2010 en la Universidad de la Habana en cursos de pregrado y posgrado, utilizando una metodología activa específica (aprendizaje basado en proyectos). Como premisa, se consideraba que la habilidad más necesaria en la era digital era la de aprender a aprender, en un marco en que “el aprendizaje ha pasado de ser una construcción individual de conocimiento, a convertirse en un proceso social” (Martí, Heydrich, Rojas y Hernández, 2010).

Las conclusiones del estudio fueron igualmente positivas, expresando los autores que se habían alcanzado con éxito todos los objetivos perseguidos al lograrse en los alumnos el desarrollo de las competencias, más allá del aprendizaje de los contenidos; el incremento de sus capacidades de investigación; el incremento de sus capacidades de análisis y de síntesis; incremento del conocimiento y habilidades en su manejo de las TIC; incremento de sus capacidades de autoevaluación y coevaluación; e incremento de su motivación (Martí *et al.*, 2010).

Finalmente, otro estudio que se añade es uno llevado a cabo en Educación Primaria, estructurado sobre la metodología del aprendizaje basado en proyectos, desarrollando la intersección entre el aprendizaje colaborativo, el concepto de inteligencias múltiples y la técnica de la clase invertida (Flipped Classroom), utilizando las TIC como nexo y soporte. Los resultados fueron igualmente positivos, detectándose una reducción significativa del tiempo de las clases que permitió aprovecharlo para otras tareas, así como una mayor conexión con los

alumnos, relacionada con las TIC, que permitió mejorar su motivación, participación e interés en las clases (Lázaro, 2017) La conclusión de este estudio fue que las TIC estaban estrechamente vinculadas al aprendizaje basado en proyectos, al aprendizaje colaborativo, a las inteligencias múltiples y la técnica de la clase invertida, generando una mejoría significativa en la motivación por aprender y participar en los alumnos.

Con todo ello, se puede considerar que los profundos cambios educativos que son necesarios para afrontar los requerimientos del siglo XXI, que introducen modificaciones significativas en los roles de los alumnos y de los docentes (tal y como indican organismos internacionales como la UNESCO y el EEES), son favorecidos por la elección racional e implementación progresiva de metodologías activas sustentadas sobre TIC/TAC en las aulas.

5.2.3. TPACK, MTSK Y LAS MATEMÁTICAS

Este profundo proceso de cambio en la enseñanza, como se ha mencionado, requiere de una modificación sustancial en el paradigma de la figura del profesor que, como exponían Newby *et al.* (2000), debía asumir la siguiente evolución:

- Desde un transmisor de conocimiento, a un facilitador de aprendizaje;
- desde un experto en contenidos, a un guía, colaborador y entrenador;
- desde una postura de fuente de todas las respuestas, a un participante del proceso de aprendizaje;
- de controlar y dirigir todos los aspectos del aprendizaje, a facilitar opciones y herramientas al alumno para que este sea más responsable de su propio aprendizaje.

Desde que Shulman publicó su famoso artículo “Those who understand: Knowledge growth in teaching” (que podemos traducir por *Aquellos que comprenden: crecimiento del conocimiento en la enseñanza*), en el que publicó su idea del *conocimiento didáctico del contenido* (denominado PCK), este se ha referenciado y citado en miles de artículos que tratan sobre los conocimientos de los docentes. Sin embargo, por su tremenda importancia para el presente trabajo, se considera procedente profundizar en este documento más que con una simple cita.

Para escribir el artículo, el autor realizó en primer lugar una reflexión sobre los requerimientos que se exigían a los profesores en la década de los ochenta, en comparación con los del siglo XIX e incluso con los de las universidades medievales.

Shulman (1986) observó que en una prueba tipo del año 1875 para habilitar a los profesores de Primaria para la docencia en EE. UU., se exigía a los profesores conocimientos amplios sobre

aritmética, cálculo mental, gramática, geografía, historia, álgebra, física, leyes, dibujo, biología, lectura, ortografía, música y canto, dibujo industrial..., con una puntuación total máxima de 1000 puntos para esa prueba. Los conocimientos de pedagogía (entendida como la teoría y los métodos de enseñanza) se valoraban sobre un máximo de 50 puntos sobre esos 1000. Otra prueba de 1881 tenía un reparto similar.

Sin embargo, cien años después, en 1985, los requerimientos habían cambiado sustancialmente. Los elementos de la misma prueba (o al menos la equivalente) incluían los siguientes conceptos: organización en la preparación y presentación de planes instruccionales, evaluación, reconocimiento de diferencias individuales, conciencia cultural, comprensión de la juventud, gestión y políticas educacionales; en ningún lugar se evaluaba el conocimiento de la materia (Shulman, 1986).

Es decir que, siguiendo un movimiento pendular entre extremos, en un siglo se había pasado de exigir casi exclusivamente un pleno dominio de las materias, con un casi total desprecio a la pedagogía, a valorar exclusivamente las capacidades de gestión y pedagogía.

Reflexionando sobre la situación en las universidades medievales, reconocía que en estas los conocimientos de pedagogía y de materia eran parte indistinguible de un único cuerpo de conocimientos y que las pruebas que habilitaban para la obtención del máximo nivel (doctor) se centraban en demostrar la capacidad de enseñar la materia concreta (Shulman, 1986, pp. 5-7).

En esta situación, Shulman planteaba la necesidad de volver al espíritu académico medieval y establecer un nuevo marco teórico de conocimientos para los profesores que diera protagonismo tanto al conocimiento en sí de la materia como al conocimiento de pedagogía, pero atendiendo también a asuntos esenciales como eran conocer cómo se transformaba el conocimiento que un profesor tenía de la materia en contenido específico para la educación o cómo se relacionaban determinadas formulaciones de ese contenido con lo que los estudiantes podían llegar a construir o incluso malinterpretar (Shulman, 1986, p. 6).

Para ello, llevó a cabo un proyecto de investigación centrado en el desarrollo de profesores de educación secundaria de matemáticas, inglés, biología y ciencias sociales, que concluyó con la creación de su marco integrado de conocimientos para los profesores denominado *conocimiento didáctico del contenido* (PCK). Este marco reconocía que ya no era suficiente con que los profesores se limitaran a poseer un profundo *conocimiento de la materia* (CK) que luego debían transmitir a los alumnos, por un lado y, *conocimientos de pedagogía* (PK) por otro, sino que

debían tener un conocimiento suficiente de la intersección y relación entre ambos elementos (PCK), como puede verse en la figura 6. Este PCK debía incluir las formas más efectivas de representar y formular las ideas esenciales de la materia para hacerla comprensible a otros; un conocimiento de los elementos que hacían que el aprendizaje de determinados temas fuera fácil o difícil; los prejuicios o ideas equivocadas más habituales en relación con cada tema central de la materia (Shulman, 1986, pp. 8-10).

Construyendo sobre estas ideas, Mishra y Koehler (2006) presentaron el marco integrado del TPACK, que consistía esencialmente en incluir la tecnología en el modelo de Shulman produciendo así la integración del *conocimiento tecnológico pedagógico del contenido*.

Este marco de conocimientos para el profesor se puede descomponer en el trinomio formado para cada uno de sus elementos agrupados de dos en dos: *conocimiento pedagógico de la tecnología* (TPK); *conocimiento pedagógico del contenido* (PCK); y *conocimiento tecnológico del contenido* (TCK). Los autores concluyeron que los tres elementos esenciales básicos no podían abordarse por separado, sino que, tan sólo al considerar el conocimiento de un profesor como una compleja interacción entre ellos, se podían obtener los tipos de conocimiento flexibles esenciales para integrar exitosamente la utilización de las tecnologías en la enseñanza (Koehler y Mishra, 2009, p. 60).

Con ello, un docente podría comprender cómo la tecnología influye en el proceso de toma de decisiones acerca del contenido y de la pedagogía, mientras que entiende cómo el contenido y la pedagogía influyen el proceso de toma de decisiones sobre los usos y aplicaciones de la tecnología (Guerrero, 2010).

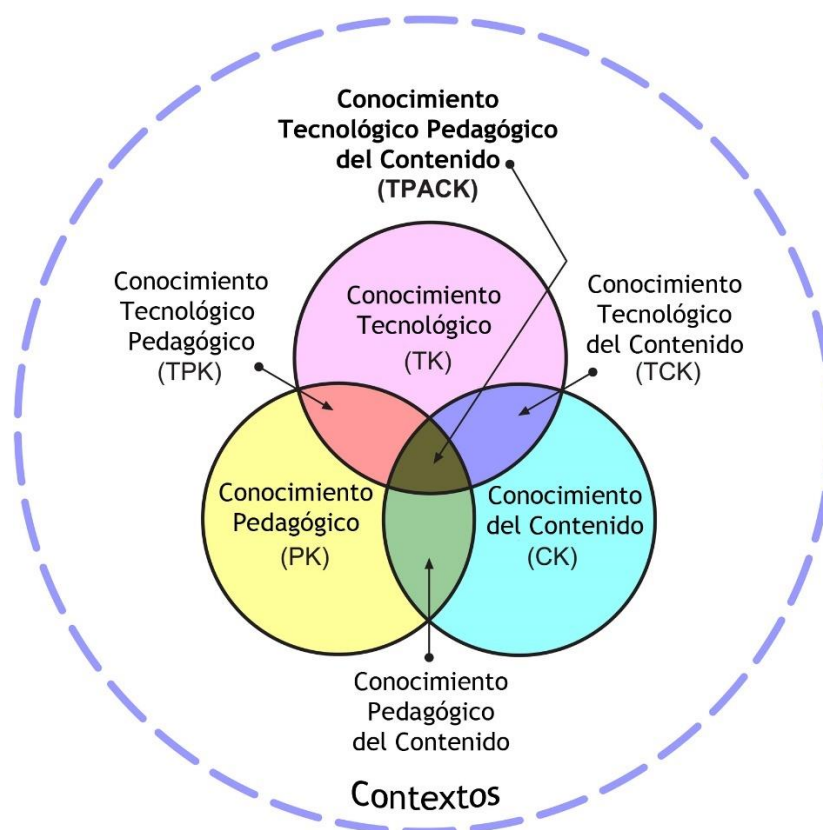


Figura 6. TPACK – Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (www.tpack.org)

Guerrero estudió en profundidad este concepto aplicado a la enseñanza de matemáticas. Consideraba que la tecnología, debidamente implementada, permitía a los docentes y a los alumnos centrarse en la comprensión de conceptos complejos, en lugar de dedicarse a procedimientos o cálculos repetitivos, permitiendo dedicar tiempo a la adquisición de capacidades como la resolución de problemas, el razonamiento y la toma de decisiones (Guerrero, 2010, p. 133).

Con el entendimiento de que el marco TPACK aplicado a las matemáticas desarrollaba una dimensión más allá del uso de herramientas tecnológicas, llevando a un conocimiento que permitiera utilizar unas determinadas tecnologías para facilitar y mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje, estudió en profundidad el área central del diagrama TPACK y propuso cuatro componentes definitorios (como puede verse en la figura 7): *concepción y uso de la tecnología; enseñanza de matemáticas basada en la tecnología; gestión de la clase basada en la tecnología; y amplitud y profundidad de la materia* (Guerrero, 2010, p. 134).

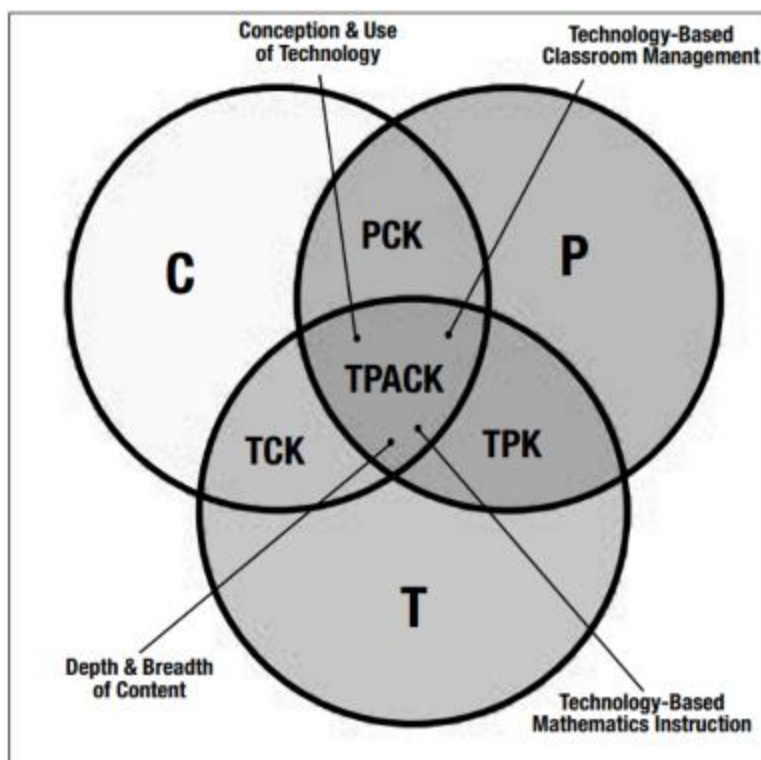


Figura 7. Componentes centrales del TPACK aplicado a las matemáticas (Guerrero, 2010)

Como expone Guerrero (2010), el primer componente, *concepción y uso de las tecnologías*, hace referencia al entendimiento que el docente debe tener de las matemáticas como campo y su creencia acerca de cómo debe enfocarse su enseñanza a través de la tecnología para facilitar su aprendizaje. El profesor debe poder decidir cómo se debe usar (y si se debe usar) la tecnología para atender las necesidades de los estudiantes de una forma pedagógicamente válida. El segundo, *enseñanza de matemáticas basada en tecnologías*, hace referencia al entendimiento que el profesor debe tener de la tecnología como una más de las herramientas disponibles en su repertorio lectivo, a utilizar únicamente cuando es la más indicada para alcanzar los objetivos docentes. Este componente también se refiere a la habilidad que los profesores deben tener para ajustar los usos de la tecnología para atender mejor la diversidad, en términos de habilidad cognitiva, aprecio o motivación que los alumnos muestren. El tercero, *gestión de la clase basada en la tecnología*, hace referencia a las capacidades necesarias para atender todas las dificultades que puedan surgir en clase por el hecho de utilizar tecnología. Aparte de los problemas técnicos que puedan surgir y de la organización física de la clase, también se refiere a cómo mantener un elevado grado de compromiso por parte de los estudiantes una vez que el efecto de novedad se haya diluido, entendiendo que los profesores deben saber cuándo y cómo debe usarse la tecnología para mantener un ambiente de aprendizaje óptimo. El cuarto y último

componente, *amplitud y profundidad de la materia*, hace referencia a la responsabilidad incrementada de tener un conocimiento amplio y profundo de los contenidos por el hecho de que la tecnología en manos de los alumnos es una herramienta potente que puede llevarlos a explorar conceptos matemáticos con una profundidad no habitual para el profesor.

De forma similar a lo que hizo Guerrero en 2010 particularizando el marco TPACK para las matemáticas, Ball, Thames y Phelps en 2008 analizaron a fondo el modelo de Shulman y concluyeron que, al particularizarlo para asignaturas concretas, surgían rasgos característicos únicos que era necesario analizar, definir y comprender a fondo para poder sacarle la máxima utilidad en su aplicación. Ellos en concreto estudiaron el marco PCK aplicado a las matemáticas, obteniendo el *conocimiento matemático para la enseñanza* (MKT). Como puede verse en la figura 8, establecieron seis dominios distintos (conocimiento de la materia común, conocimiento horizonte de la materia, conocimiento de la materia especializada, conocimiento de la materia y los estudiantes, conocimiento de la materia y la enseñanza y, finalmente, conocimiento de la materia y el currículo. Lo organizaron de forma que pudiera compararse con el modelo de Shulman, agrupándolo en dos mitades que eran el *conocimiento específico del contenido* y el *contenido pedagógico del contenido*.

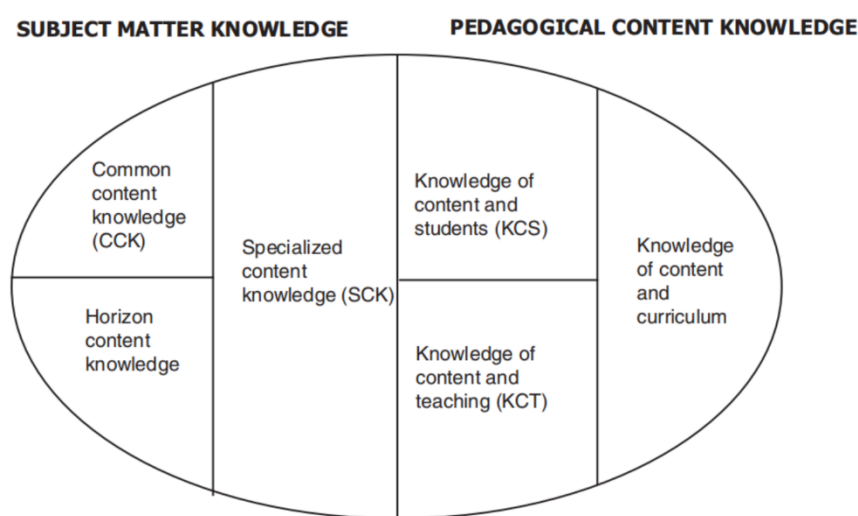


Figura 8. Dominios del conocimiento matemático para la enseñanza MKT (Ball *et al.*, 2008).

La puesta en práctica de este modelo, sin embargo, presentó múltiples dificultades principalmente relacionadas con la complejidad de delimitar los distintos subdominios, elemento consecuente con el origen descriptivo y no prescriptivo de este modelo, al que se llegó desde la observación (Escudero, Flores y Carrillo, 2010).

Para solventar estas dificultades, el grupo de investigación Seminario de Investigación en Didáctica de la Matemática (SIDM) de la Universidad de Huelva, como se explica en Carrillo, Climent, Contreras y Muñoz-Catalán (2013), analizó con detalle el MKT y propuso un nuevo modelo denominado *conocimiento especializado del profesor de matemáticas* (MTSK, del inglés *Mathematics Teacher's Specialized Knowledge*). Este abarcaba diversos campos de conocimiento como eran el contenido específico de la materia relacionado con la docencia de las matemáticas, el específico sobre las distintas estrategias didácticas para los objetivos matemáticos buscados, el que comprende los errores y dificultades más comunes de los estudiantes y, por último, el que relaciona la materia a impartir con otros elementos ya impartidos o por impartir. Sin embargo, es necesario destacar que este modelo nunca se elaboró con la intención de ser un elemento rígido, sino una base de discusión para llevar a cabo futuras investigaciones.

El modelo, para el que desarrollaron seis subdominios, puede observarse en la figura siguiente:

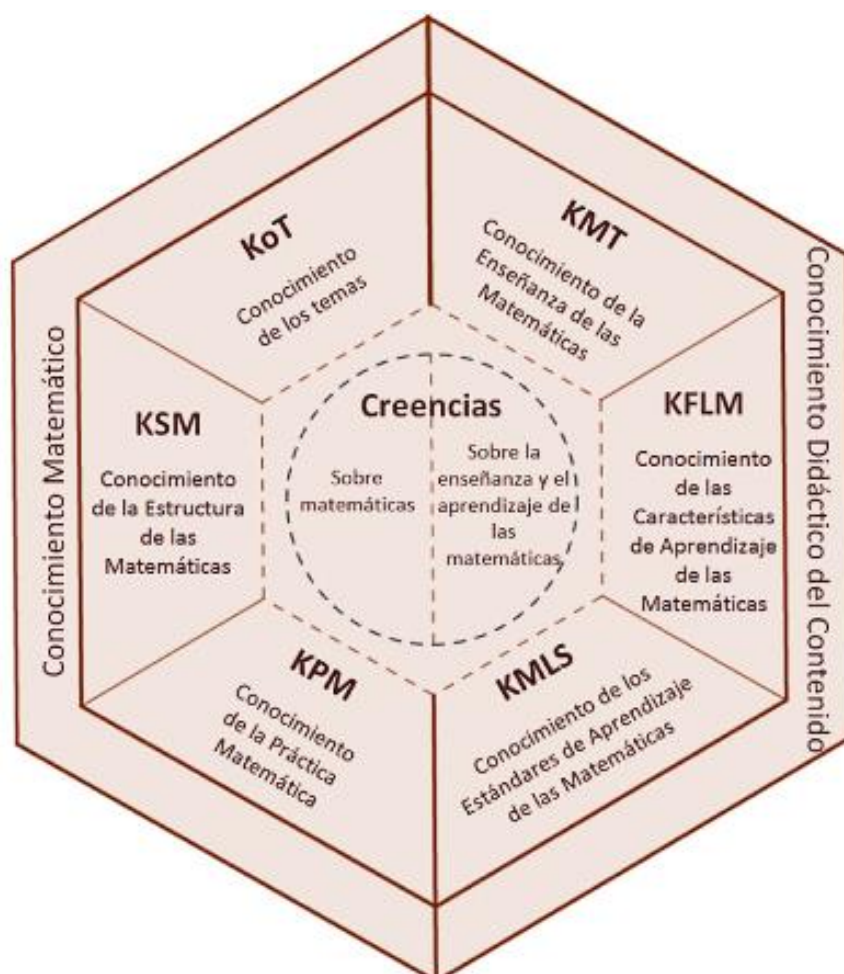


Figura 9. Subdominios del MTSK (Carrillo, 2013, como se cita en Aguilar *et al.*, 2013).

5.2.4. ALFABETISMO DIGITAL: *FITNESS*

En 1999, cuando las TIC comenzaban a estar presentes en casi la totalidad de los entornos académicos y profesionales, empezó a tomar fuerza el concepto de alfabetismo digital, acuñándose el concepto FIT o FITness² (del inglés Fluency in Information Technology) que, en contraposición con la simple habilidad en el uso de dispositivos electrónicos o aplicaciones como gestores de correo electrónico, hojas de cálculo o procesadores de texto, hacía referencia a un conocimiento suficientemente profundo de las TIC como para poder aplicarlas de forma productiva en el trabajo y en el día a día, sabiendo identificar cuál tecnología era la más indicada y cuándo utilizarla para lograr los objetivos buscados, sabiendo adaptarse continuamente a los cambios y avances de las TIC (NRC, 1999). Este estado de *FITness* sólo podría alcanzarse al desarrollar los individuos una combinación de conocimientos profundos sobre los conceptos esenciales de las TIC, de capacidades intelectuales concretas y de habilidades técnicas en el uso de las TIC (NRC, 1999).

Poco después, en 2001, Prensky acuñó los términos *nativo digital* e *inmigrante digital* para distinguir a aquellos que, desde que han nacido, han estado inmersos en un entorno donde los ordenadores, teléfonos, videojuegos, internet y redes sociales están presentes en cada aspecto de su vida (*nativos digitales*), de los que no han nacido en ese entorno y lo han ido interiorizado en mayor o menor medida a lo largo de su vida (*inmigrantes digitales*). Sobre los primeros, se observó que sus patrones de pensamiento y su forma de procesar la información eran fundamentalmente diferentes de las de los últimos. Este era un aspecto especialmente relevante en los entornos escolares y universitarios, donde se vio la necesidad de modificar profundamente las unidades didácticas para adaptarlas a esta nueva realidad.

Desde el punto de vista fisiológico, se consideraba que sus cerebros eran diferentes y esto provocaba una respuesta distinta a los distintos materiales y enfoques didácticos, al ser distintas sus pautas de atención, reflexión y motivación. Se comprobó la necesidad de utilizar como recursos didácticos juegos, videojuegos y medios interactivos, pero no adaptando contenidos existentes otorgándoles una fachada digital, sino creándolos desde cero con esta nueva realidad en mente (Prensky, 2001b).

Sin entrar en consideraciones sobre si 20 años después se ha logrado este objetivo de llevar a cabo una renovación radical de metodologías, recursos y medios didácticos (especialmente en

² FITness hace referencia a un juego de palabras en inglés a partir del acrónimo FIT, que se puede traducir por “estar en forma”.

educación primaria o secundaria), sí se ha observado cómo el hecho de ser nativos digitales, cómodos con el uso simultáneo de diversas redes sociales mientras navegan por internet, ven la televisión y estudian, todo a la vez, no implica *per se* que estas personas comprendan las TIC con suficiente amplitud o profundidad como para utilizarlas con éxito en entornos académicos o profesionales, especialmente en la transición a la universidad (Vlachopoulos, 2016). Por ello, se ha comprobado la necesidad de introducir la alfabetización digital como elemento esencial en las fases de educación primaria y secundaria.

Algunas experiencias llevadas a cabo recientemente, como una llevada a cabo entre 2009 y 2010, en que se trató de introducir en una escuela española un entorno virtual de aprendizaje (Moodle) en la asignatura de matemáticas del segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria, bajo un esquema semipresencial, no han logrado cumplir las expectativas. Han quedado patentes las dificultades de lograr una transformación digital de la dinámica educativa en primaria y secundaria, en parte por la realidad del currículo, los plazos y espacios disponibles, y en parte por la realidad sociocultural de los alumnos (incluyendo a sus familias) (Arellano, 2014).

Para resumir, se puede decir que en la actualidad no es suficiente con conocer las tecnologías ni haber nacido rodeado de ellas, sino que es necesario alcanzar y mantener un estado de alfabetismo digital (*de fluidez digital*), que podría definirse como “el alcance que tiene en las personas el buen uso y aprovechamiento de las tecnologías para adquirir más conocimientos, ser más efectivos y estar mejor conectados en sus tareas del día a día” (Accenture, 2017, p. 10), para poder sacar verdadero provecho de las oportunidades que las TIC ofrecen y superar con éxito los retos que plantean.

En España, desde el año 2012 y con carácter anual, el INTEF, a partir del marco de competencias digitales DigComp de la UE, elabora el Marco Común de Competencia Digital Docente (MCCDD), que busca servir como referencia para diagnosticar y mejorar las competencias digitales de los docentes. Se ha dividido en cinco áreas competenciales estratégicas: Información y alfabetización informacional; comunicación y colaboración; creación de contenidos digitales; seguridad; y resolución de problemas (INTEF, 2017b).

<p>Competencia 1.1. Navegación, búsqueda y filtrado de información, datos y contenidos digitales</p> <p>Competencia 1.2. Evaluación de información, datos y contenidos digitales</p> <p>Competencia 1.3. Almacenamiento y recuperación de información, datos y contenidos digitales</p>	<p>Competencia 2.1. Interacción mediante las tecnologías digitales</p> <p>Competencia 2.2. Compartir información y contenidos digitales</p> <p>Competencia 2.3. Participación ciudadana en línea</p> <p>Competencia 2.4. Colaboración mediante canales digitales</p> <p>Competencia 2.5. Netiqueta</p> <p>Competencia 2.6. Gestión de la identidad digital</p>	<p>Competencia 3.1. Desarrollo de contenidos digitales</p> <p>Competencia 3.2. Integración y reelaboración de contenidos digitales</p> <p>Competencia 3.3. Derechos de autor y licencias</p> <p>Competencia 3.4. Programación</p>
<p>Competencia 4.1. Protección de dispositivos</p> <p>Competencia 4.2. Protección de datos personales e identidad digital</p> <p>Competencia 4.3. Protección de la salud</p> <p>Competencia 4.4. Protección del entorno</p>	<p>Competencia 5.1. Resolución de problemas técnicos</p> <p>Competencia 5.2. Identificación de necesidades y respuestas tecnológicas</p> <p>Competencia 5.3. Innovación y uso de la tecnología digital de forma creativa</p> <p>Competencia 5.4. Identificación de lagunas en la competencia digital</p>	

Figura 10. Subdominios de las cinco áreas de competencia digital de los docentes (INTEF, 2017b).

5.2.5. TECNOLOGÍA EN MATEMÁTICAS: PRESENTE Y FUTURO.

A la hora de considerar la tecnología idónea, es necesario tener en cuenta que la introducción de esta en las clases no implica *per se* una mejora en los procesos de enseñanza y aprendizaje, sino que debe hacerse de forma razonada y estudiada para lograr una mejora significativa. En concreto, algunos autores como Dick y Holebrands (2015), hablan del *uso estratégico de la tecnología* como marco metodológico en el que los profesores y los alumnos no usan la tecnología de forma continua ni arbitraria, sino que utilizan las herramientas tecnológicas como resultado de un proceso razonado de toma de decisiones manteniendo las matemáticas, y no la tecnológica, como el foco central de la instrucción.

Continuando con este concepto, el Consejo Nacional de Profesores de Matemáticas norteamericano publicó en 2015 un documento en el que expresaba su postura al respecto del uso de la tecnología. Adoptaba el concepto del *uso estratégico de la tecnología* como el único aceptable, definiéndolo como el uso de herramientas físicas y digitales por parte de estudiantes y profesores, de una forma racionalmente diseñada y en unos momentos determinados, de modo que las capacidades de estas tecnologías realcen la manera en que estudiantes y educadores aprenden, experimentan, comunican y practican las matemáticas. Añadía que la tecnología

debía ser utilizada de esa manera en todas las clases para reforzar el aprendizaje por parte de todos los estudiantes, de los procedimientos y conceptos matemáticos, incluyendo los que los alumnos eventualmente pudieran utilizar sin la ayuda de la tecnología. Por último, señalaba que los usos estratégicos reforzaban las prácticas de enseñanza efectiva y eran consistentes con la investigación en los procesos de enseñanza y aprendizaje (National Council of Teachers of Mathematics, 2015).

Con este enfoque y, teniendo en cuenta todo lo indicado anteriormente acerca de las competencias objetivo, la elección de unas u otras tecnologías, la forma en que se utilizan en el aula y su encaje con el contenido del currículo, son decisiones complejas que deben tomarse de forma estudiada y razonada, especialmente en un momento en que la oferta de dispositivos y programas parece no tener fin.

Atendiendo a las áreas competenciales del MCCDD, se pueden vislumbrar todos los campos susceptibles de ser ocupados con tecnologías destinadas a la docencia de las matemáticas, algunas evidentemente más transversales y ampliables a otras asignaturas y otras más específicas.

Las tecnologías abarcan tanto *software* como *hardware*, y se pueden catalogar de la siguiente forma:

En primer lugar, el *hardware*: ordenadores, tabletas, pizarras digitales interactivas, proyectores, calculadoras (científicas, gráficas y simbólicas), dispositivos portátiles de cálculo en red...

En segundo lugar, el *software* transversal:

- Navegación, búsqueda y procesamiento de información y almacenamiento de esta. En este campo caben los navegadores de internet (como Chrome, Safari o Firefox), las hojas de cálculo (Excel, LibreOffice, iWork Suite...), las bases de datos (Access, MySQL, DB2...), los procesadores de texto, los gestores de bases de datos...
- Creación de contenidos digitales. Aquí pueden incluirse paquetes Office, iWork o similares, junto con los editores de imágenes, audio y vídeo.
- Interacción, compartición de información y contenidos. Aquí pueden incluirse las redes sociales, los sistemas de interacción y colaboración, los entornos virtuales de aprendizaje -VLE- y los sistemas de gestión del aprendizaje.

Es destacable que algunas de estas plataformas de aprendizaje como Moodle, Claroline, Ganesha o FLE3, integran potentes paquetes que aglutinan todas estas funciones en un único

lugar, proporcionando a los profesores además herramientas que centralizan y facilitan la evaluación.

En tercer lugar, *software* específico:

- Sistemas de Geometría Dinámica (DGS), como GeoGebra, Cabri, Geometer's Sketchpad.
- Sistemas de Álgebra Computacional (CAS), como Maple, Matlab, o Mathematica.
- Estadística y probabilidad, como Excel, Core Math Tools, Fathom.
- Programación y robótica, como Scratch y Python o Blockly y C++.
- Recursos web, como Descartes, Desmos, CK-12, PHET Interactive Simulations o Magahigh.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, es importante remarcar que la integración de estas tecnologías en metodologías pedagógicas adaptadas es un requerimiento esencial para poder obtener los máximos beneficios que ofrecen, incluyendo una potente atención a la diversidad. Se pueden destacar, por su idoneidad, algunas metodologías como Flipped Classroom, Gamificación, Design Thinking, Aprendizaje Basado en Proyectos, Blended Learning o Aprendizaje Cooperativo (Santamaría, 2017).

A continuación, se indican algunas tecnologías innovadoras que se consideran representativas de cara al futuro de la enseñanza, siendo aplicables a las matemáticas. Es necesario recalcar que se consideran innovadoras no porque sean nuevas (todas existen desde hace más de diez años), sino por el papel y la relevancia que pueden adquirir en los próximos diez años:

- MOOC.
- Impresoras 3D.
- Tecnologías analíticas.
- Inteligencia artificial.
- Realidad aumentada y realidad virtual.
- Entornos Virtuales de Aprendizaje con IoT.

En primer lugar, se destacan los MOOC (acrónimo del inglés Massive Open Online Course), que son cursos *online*, gratuitos y abiertos a todo el mundo. Como elementos diferenciadores de estos cursos se destaca el respaldo que tienen por parte de universidades de primer orden tanto internacionales (como Yale, Harvard o MIT) como españolas, las metodologías de enseñanza adaptativa y las plataformas de interacción con foros o redes sociales que estas

ofrecen para reforzar el desarrollo de una comunidad de estudiantes. A modo de ejemplo, a la fecha de la publicación del presente trabajo, la Universidad de Valencia ofrecía los siguientes MOOC:

- Bases Matemáticas: Números y terminología.
- Bases Matemáticas: Álgebra.
- Bases Matemáticas: Derivadas.
- Bases Matemáticas: Integrales.
- Aplicaciones de la Teoría de Grafos a la Vida Real (I).
- Aplicaciones de la Teoría de Grafos a la Vida Real (II).
- Métodos numéricos para matemáticas con Octave.

En segundo lugar, se destacan las impresoras 3D. Con un precio cada vez más reducido (se pueden encontrar en el mercado excelentes dispositivos por menos de 500€) y con la mayor disponibilidad posible de *software* gratuito (como Tinkerpad), esta tecnología ofrece innumerables posibilidades para la docencia de diversos campos de las matemáticas, como son la geometría y el análisis de superficies y volúmenes o la visualización de ecuaciones. Se reproducen a continuación algunos ejemplos de utilización:

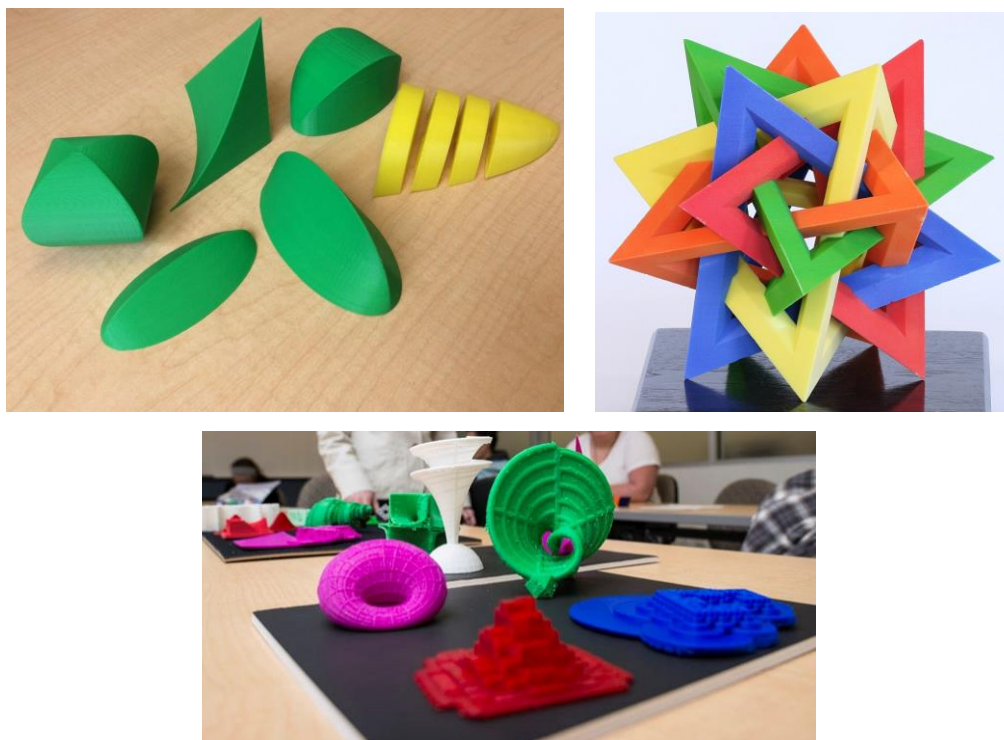


Figura 11. Ejemplos de impresiones de 3D de fórmulas y ecuaciones matemáticas (<https://news.psu.edu>; www.momath.org; www.simplify3d.com).

En tercer lugar, se destacan las tecnologías analíticas, haciendo referencia especialmente a las centradas en la integración y análisis de *big data*, con el objetivo de generar programas de aprendizaje adaptativos y personalizados, así como elaborar estrategias de intervención en apoyo a la atención a la diversidad. La Sociedad Internacional para la Tecnología en la Educación (ISTE) describe la evolución del papel de la tecnología en la educación durante los últimos 10 años como una transición desde aprender a usar la tecnología, hacia usar la tecnología para aprender. Estas tecnologías analíticas, empleadas en las escuelas, permiten integrar cantidades masivas de datos sobre el aprendizaje y sobre los estudiantes, convirtiendo estos datos en información significativa, comprensiva y aplicable a la mejora de la enseñanza. (Freeman *et al.*, 2017).

Un ejemplo de este enfoque de la tecnología *big data* es INTUITEL, un programa financiado por la UE (y participado por sendas universidades españolas), cuyo objetivo es obtener avanzados contenidos de *e-learning* y sistemas de gestión del aprendizaje (LMS), proporcionando un ambiente de aprendizaje adaptativo que se autoconfigura en función de cada estudiante, monitorizando su progreso, combinando estos datos con el conocimiento pedagógico y metodológico existente y, por razonamiento automatizado, pudiera deducir y proponer la tutorización y retroalimentación óptima (Comisión Europea, s.f.).

En cuarto lugar, se recogen las aplicaciones de inteligencia artificial a la enseñanza, especialmente en apoyo de estas tecnologías analíticas de *big data* y en apoyo de la interacción humana a través del lenguaje. Experiencias reales llevadas a cabo con estas tecnologías han permitido personalizar la enseñanza y mejorar la atención de los alumnos (moderando y dirigiendo foros de discusión, modificando sistemas de enseñanza) y apoyar en la atención a la diversidad, permitiendo actuar con mayor impacto en alumnos con trastornos del espectro autista (Freeman *et al.*, 2017).

En quinto lugar, se incluyen los sistemas de realidad aumentada y realidad virtual (AR/VR) aplicados a la enseñanza, integrados dentro de los modelos de aprendizaje experiencial o activo. Con ellos, los alumnos pueden experimentar utilizando los cada vez más numerosos recursos de calidad disponibles (incluso NASA y National Geographic han creado contenido gratuito para ser utilizado en clase), o bien crear sus propios contenidos AR/VR con software como TinkerCAD o Unity. Los alumnos pueden realizar excursiones como parte de las lecciones sin moverse de la clase o visualizar contenidos de las unidades didácticas tales como figuras geométricas 3D, de una forma más profunda y significativa. (Freeman *et al.*, 2017). Como ejemplos, se pueden citar el portal Nearpod.com o la aplicación VR MATH.

Por último, se incluyen las interesantes propuestas consistentes en integrar dispositivos portátiles (tabletas, ordenadores o calculadoras) conectados a internet (o a una intranet dentro del aula) con entornos virtuales de aprendizaje. De esta forma, el profesor, desde su ordenador, puede interactuar en tiempo real con los alumnos a través de los dispositivos de estos, observar sus pantallas de forma centralizada para seguir su progreso y detectar errores, comprobar sus procesos de razonamiento y centralizar y simplificar la evaluación. Un ejemplo de estos sistemas es el TI-Nspire CX Navigator System.

6. CONCLUSIONES

6.1. TECNOLOGÍAS PARA LA EDUCACIÓN: OPORTUNIDADES Y RETOS.

Hace casi veinte años que se acuñó el término de *nativos digitales* para referirse a las personas que habían nacido inmersas en un entorno tecnológico. Se comprobó que estas personas diferían del resto, denominados *inmigrantes digitales*, en sus procesos de pensamiento y en su forma de integrar el aprendizaje, incluso desde el punto de vista fisiológico. Esta diferencia, unida a las posibilidades que progresivamente iba ofreciendo la tecnología, llevó a un movimiento global de adaptación de las unidades didácticas en los centros educativos para responder a esta realidad.

En la actualidad, las tecnologías han penetrado en la sociedad con una profundidad y una amplitud que eran impensables hace diez años. Están presentes en la forma de comunicarse, de entretenerse, de socializar, de informarse, de trabajar y también de aprender. La variedad y la potencia de las tecnologías disponibles ha crecido y lo sigue haciendo de forma exponencial, modificando los hábitos de las personas y la forma de llevar a cabo tareas simples o complejas.

Los avances tecnológicos ofrecen a los docentes y a los centros educativos plataformas virtuales de aprendizaje que permiten a los alumnos acceder a una gran variedad de contenidos interactivos desde cualquier lugar y en cualquier momento, con foros para el aprendizaje colectivo y canales de comunicación en directo o asíncronos entre el estudiante y el profesor o entre el estudiante y sus compañeros.

Estas mismas tecnologías ofrecen unas posibilidades de análisis de datos impensables hace pocos años que facilitan a los docentes evaluar, prácticamente en tiempo real, el grado de avance y la efectividad de la enseñanza particularizados para cada alumno, elemento esencial en la atención a la diversidad en ambos extremos del espectro.

Cursos masivos en línea sobre infinidad de temáticas (MOOC), contenidos didácticos reforzados por realidad aumentada que permiten que los alumnos visiten lugares lejanos o manipulen multitud de objetos tridimensionales de forma virtual sin salir del aula, dispositivos portátiles con altas capacidades de cálculo conectados mediante redes locales entre sí y con el ordenador central del profesor, mesas digitales interactivas o cursos de formación adaptativos que, mediante sistemas de inteligencia artificial, se autoajustan a las necesidades o características de los alumnos, representan sólo una pequeña muestra de las enormes posibilidades que la tecnología ofrece en apoyo de la docencia.

Sin embargo, en este entorno cambiante y de destino incierto que es la cuarta revolución industrial, donde la finalidad de los estudios de la etapa de escolarización como preparación para las futuras carreras y profesiones es igualmente incierta y variable, se ha podido comprobar cómo la tecnología ha irrumpido en las aulas de forma masiva, desordenada y, en muchos casos, sin lograr efectos significativos en el proceso de aprendizaje y enseñanza.

A este fenómeno se ha sumado la circunstancia de que se ha podido comprobar que, por el simple hecho de estar en la segunda década del siglo XXI y pertenecer a ese colectivo de *nativos digitales*, con solventes habilidades en el uso simultáneo de redes sociales, juegos *online* y plataformas de entretenimiento, las personas no tienen un conocimiento suficientemente extenso o profundo de las tecnologías como para seleccionar las más adecuadas y utilizarlas con éxito en ambientes académicos o profesionales, siendo necesario adquirir específicamente estas habilidades en forma de *alfabetismo digital*.

En muchos casos las tecnologías han introducido en las aulas nuevos retos para los profesores y para los estudiantes que, no sólo han tenido que aprender a utilizar esas tecnologías, sino además han debido adquirir destrezas en la resolución de problemas técnicos, en la elección de unos u otros programas o dispositivos e incluso en la propia interpretación de la información procesada y generada por estas tecnologías.

Se ha podido comprobar en los últimos años que estas ineficiencias generadas y esta falta de orden generalizado se han producido en gran parte porque la velocidad a la que ha ocurrido la investigación académica ha sido mucho menor que la velocidad a la que están cambiando las tecnologías, la sociedad y la demanda de las carreras profesionales, por lo que los docentes y demás responsables de la elaboración de las unidades didácticas se han visto obligados a tomar decisiones relevantes sobre el uso de la tecnología casi a ciegas, sin el debido sustento de información técnica, psicológica y pedagógica.

6.2. METODOLOGÍAS ACTIVAS Y MARCOS DE CONOCIMIENTO

Por otra parte, al igual que ocurrió con la tecnología, desde mediados de los años ochenta hubo un movimiento global que invitaba a reflexionar sobre el enfoque que se estaba dando al fenómeno de aprendizaje, con cada vez más académicos e investigadores reclamando un giro hacia el *aprendizaje experiencial* (como lo describió Kolb) dejando atrás las clases magistrales unidireccionales en que el alumno asumía un rol pasivo. Este modelo, de acuerdo con el cual el aprendizaje se produce de forma continuada y a través de experiencias que deben ser facilitadas y evaluadas por el docente, requería un cambio radical en la figura del estudiante, que ahora

debía involucrarse en nuevas experiencias y, reflexionando sobre estas, construir sus propios conceptos para poder tomar decisiones y resolver problemas en el futuro.

La implantación de este marco teórico en las aulas llevó a una mayor definición de las metodologías activas (o aprendizaje activo), caracterizándolas como aquellas en que los estudiantes asumían un papel activo y no pasivo en el aprendizaje, adquiriendo mayor protagonismo el proceso de aprendizaje y el desarrollo de las habilidades de los estudiantes, en lugar del temario y su transmisión, permitiendo a los alumnos reflexionar sobre su propio proceso de aprendizaje. Esto suponía un cambio de enfoque en las unidades didácticas desde el desarrollo del pensamiento convergente hacia el desarrollo de otro divergente, manifestado principalmente en el pensamiento crítico complejo.

Analizando el futuro de Europa, en 2001 el Espacio Europeo para la Educación Superior (EEES) apostó decididamente por estas metodologías activas y el aprendizaje continuado durante toda la vida (*lifelong learning*) como elementos esenciales para afrontar con éxito los retos presentes y futuros asociados con la competitividad y con el uso de nuevas tecnologías.

Sin embargo, las dificultades para introducir las metodologías activas en las escuelas no son en muchos casos fáciles de resolver porque proceden de múltiples ámbitos y pueden concurrir simultáneamente, ya sea porque los alumnos no quieren involucrarse, porque los profesores no cuentan con la formación y con los recursos físicos y de tiempo adecuados, porque la comunidad (directiva, familiar y social) no actúe como ente facilitador o porque no se adapte la evaluación.

Y es precisamente en las TIC donde las metodologías activas han encontrado su mejor aliado, principalmente debido a su flexibilidad, las posibilidades que ofrecen de obtención, integración y análisis de cantidades grandes de datos, las potentes plataformas de comunicación y educación que ofrecen y también por la posibilidad de adaptar los contenidos en función de cada alumno. Se han llevado a cabo diversas iniciativas en aulas de España en los últimos diez años que han permitido comprobar este extremo, reforzando y facilitando la implantación de técnicas como el aprendizaje basado en proyectos, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje colaborativo o la clase invertida.

La redefinición del modelo de aprendizaje aquí expuesta implica de forma intrínseca una modificación del rol del profesor, fenómeno que se estudió más o menos de forma simultánea a la publicación de la teoría experiencial de mediados de los años ochenta. De estos nuevos marcos de conocimiento de los docentes destacó el de Shulman, denominado *conocimiento didáctico del contenido* (PCK), que consideraba que no era suficiente que los docentes tuvieran

conocimientos extensos de la materia y conocimientos extenso de pedagogía, sino que además debían conocer en profundidad su intersección y las interacciones existentes entre ellos.

A partir de ese punto diversos investigadores trabajaron para particularizar el marco a las distintas materias surgiendo así, al aplicarlo a las matemáticas, el *conocimiento matemático para la enseñanza* (MKT) o, más recientemente, en 2013, el *conocimiento especializado del profesor de matemáticas* (MTSK) desarrollado por el grupo de investigación Seminario de Investigación en Didáctica de la Matemática (SIDM) de la Universidad de Huelva.

De forma similar, al particularizarlo para integrar la tecnología, se generó en 2006 el *conocimiento tecnológico pedagógico del contenido* (TPACK). La importancia de este modelo radicaba en que permitía abordar de forma holística y efectiva la utilización de las tecnologías en la enseñanza, evaluando por separado y de forma conjunta el *conocimiento pedagógico de la tecnología* (TPK), el *conocimiento pedagógico del contenido* (PCK) y el *conocimiento tecnológico del contenido* (TCK).

Profundizando aún más en este campo, desde la Universidad de Arizona del Norte de EE. UU. se elaboró en 2010 una particularización del marco TPACK aplicado a la enseñanza de las matemáticas, que recogía el conocimiento que debía tener un profesor de matemáticas para poder integrar la tecnología en la enseñanza de forma efectiva. Uno de los elementos más trascendentes de este marco es que huye de un uso continuado y arbitrario de la tecnología y defiende que esta tecnología es, ni más ni menos, una herramienta más del repertorio del buen docente que debe ser utilizada en el momento y en la forma que sean más pertinentes para facilitar el aprendizaje de los conceptos matemáticos, utilizada exclusivamente cuando sea la herramienta más oportuna para alcanzar los objetivos docentes.

Sin embargo, el impedimento más grande que pueden encontrar estos marcos del conocimiento del profesor para su utilización es que son modelos teóricos que, por muy detallados que sean, quedan lejos de representar un protocolo de actuación como pudiera existir en el ámbito de la medicina.

En este caso, no hay recetas que valgan para todas las circunstancias, pudiendo variar los resultados de forma considerable en una misma clase al ser aplicado por dos docentes distintos. Son demasiados los matices procedentes de la personalidad, los conocimientos técnicos y prácticos sobre pedagogía, materia y tecnologías, las herramientas utilizadas, la forma de representar los contenidos e incluso de la receptividad por parte de los alumnos, como para poder estandarizar el modelo y lograr así una relación unívoca con el resultado obtenido.

6.3. FUTURO Y LÍNEAS DE ACCIÓN

Como se puede ver, muchos de los modelos citados son recientes, con menos de 15 años de antigüedad, por lo que se considera que aún queda mucha investigación por realizar y mucha experimentación práctica en las aulas para poder desarrollar y detallar los modelos en profundidad. Si bien es cierto que actualmente se están llevando a cabo investigaciones sobre este tema, se puede observar cómo cada región, país o incluso Comunidad Autónoma está trabajando de forma independiente e incluso de manera desacompañada.

En un asunto tan trascendente como este, en que se está cuestionando el modelo tradicional de enseñanza, se están introduciendo de forma intensiva en las aulas tecnologías que son rápidamente cambiantes y el papel del docente está en constante revisión, se considera procedente plantear la promoción de una institución central que permita unificar criterios de investigación, integrar los resultados obtenidos en las distintas investigaciones experimentales y crear un canal de comunicación amplio y sólido con investigadores similares de otras regiones geográficas a nivel interno y supranacional.

Este problema no es particular de España y, por ello, es esencial que la inteligencia colectiva global aúne esfuerzos para lograr avanzar a un ritmo mayor que el actual, con mayor eficacia y con mayor eficiencia, disminuyendo el vacío existente entre los avances tecnológicos y los pedagógicos.

Otra consideración importante, observada durante el confinamiento obligatorio en 2020 resultante de la pandemia del virus COVID-19 ha sido el papel nuclear de la tecnología para garantizar la continuidad de la educación en forma de educación a distancia. Se ha podido comprobar cómo los centros educativos han tenido que recurrir a las más variadas posibilidades que la tecnología ofrece, pero siempre vertebradas sobre una conexión a internet, para llevar a cabo su misión educativa.

En este caso, en que mucho se han alabado las grandezas de la tecnología que ha permitido que jóvenes y niños hayan podido cumplir los objetivos docentes gracias a tabletas, plataformas virtuales de enseñanza, contenidos interactivos en la nube y conexiones inalámbricas, también se ha podido vislumbrar el gran talón de Aquiles que tiene este modelo de educación basado en tecnologías que inevitablemente cobrará cada vez más peso cada año que pasa, que es el de la brecha digital.

Es este un asunto esencial que, a nuestro parecer, debería aparecer de forma prioritaria en los retos a atender por parte de los tres estamentos gubernamentales (nacionales, regionales y locales). Al igual que desde hace décadas se ha buscado garantizar que ninguna persona se quedara fuera del sistema educativo, ahora este esfuerzo debe replantearse para incluir las nuevas metodologías educativas que, en el futuro inmediato, seguramente pasen por tener conexión a internet y un dispositivo electrónico desde el que trabajar.

Para finalizar, se han identificado algunas tecnologías que se considera pueden tener un papel relevante en el futuro de la enseñanza en general y de las matemáticas en particular, que son los cursos abiertos masivos en línea MOOC que permiten acceder a cualquier persona y en cualquier momento a contenidos de calidad creados y respaldados por universidades, las impresoras 3D que permiten representar ecuaciones y funciones matemáticas de forma tridimensional y tangible, los sistemas de tecnologías analíticas que permiten integrar cantidades enormes de datos para medir el grado de avance y la efectividad de la enseñanza de forma particularizada a cada alumno, la inteligencia artificial que permite a los sistemas adaptarse de forma automatizada a las necesidades de los alumnos en función de cada contexto particular, la realidad aumentada y realidad virtual que proporcionan a los alumnos experiencias sensoriales tridimensionales en apoyo de la adquisición de conocimientos y habilidades y, finalmente, los Entornos Virtuales de Aprendizaje integrados en una esquema de “internet of things” (IoT) que permiten a los alumnos una mayor flexibilidad en el acceso a los contenidos y a los profesores un mayor control sobre los procesos de aprendizaje de cada alumno. Se considera que las líneas de investigación futuras que incluyan las tecnologías en la enseñanza de matemáticas deberían incidir especialmente sobre cada una de estas tecnologías.

La idea final que subyace a todas las líneas de investigación futuras es que deben ir dirigidas a garantizar que tanto la evolución tecnológica en las aulas como la evolución metodológica de enseñanza sean dirigidas de forma activa hacia el futuro que queremos, en lugar de esperar a que nos adelante o incluso arrolle.

7. REFERENCIAS

- Accenture (2017). *Getting equal: Closing the gender pay gap*. Nueva York: Accenture Publishing. Recuperado de https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-45/accenture-iwd-2017-research-getting-to-equal.pdf
- Aguilar, A.; Carreño, E.; Carrillo, J.; Climent, N.; Contreras, L.; Escudero, D.; Flores, E.; Flores, P.; Montes, M. y Rojas, N. (2013). El conocimiento especializado del profesor de matemáticas MTSK. *Actas del VII CIBEM*. Montevideo (Uruguay): CIBEM.
- Arce, Matías; Conejo, Laura y Muñoz, José María. (2019). *Aprendizaje y enseñanza de las matemáticas*. Madrid; Síntesis.
- Arellano, María Elena (2014). Un entorno virtual de aprendizaje (EVA) para el desarrollo de la materia Matemáticas en segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria: estudio de caso desde la perspectiva del alumnado. *Revista Enseñanza & Teaching*, 32(2), 97-121. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Ball, Deborah; Thames, Mark y Phelps, Geoffrey (2008). Content Knowledge for Teaching: What Makes It Special? *Journal of Teacher Education* 59(5), 389-407. doi: 10.1177/0022487108324554
- Bonwell, Charles y James, A. Eison (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom* (ASHE-ERIC Higher Education Report No. 1). Washington, D.C.: The George Washington University, School of Education and Human Development.
- Caballero, César (2016). Metodologías activas e inteligencias múltiples en el CEIP El Abrojo (Trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/17728/TFG-B.856.pdf>
- Canós, Lourdes y Mauri, Jordi (2005). *Metodologías activas para la docencia y aplicación de las nuevas tecnologías: una experiencia*. Comunicación presentada en el XX Simposio Nacional de la URSI en Gandía, España.
- Carrillo, J.; Climent, N.; Contreras, L. C. y Muñoz-Catalán, M. C. (2013). Determining Specialized Knowledge for Mathematics Teaching. *Actas del CERME-8*. Antalya (Turquía): ERME.
- Collins, Allan y Halverson, Richard (2009). *Rethinking Education in the Age of Technology: The Digital Revolution and the Schools*. Nueva York: Teachers College Press.

- Comisión Europea (2013). *Apertura de la educación: Docencia y aprendizaje innovadores para todos a través de nuevas tecnologías y recursos educativos abiertos*. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0654>
- Comisión Europea (s.f.). *Intelligent Tutoring Interface for Technology Enhanced Learning*. Recuperado de <https://cordis.europa.eu/project/id/318496>
- Drijvers, Paul; Monaghan, John; Thomas, Mike y Trouche, Luc (2015). *Use of Technology in Secondary Mathematics. Final Report for the International Baccalaureate*. Ginebra: IBO. Recuperado de <https://www.ibo.org/globalassets/publications/ib-research/technologyindpmathematicsfinalreport.pdf>
- Dick, T. P., y Hollebrands, K. F. (2011). *Focus in high school mathematics: Technology to support reasoning and sense making*. Reston: NCTM.
- Domínguez León, José y Domínguez Hacha, José (2018). Ciudades inteligentes, sostenibles, colaborativas y problemas emergentes en seguridad desde la prospectiva. En J. Domínguez León y J. Domínguez Hacha (Eds.), *Ciudades inteligentes, sostenibles, colaborativas y problemas emergentes en seguridad desde la prospectiva* (pp. 13-58). Sevilla: Ayuntamiento de Fuentes de Andalucía.
- Escudero, Dinazar; Flores, Eric y Carrillo, José (2012). El conocimiento especializado del profesor de matemáticas. *Memoria de la XV Escuela de Invierno en Matemática Educativa*. México: CINVESTAV.
- Educalab (s.f.). *MENTEP. Mentoring Technology-Enhanced Pedagogy*. Recuperado de <http://mentep.educalab.es/acerca-de/>
- European Schoolnet (s.f.). *Future Classroom Lab - Courses and More*. Recuperado de <http://www.eun.org/professional-development/future-classroom-lab>
- Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) (2001). *Declaración de Praga*. Boloña: Espacio Europeo de Educación Superior. Recuperado de https://www2.uned.es/fac-poli/documentos_de_trabajo_c_politica/DECLARACIONES/DECLARACION%20PRAGA.pdf
- Ferguson, R.; Brasher, A.; Clow, D.; Cooper, A.; Hillaire, G.; Mittelmeier, J.; Rienties, B., Ullmann, T. y Vuorikari, R. (2016). *Research Evidence on the Use of Learning Analytics - Implications for Education Policy*. Virginia: Joint Research Centre Science for Policy Report. doi:10.2791/955210

- Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (FESP) (2018). *Informe elaborado por la federación española de sociedades de profesores de matemáticas sobre la utilización de las calculadoras en las pruebas de evaluación para el acceso a la universidad*. España: Servicio de publicación de la Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas.
- Freeman, A.; Adams Becker, S.; Cummins, M., Davis, A. y Hall Giesinger, C. (2017). *NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K–12 Edition*. Austin: The New Media Consortium.
- García-Peñalvo, F. J. (2011). La universidad de la próxima década: la universidad digital. En C. Suárez Guerrero, F. J. García Peñalvo (Eds.), *Universidad y desarrollo social de la web* (pp. 181-197). Washington DC: Editandum.
- García García, Alba (2015). *Respuesta educativa a la diversidad: metodologías activas* (Trabajo de fin de grado). Universidad del País Vasco, Bilbao. Recuperado de https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/34831/TFG_Garc%c3%ada_%2cAlba.pdf
- García García, Estela (2018). *Metodologías activas inclusivas* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32353/TFG-G3125.pdf>
- García Marín, Noelia (2017). *Inteligencias Múltiples, metodologías activas y VisibleThinking como herramientas inclusivas: una experiencia innovadora en el aula* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/e725/98ed4820681508347bed3e2ec6f02680c1d3.pdf>
- Gardner, Howard (abril, 2003). *Multiple Intelligences after twenty years*. Comunicación presentada en el encuentro anual de la American Educational Research Association, Chicago, EE. UU. Congreso organizado por la AERA.
- Guerrero, Shannon (2010). Technological Pedagogical Content Knowledge in the Mathematics Classroom. *Journal of Digital Learning in Teacher Education* 26(4), 132-139.
- Iglesias, Berta; Madrid, Lucía; Ramos, Amparo; Robles, Concepción; y Serrano, Alfredo (2013). Metodologías innovadoras e inclusivas en educación secundaria: los grupos interactivos y la asamblea de aula. *Revista de Tendencias Pedagógicas*, 22, 111-126.
- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF) (6 de abril de 2017a). *El Aula del Futuro del CPR de Zafra, un modelo inspirador para los*

docentes extremeños. Recuperado de <http://fcl.intef.es/el-aula-del-futuro-del-cpr-de-zafra-un-modelo-inspirador-para-los-docentes-extremenos/>

INTEF (2017b). *Marco Común de Competencia Digital Docente. Septiembre 2017*. Recuperado de https://aprende.intef.es/sites/default/files/2018-05/2017_1020_Marco-Com%20de-Competencia-Digital-Docente.pdf

Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF) (s.f.). *Samsung Smart School*. Recuperado de <https://intef.es/tecnologia-educativa/samsung-smart-school/>

Koehler, Matthew J. y Mishra, Punya (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70.

Kolb, David (1984). *Experiential Learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Labrador, M. J. y Andreu, M. A. (2008). *Metodologías Activas. Grupo de innovación en metodologías activas (GIMA)*. Valencia: Editorial UPV.

Lázaro, Paula (2017). Innovaciones Metodológicas para la Sociedad Digital: Aprendizaje Basado en Proyectos, Aprendizaje Colaborativo, Flipped Classroom e Inteligencias Múltiples. *Revista de Tendencias Pedagógicas*, 30, 339-354.

Leneway, Roberts (2014). *Transforming K-12 Classrooms with Digital Technology*. Recuperado de https://www.academia.edu/11710720/Transforming_K-12_Classrooms_with_Digital_Technology

Lledó, Asunción; Lorenzo, Gonzalo; Arráez, Graciela; Lorenzo, Alejandro; Gonzálvez, Carolina; Gómez, Marcos; Leal, María; Sanmartín, Ricardo y Vicent, María (2017). Las TIC al servicio de metodología activas: nuevos escenarios de aprendizaje en Educación Superior. *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria*. ISBN: 978-84-697-6536-4

Lozano, Roser (12 de enero de 2011). De las TIC a las TAC: tecnologías del aprendizaje y el conocimiento. *Anuario ThinkEPI*, 5, 45-47. Recuperado de: www.scipedia.com/public/Lozano_2011a

Luelmo del Castillo, M. J. (2018). Origen de desarrollo de las metodologías activas dentro del sistema educativo español. *Revista Encuentro*, 27, 4-21. (ISSN 1989-0796).

- Martí, José; Heydrich, Mayra; Rojas, Marcia y Hernández, Annia (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 11-21.
- Matzumura J.; Gutiérrez Crespo H.; Pastor-García C.; Zamudio Eslava L. y Ruiz-Arias R. (2018). Metodología activa y estilos de aprendizaje en el proceso de enseñanza en el curso de metodología de la investigación de una facultad de ciencias de la salud. *An Fac med.* 2018, 79(4), 293-300. doi: 10.15381/anales.v79i4.15632
- MEFP (Ministerio de Educación y Formación Profesional) (s.f.). Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología. Recuperado de <https://www.educacionyfp.gob.es/educacion/mc/lomce/el-curriculo/curriculo-primaria-eso-bachillerato/competencias-clave/ciencias.html>
- Mishra, Punya y Koehler, Matthew J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A new framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Mosquera Gende, Ingrid (26 de junio de 2018a). *Humanidades, superando el pragmatismo de la era tecnológica: de STEM a STEAM*. Recuperado de <https://www.unir.net/humanidades/revista/noticias/humanidades-superando-el-pragmatismo-de-la-era-tecnologica-de-stem-a-steam/549203626616/>
- Mosquera Gende, Ingrid (16 de noviembre de 2018b). *¿Qué es un Makerspace educativo? Construye un espacio para la creatividad de tus alumnos*. Recuperado de <https://www.unir.net/educacion/revista/noticias/que-es-un-makerspace-educativo-construye-un-espacio-para-la-creatividad-de-tus-alumnos/549203658312/>
- NCTM (National Council of Teachers of Mathematics) (2015). *Strategic Use of Technology in Teaching and Learning Mathematics*. Recuperado de https://www.nctm.org/uploadedFiles/Standards_and_Positions/Position_Statements/Strategic%20Use%20of%20Technology%20July%202015.pdf
- Newby, T.; Stepich, D.; Lehman J. y Russel, J. (2000). *Instructional technology for teaching and learning*. Nueva Jersey: Prentice Hall
- NRC (National Research Council) (1999). *Being Fluent with Information Technology*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/6482

- Passanisi, J. y Peters, S. (28 de agosto de 2012). *Being a Digital Native Isn't Enough*. Recuperado de <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/being-a-digital-native-isnt-enough/>
- Prensky, Mark (2001a). Digital Natives, Digital Immigrants. *Revista On The Horizon*, 9(5). Lincoln: NCB University Press.
- Prensky, Mark (2001b). Do They really Think Differently?. *Revista On The Horizon*, 9(5). Lincoln: NCB University Press.
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Publicado en BOE n.º 3, de 3 de enero de 2015, pp. 169-546. Jefatura del Estado.
- Romero, Y. E. (2012). Las metodologías activas influyen en el desarrollo de las inteligencias múltiples (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador. Recuperada de http://192.188.51.77/bitstream/123456789/3257/1/46354_1.pdf
- Sancho, Teresa y Borges, Federico (2011). El aprendizaje en un entorno virtual y su protagonista, el estudiante virtual. En B. Gros (ed.): *Evolución y reto de la educación virtual. Construyendo el e-learning del siglo XXI* (pp. 27-49). Barcelona: UOC.
- Sancho Gil, J. M. (2008). De TIC a TAC, el difícil tránsito de una vocal. *Revista Investigación en la Escuela*, 64, 19-30.
- Santamaría, Elena (2017). *La integración de la tecnología en el aula de matemáticas de secundaria: obstáculos y oportunidades* (Trabajo de fin de máster). Universidad de Valladolid, Valladolid. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/26137>
- Silva, Juan y Maturana, Daniela (2017). Una propuesta de modelo para introducir metodologías activas en educación superior. *Revista Innovación Educativa*, 17(73), 117-131.
- Salinas, Jesús (2004). *Cambios metodológicos con las TIC: estrategias didácticas y entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje*. Recuperado de <http://www.redined.mec.es/oai/index.php?registro=01420063000117>.
- Schwab, Klaus (2015). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. Recuperado de <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>

Shulman, Lee S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.

SNOLA (s.f.). *Spanish Network of Learning Analytics*. Recuperado de <https://snola.es/>

UNESCO (2002). *Information and Communication Technologies in Teacher Education*. Paris: Editorial UNESCO.

Vlachopoulos, Dimitrios (2016). *Being a «Digital Native» is not enough: A case study of the students' digital profile at the European University Cyprus*. doi:10.12681/icodl.718

Zbiek, R. M., y Hollebrands, K. (2008). *A research-informed view of the process of incorporating mathematics technology into classroom practice by inservice and prospective teachers*. Charlotte: Information Age Publishing.