



Education in the Knowledge Society

journal homepage <http://revistas.usal.es/index.php/eks/>

Ediciones Universidad
Salamanca



Applying the Principles of the Cognitive Theory of Multimedia Learning to the Design of Learning Situations and Training Scenarios: Systematic Literature Review

Aplicación de los principios de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia al diseño de situaciones de aprendizaje y escenarios de formación: revisión sistemática de literatura

Viviana Betancur-Chicué^{a*}, Ana García-Valcárcel Muñoz-Repiso^b

^a Grupo de investigación: Innovación y Educación Digital (EduDig), Facultad de Educación, Universidad de Salamanca, Salamanca, España & Universidad de la Salle, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0001-6347-7269>

vbetancur21@usal.es

^b Grupo de investigación: Innovación y Educación Digital (EduDig), Facultad de Educación, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

<https://orcid.org/0000-0003-0463-0192>

anagv@usal.es

ARTICLE INFO

Palabras clave

teoría cognitiva, aprendizaje multimedia, diseño instruccional, revisión sistemática, situaciones de aprendizaje

Keywords

cognitive theory, multimedia learning, instructional design, systematic review, learning scenarios

RESUMEN

La teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (TCAM) ha impulsado el desarrollo de múltiples estudios en torno a cómo diseñar materiales y escenarios que logren un verdadero aprendizaje. Teniendo en cuenta estas características, el artículo realiza una revisión de la literatura para identificar las áreas de conocimiento en las que se vienen realizando estudios basados en la TCAM, así como los principales hallazgos a los que han llegado. Para esto, se utiliza una metodología de revisión sistemática de la literatura basada en el estudio de artículos de investigación entre 2018 y 2021 seleccionados a través de Scopus y Web of Science. Se concluye que las áreas donde más se ha explorado el uso de la TCAM ha sido la enseñanza de idiomas (inglés y mandarín), la medicina (combina especialidades médicas y enfermería), la ingeniería (civil, de sistemas, eléctrica) y la geografía. Entre los principales hallazgos se identifican los principios más utilizados, como el de redundancia, señalización y coherencia; se valida la importancia de aplicar los principios de la TCAM en el diseño de materiales y situaciones de aprendizaje para lograr efectos asociados a la reducción de la carga cognitiva. Los estudios resaltan la importancia de su manejo por parte de docentes y diseñadores instruccionales, la relevancia de considerar su aplicación en el diseño de videos educativos y la necesidad de tener en cuenta las condiciones de los estudiantes a los que se dirige la formación.

ABSTRACT

The cognitive theory of multimedia learning (TCAM) has promoted the development of multiple studies on designing materials and scenarios that achieve true learning. Taking these characteristics, the article reviews the literature to identify the areas of knowledge in which studies based on TCAM are being carried out and the main findings they have reached. For this, a systematic literature review methodology is used based on the study of research articles between 2018 and 2021 selected through Scopus and Web of Science. It is concluded that the areas where the use of TCAM has been most explored are language teaching (English and Mandarin), medicine (combines medical and nursing specialties), engineering (civil, systems, electrical), and geography. Among the main findings, it is identified that the principles most widely used are redundancy, signaling, and coherence; the importance of applying TCAM principles in designing learning materials or strategies to achieve effects associated with the reduction of cognitive load is validated. Studies highlight the importance of its management by teachers and instructional designers, the relevance of considering its application in the design of educational videos, and the need to consider the conditions of the students to whom the training is directed.

(*) Autor de correspondencia / Corresponding author

Introducción

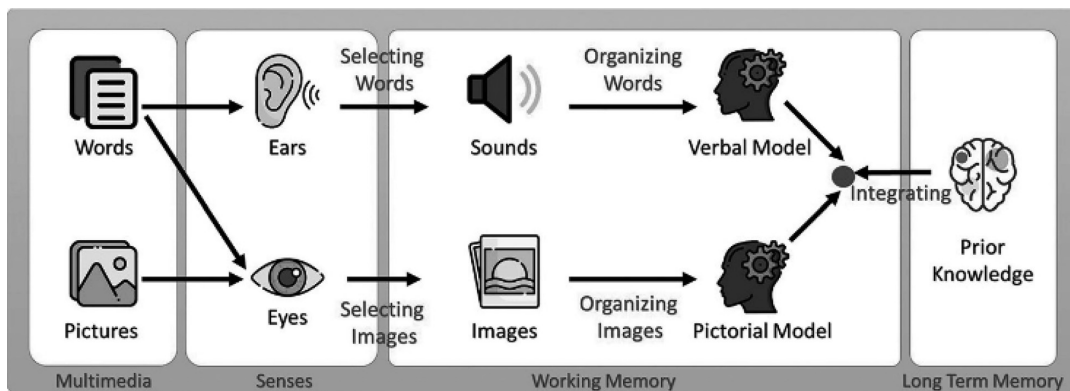
El artículo se fundamenta en los aportes de Mayer (2011) y su postura sobre el aprendizaje entendido como el "cambio en el conocimiento del alumno atribuible a la experiencia" (Mahajan et al., 2020, p. 1). Esta postura da lugar a la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (en adelante TCAM), la cual se basa en tres supuestos clave: "1) Hay dos canales separados (auditivo y visual) para procesar la información; la información verbal y visual percibida se generaliza y se combina adecuadamente en la memoria de trabajo. 2) Los seres humanos solo pueden procesar una cantidad finita de información en un canal a la vez; 3) La nueva información visual o verbal se integra con el conocimiento previo en la memoria a largo plazo" (Berardi, 2021, p. 11).

Los aportes teóricos de Mayer sostienen que el proceso de aprendizaje multimedia se logra cuando ningún canal (ni el visual, ni el auditivo) está sobrecargado con demandas de procesamiento esenciales, considerando que "la memoria de trabajo tiene una capacidad de almacenamiento limitada y, por lo tanto, una capacidad de procesamiento limitada" (Kamal, 2019, p. 71). Para favorecer esto, la teoría establece una serie de principios fundamentales probados por Mayer y su equipo de investigación, los cuales afirman que las personas aprenden mejor cuando: se utilizan palabras e imágenes y no sólo palabras (*principio Multimedia*); las palabras y las imágenes se presentan cerca y no lejos unas de otras (*principio de Contigüidad Espacial*); las palabras y las imágenes se presentan simultáneamente en lugar de sucesivamente (*principio de Contigüidad temporal*); se excluyen palabras, imágenes y sonidos extraños (*principio de Coherencia*); se usan gráficos y narraciones, en lugar de animación y texto en pantalla (*principio de Modalidad*); se presentan gráficos y narración, en lugar de gráficos, narración y texto en pantalla (*principio de Redundancia*) (Berardi, 2021).

En este mismo sentido, Lotero (2012) desarrolla un estado del arte en el que sintetiza la integración de la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) y la TCAM, cuya premisa clave es que "los aprendices tienen una muy limitada capacidad de memoria de trabajo cuando deben enfrentarse con nueva información" (p. 77), esto se traduce en que la memoria de trabajo se beneficia cuando se presenta información que utiliza los dos canales (auditivo y visual) y cuando esta información logra establecer conexión con lo que previamente se encuentra almacenado en la memoria de largo plazo (Clark & Mayer, 2016).

Bajo esta perspectiva, la TCAM establece sus bases en el funcionamiento del cerebro, de ahí la necesidad de entender la arquitectura cognitiva humana. Tufan (2021) esquematiza esta arquitectura (Figura 1), en la que se explica cómo la información del exterior ingresa a través de la memoria sensorial (la audición y la visión), de allí es procesada por una memoria de trabajo que ubica la nueva información en la memoria de largo plazo, o la olvida si no se establece una conexión clara con los esquemas cognitivos existentes:

Figura 1. Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Clark y Mayer



Fuente: Tufan, 2021, p. 59.

Un elemento muy importante para precisar, según Raviolo (2019), es que la comprensión profunda o lo que también puede denominarse aprendizaje, "ocurre cuando el aprendiz puede construir conexiones significativas entre las representaciones verbales y pictóricas". En este sentido, el autor afirma que "el esfuerzo cognitivo de integrar representaciones verbales y pictóricas, de darles sentido a la luz del conocimiento previo, produce aprendizajes más profundos, que van más allá del recuerdo y reconocimiento, y permiten su aplicación o transferencias a otras situaciones o a la resolución de problemas" (Raviolo, 2019, p. 5).

En este sentido, Clark y Mayer (2016) describen tres tipos de demanda cognitiva que puede generar un material de aprendizaje en el estudiante:

- Procesamiento extraño: asociado a todos aquellos elementos que no tienen relevancia directa con lo que se quiere enseñar. Por ejemplo, el uso de textos, audios o imágenes superfluas.
- Procesamiento esencial: asociado al contenido y material específico que se desea enseñar. Por ejemplo, aquí ocurre típicamente que el contenido es tan complejo que tiende a exceder la capacidad mental del estudiante, por lo que será fundamental fragmentar o segmentar el conocimiento y utilizar pre-entrenamientos de conceptos separados, para lograr una posterior integración.
- Procesamiento generativo: asociado a la capacidad de comprensión profunda del contenido, donde el estudiante da sentido a lo aprendido. En este tipo de demanda, la tendencia es que el estudiante no encuentre sentido en la nueva información y, por tanto, carezca de motivación. Para paliar este problema, las soluciones que se han implementado están relacionadas con la integración de un componente práctico.

En suma, para que una lección de e-learning logre un aprendizaje efectivo desde la visión de la TCAM, Clark y Mayer (2016) establecen cuatro procesos que debe cumplir el estudiante:

- Selección de la información importante en la lección. Una práctica muy común es resaltar, poner un color o señalar secciones específicas que necesiten sean recordadas o en las que preste mayor atención el estudiante.
- Gestión de la capacidad limitada en la memoria de trabajo para permitir el ensayo o práctica necesaria para el aprendizaje. En este componente es donde se afirma que menos es más, ya que “se obtienen mejores resultados de aprendizaje cuando los materiales minimizan las imágenes irrelevantes o complejas, omiten la música de fondo y sonidos ambientales, y usan un texto breve” (p. 41).
- Integración de información sensorial (auditiva y visual) en la memoria de trabajo con el conocimiento existente en la memoria a largo plazo por medio de la práctica en la memoria de trabajo. En este componente se ha identificado que los materiales que presentan palabras e imágenes juntas, en lugar de separadas, facilitan más su comprensión por parte del estudiante; así mismo, los materiales que incluyen ejercicios de práctica y ejemplos resueltos estimulan la integración de los nuevos conocimientos y los conocimientos previos.
- Recuperación de nuevos conocimientos y habilidades de la memoria a largo plazo en la memoria de trabajo cuando se necesite más adelante. Para este componente se ha identificado que los materiales de aprendizaje deben incorporar el contexto del trabajo, profesional o cultural del aprendiz en los ejemplos y ejercicios prácticos para que el nuevo conocimiento se almacene en la memoria de largo plazo y logre tener buenos ganchos de recuperación.

Es aquí donde tiene lugar el aporte central que hace la TCAM al campo de la educación, y es que cuando los recursos educativos digitales son diseñados a partir de la comprensión de cómo el ser humano identifica, organiza e integra la información, lograrán una efectiva combinación de palabras e imágenes que logren aprendizajes eficaces y maximicen la capacidad limitada de la memoria de trabajo, al tiempo que permitirán reducir el riesgo de generar una sobrecarga cognitiva en los estudiantes (Noyes et al., 2020).

En general, se ha demostrado, a través de revisiones como la realizada por Noetel et al. (2022), la importancia de mantener el uso de los principios de la TCAM en el diseño de materiales de aprendizaje, ya que se cuenta con evidencia sólida de que “las intervenciones que aprovecharon nuestros dos canales de procesamiento de información (visual y auditivo) mejoraron el aprendizaje (p. ej., subtítular vídeos en un segundo idioma; efecto de modalidad)” (p. 446).

Al considerar el amplio campo de estudio de la TCAM y reconocer su aplicación en múltiples áreas de conocimiento, el presente artículo busca describir el estado actual de la investigación, los campos del saber en los que ha cobrado impacto y las nuevas necesidades de estudio que se han identificado desde su aplicación. Para lograr este objetivo, se desarrolla una revisión sistemática de la literatura, llevando a cabo una estrategia que ha sido definida como “*investigaciones científicas en las que la unidad de análisis son los estudios originales primarios, a partir de los cuales se pretende contestar a una pregunta de investigación claramente formulada mediante un proceso sistemático y explícito*” (Ferreira et al., 2011, p. 1). En síntesis, el artículo pretende analizar y sintetizar las investigaciones en el campo de la TCAM a partir de una serie de preguntas delimitadoras.

Método

Se utiliza una metodología de revisión sistemática de la literatura a partir de un análisis de contenido de artículos disponibles en las bases de datos Scopus y Web of Science, para la cual se crea un protocolo en la herramienta *Parsifal* versión 2021, lo que permite documentar el proceso de revisión siguiendo las fases descritas por García-Peñalvo (2022), que incluyen el proceso de planificación, conducción y reporte. Se parte de la formulación de las respectivas preguntas de investigación, se establecen las cadenas de búsqueda, palabras clave y sinónimos, se seleccionan las fuentes, así como los criterios de inclusión y exclusión. La herramienta permite la construcción de listas de verificación para evaluar la calidad de los documentos, así como formularios para extraer los datos que se requieran de los artículos seleccionados. De esta manera, en *Parsifal* se configuran y gestionan los pasos necesarios para responder a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿En qué campos o áreas de conocimiento se está aplicando actualmente la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia?
- ¿Qué avances se presentan en la aplicación de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia en el diseño de estrategias de formación?
- A continuación, se describen las cuatro fases establecidas en el protocolo de la revisión:

Fase 1. Estrategia de búsqueda

Se utilizaron como palabras clave y ecuación de búsqueda a través de Scopus y Web of Science: TS=("Cognitive theory of multimedia learning" OR "principles of multimedia learning"). De igual manera, se estableció como ventana de tiempo investigaciones entre 2018 y 2022 (considerando la actualidad del tema de estudio), de tipo artículo o revisión (para concentrar la revisión en resultados de investigación), en español o inglés (al ser los idiomas de manejo de las revisoras y, particularmente, el inglés, al ser el idioma con mayor producción en el campo).

Fase 2. Criterios de inclusión y exclusión

Estos criterios de inclusión fueron utilizados para realizar una primera delimitación de los artículos que arrojó la búsqueda. Su aplicación se logra a partir de la lectura de título, palabras clave y resumen. Los criterios de inclusión son los siguientes:

- ✓ La investigación se desarrolla en el ámbito de la formación universitaria.
- ✓ La investigación busca validar un modelo, solución, estrategia o método basado en la aplicación de la TCAM.
- ✓ Es revisión sistemática de la información en el área del TCAM.

Como criterios de exclusión se utilizaron:

- ✓ No se encuentra acceso libre al documento completo (se valida en Google Académico y en las bases de datos de la Universidad donde se realiza la búsqueda).
- ✓ La investigación no busca validar un modelo, solución, estrategia o método basado en la TCAM.
- ✓ La investigación no cuenta con un diseño metodológico (estructura, muestra y alcance) que respalde sus resultados.

Fase 3. Evaluación de la calidad de los estudios seleccionados

Se establecieron una serie de preguntas para validar la calidad de los estudios durante el proceso de lectura de estos, seleccionando solo aquellos que cuentan con una rigurosidad metodológica y realizan un aporte sólido al estudio de la TCAM. La escala de valoración para estos criterios fue de Sí (1 punto), Parcialmente (0.5 puntos)

y No (0 puntos), de esta manera cada artículo evaluado debía recibir una puntuación mínima de 5/7 para ser seleccionado. Los criterios utilizados fueron:

- 1) ¿El estudio cuenta con un marco teórico sólido?
- 2) ¿La investigación está publicada en sitios que requieren revisión por pares (arbitraje)?
- 3) ¿La investigación utiliza bibliografía relevante y actual?
- 4) ¿La investigación busca validar un modelo, solución, estrategia o método basado en la TCAM?
- 5) ¿La metodología de la investigación es sólida (muestra significativa y diseño coherente) y replicable en otros contextos (validada)?
- 6) ¿La investigación desarrolla una discusión conceptual y provee resultados claros sobre los aportes, avances o limitaciones en el ámbito de la TCAM?

Fase 4. Extracción de datos

En este momento se desarrolló una lectura completa de los artículos seleccionados, y a través de la aplicación Parsifal, se sistematizan los siguientes componentes: Autores, Título, Año publicación, Revista, Región, Temáticas centrales, Aporte central, Área del conocimiento de la aplicación, Tipo de estrategia de formación, Comentarios y observaciones, Referencias teóricas clave, y, Cantidad de citas. Además, se realiza una síntesis de cada artículo, y se realiza un análisis de contenido para responder a las preguntas orientadoras de la revisión.

Resultados

Resultados derivados de la fase 1

De un total de 168 artículos seleccionados a través de Web of Science y Scopus, con fecha de toma de muestra del 15 de noviembre de 2021, se seleccionaron 43 artículos de los cuales se realizó la respectiva extracción de datos. El proceso de filtrado y selección de los artículos se describe en la Figura 2 a partir del flujo de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*).

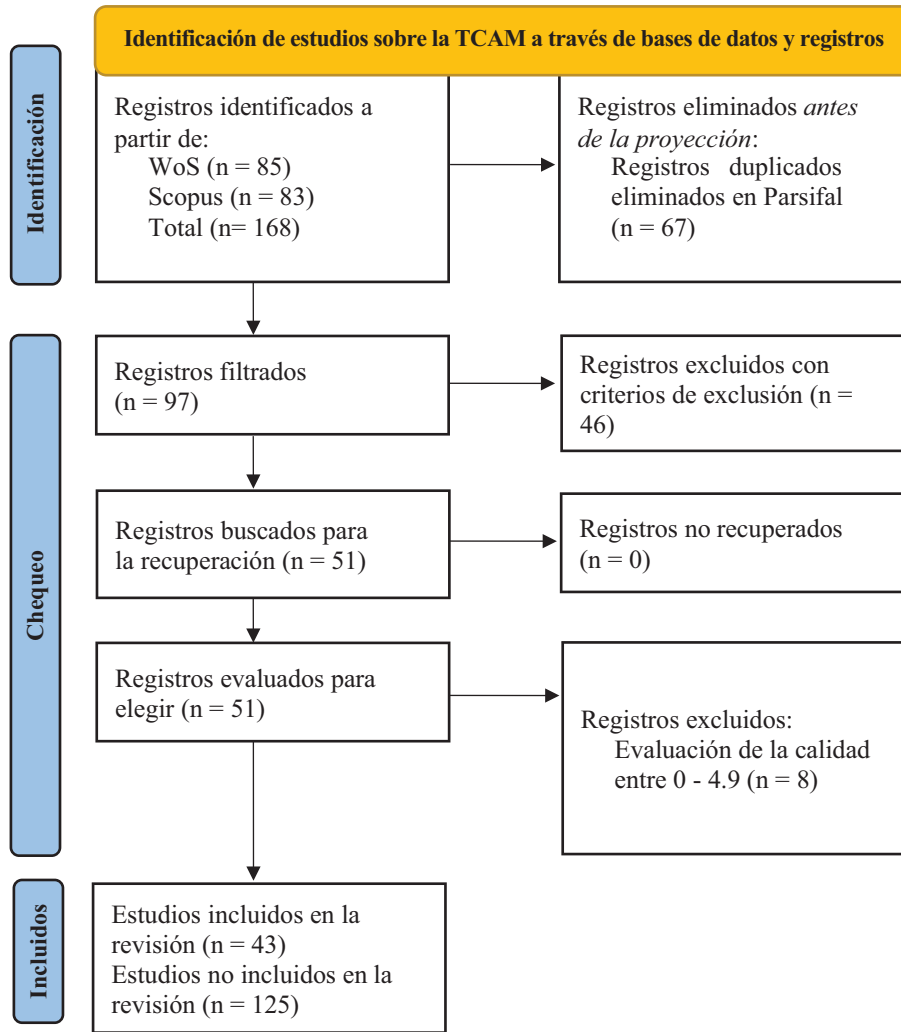
Resultados derivados de la fase 2

Antes de eliminar duplicados y de aplicar criterios de selección y de calidad, el análisis bibliométrico generado por Scopus (siendo la base de referencia con mayor volumen de artículos revisados), permite caracterizar el estado general de la investigación en el área de la TCAM al identificar los siguientes elementos en la muestra de 83 artículos: 1) Los **autores** con mayor producción científica en el campo de la TCAM son Mayer y Makransky. 2) Los **países** con mayor producción son EEUU, Alemania y Taiwan. 3) La **institución** que destaca en la investigación en torno a la TCAM es la Universidad de California. 4) Las **áreas de conocimiento** en las que se han realizado estudios sobre la TCAM son: educación, ciencias, el campo de las tecnologías, la ingeniería, la salud y las humanidades.

Resultados derivados de la fase 3

Del análisis de contenido realizado a los 43 artículos seleccionados después del proceso de filtrado (a partir de criterios de inclusión y exclusión), se obtuvo como elementos generales: El **área de conocimiento** que prevalece en los estudios seleccionados es Educación. Los artículos se concentraron especialmente en los años 2021 y 2019. El **aporte general** de los artículos se concentra en que validan soluciones educativas basadas en la aplicación de la TCAM. La **región** que produjo más investigación es Asia. Ver datos completos en Figura 3.

Figura 2. Filtrado de artículos de la revisión sistemática según flujo PRISMA (Page et al., 2021)



Fuente: elaboración propia (2022).

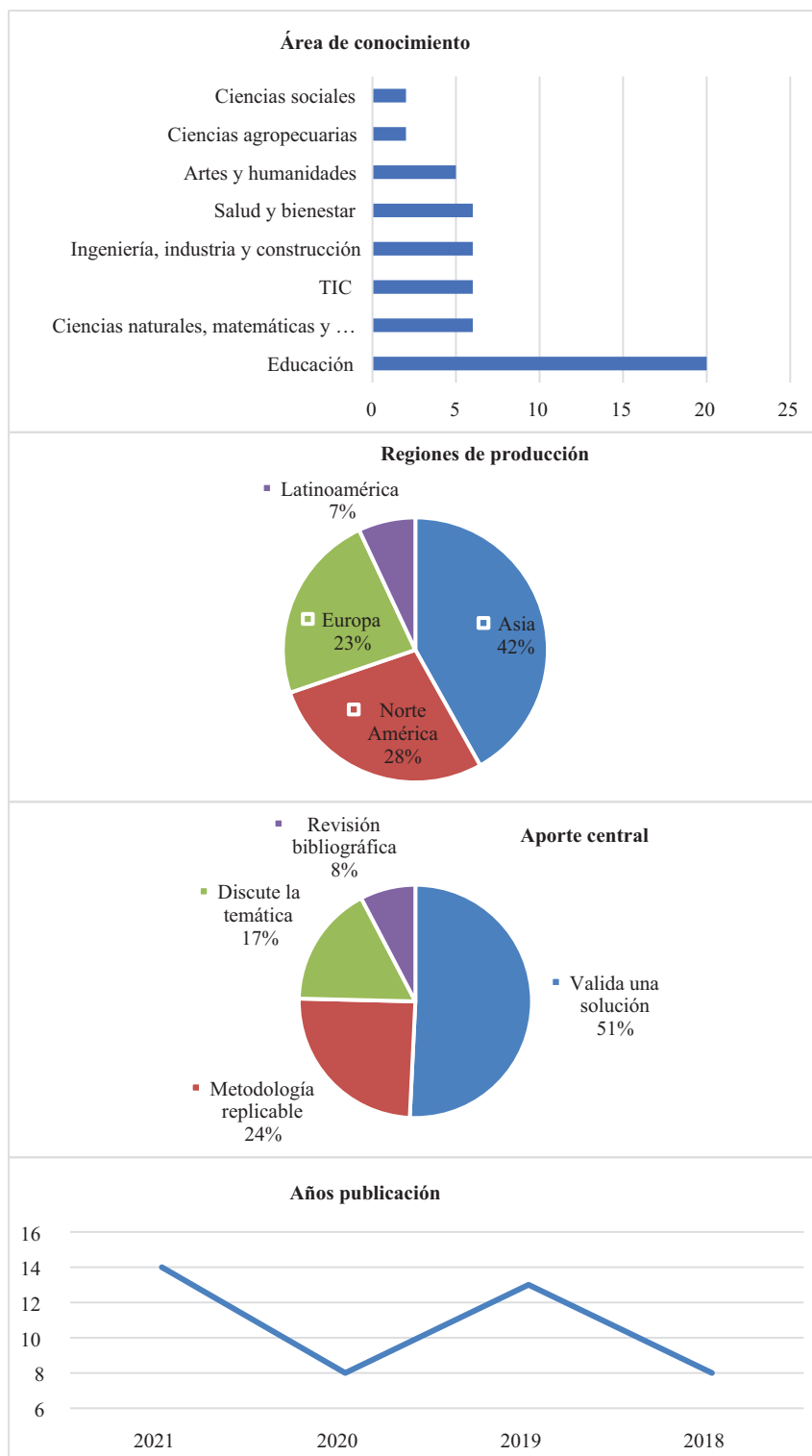
Resultados derivados de la fase 4

En la extracción de datos se analizan elementos característicos de los estudios sobre la TCAM entre los que se observa el **tipo de estrategia de formación** que se diseñó a partir de la aplicación de estos principios. Se destaca que su principal uso se centró en el diseño de animaciones, videos educativos, apps, escenarios b-learning o con realidad aumentada (RA), entre otros. La Tabla 1 describe los tipos de estrategias hallados, los cuales se caracterizan por una alta diversidad que combina el uso de herramientas y enfoques didácticos como la resolución de problemas.

Sobre las **asignaturas específicas** en las que se han desarrollado estudios basados en la TCAM se encuentran la enseñanza de idiomas (inglés y mandarín), la medicina (combina especialidades médicas y enfermería), la ingeniería (civil, de sistemas, eléctrica) y la geografía. Los **principios de la TCAM** que prevalecieron en las investigaciones revisadas fueron los denominados Multimedia, Redundancia y Modalidad, sobre los principios de Contigüidad, Señalización y Segmentación.

Con relación a los **tipos de investigación** identificados en los estudios revisados, dada la naturaleza científica del origen de la TCAM, la mayor parte de las investigaciones adoptaron diseños experimentales del tipo pretest-posttest con grupo control, mientras un porcentaje más bajo utilizó estudios de caso, o revisiones de literatura.

Figura 3. Resumen de datos generales de la extracción



Fuente: elaboración propia (2022).

A este análisis se suman los **tipos de test** que utilizaron en los experimentos desarrollados, entre los que destaca el uso de pruebas de conocimiento de entrada y salida, junto a pruebas de carga cognitiva. No obstante, es muy amplio el espectro de los test utilizados, los cuales varían de acuerdo con el interés de los autores y profundidad investigativa de los estudios. La Tabla 2 resume los test que se mencionan.

Tabla 1. Estrategias de formación basadas en la TCAM

Tipo de estrategia de formación	%
Para el diseño de animaciones	9
Para diseñar RA	7
Para el diseño o uso de videos interactivos y educativo	7
Para el diseño de app y aprendizaje móvil	7
Para enseñanza basada en fotografías, bocetos gráficos, mapas	7
Para diseñar escenarios b-learning	5
Para diseñar herramienta que retroalimente y agente virtual	5
Para el diseño de cursos tipo MOOC	5
Para el diseño de ítems de evaluación	2
Para validar el uso de tablas de contenido en el aprendizaje	2
Para resolver problemas de aprendizaje	2
Para diseñar recursos multimedia	2
Para diseñar estrategias basadas en el juego	2
Para diseñar herramienta virtual (tipo software)	2
Para la enseñanza mediante videoconferencia	2
Para el diseño de estrategias de comunicación	2
Para el uso de pizarras transparentes	2

Fuente: elaboración propia (2022).

Tabla 2. Tipos de test utilizados en los estudios

Tipos de test	%
Pretest y post test	19
Prueba de carga cognitiva	14
Test de retención	7
Prueba de seguimiento ocular	5
Medición motivación	5
Post test diferido	5
Entrevista	2
Ejecución de tarea al final	2
Test de flujo	2
Test de sistemas adaptativos	2
Test de transferencia	2

Fuente: elaboración propia (2022).

Fase 5. Análisis de contenido

Para lograr un estudio cualitativo de mayor profundidad sobre los datos extraídos, se genera una síntesis de cada artículo y, posteriormente, se realiza un análisis de contenido organizado a partir de categorías que

permiten responder las preguntas orientadoras de la revisión. En este sentido, la extracción permitió identificar detalladamente cuáles son los **principios de la TCAM que han sido estudiados** y quiénes los han utilizado. Se logra confirmar que prevalece el análisis de los principios de redundancia, señalización y coherencia. La Tabla 3 recopila de forma detallada los autores que han estudiado cada uno de los principios de la TCAM.

Tabla 3. Principios de la TCAM presentes en diferentes investigaciones

Principio	Autores
Redundancia	(Berardi, 2021; Chan et al., 2020; Castro-Alonso, de Koning et al., 2021; Raviolo, 2019; Çekiç & Demirezen, 2021; Wang et al., 2018; Refat et al., 2020; Noyes et al., 2020; Mirkovski et al., 2019; Liu et al., 2018; Kutbay & Akpınar, 2020; Chang et al., 2018; Noetel et al., 2022)
Señalización	(Berardi, 2021; Aysolmaz & Reijers, 2021; Refat et al., 2020; Oakley & Sejnowski, 2019; Noyes et al., 2020; Kutbay & Akpınar, 2020; Hadie et al., 2021; Burkhart et al., 2021; Lin & Tsai, 2021; Cojean & Jamet, 2022; Noetel et al., 2022)
Coherencia	(Berardi, 2021; Berntsen & Kristiansen, 2019; Castro-Alonso, Wong, et al., 2021; Çekiç & Demirezen, 2021; Tomita, 2018; Yang et al., 2018; Refat et al., 2020; Oakley & Sejnowski, 2019; Noyes et al., 2020; Hadie et al., 2021; Noetel et al., 2022)
Efecto de voz	(Chan et al., 2020; Berntsen & Kristiansen, 2019; Tin et al., 2018; Oakley & Sejnowski, 2019; Hadie et al., 2021; Noetel et al., 2022)
Segmentación	(Kamal, 2019; Berntsen & Kristiansen, 2019; Parong & Mayer, 2018; Rey et al., 2019; Soicher & Becker-Blease, 2020; Lin & Tsai, 2021; Noetel et al., 2022)
Personalización	(Berntsen & Kristiansen, 2019; Tin et al., 2018; Hadie et al., 2021; Noetel et al., 2022)
Contigüidad	(Çekiç & Demirezen, 2021; Refat et al., 2020; Noyes et al., 2020; Hadie et al., 2021; Burkhart et al., 2021; Lai et al., 2019; Lin & Tsai, 2021; Noetel et al., 2022)
Multimedia	(Tin et al., 2018; Ramezani & Faez, 2019; Oakley & Sejnowski, 2019; Liu et al., 2018; Kutbay & Akpınar, 2020; Lin & Tsai, 2021)
Modalidad	(Liu et al., 2018; Kutbay & Akpınar, 2020; Greenberg et al., 2021; Chang et al., 2018; Noetel et al., 2022)
Pre-entrenamiento	(Hadie et al., 2021)

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la validación de los diferentes principios de la TCAM, el estudio de Noetel et al. (2022), a través de una revisión sistemática de tipo meta-análisis (revisión de otras revisiones), aporta las siguientes conclusiones:

- Subtitular videos: principio validado especialmente para la enseñanza de idiomas.
- Contigüidad: principio validado, en su versión espacial se complementa con estudios de seguimiento ocular. También validado su efecto en versión temporal.
- Señalización: validado también con el complemento de estudios de seguimiento ocular, con los cuales se pudo identificar en qué señales ponen mayor atención los estudiantes (por ejemplo, en el uso de viñetas).
- Modalidad: se valida que el estudiante logra un mayor aprendizaje cuando encuentra audio e imágenes, que cuando encuentra texto e imágenes.
- Colores agradables o antropomórficos: los estudios no revelan un efecto altamente significativo en el aprendizaje, pero sí un mayor agrado por el recurso.
- Segmentación: validado debido a que los estudiantes toman más tiempo en la revisión de materiales segmentados, lo que se considera positivo en la consolidación de conocimiento.
- Personalización: validado el beneficio de utilizar un tono de voz agradable, cercano o coloquial.
- Coherencia: validada la importancia de eliminar todo tipo de contenido irrelevante o seductor que no aporte al contenido estudiado.
- Animaciones: validado que solo son útiles cuando se pretende mostrar el funcionamiento real de algo; no son útiles las animaciones decorativas.

- Uso de agentes: se valida que resultan útiles cuando señalan elementos claves del contenido, no son tan útiles en formato 3D ya que generan mayor distracción que en 2D.
- Redundancia verbal: se valida que es útil cuando se agrega texto al audio y no cuando se agrega audio al texto.

Otro elemento identificado en el análisis de las investigaciones en torno a la aplicación de la TCAM es el **tipo de diseño o estrategia** que los investigadores crearon para implementar los principios, entre los que se destaca el diseño de materiales multimedia enriquecidos, presentaciones animadas, videos educativos y aplicaciones móviles; no obstante, el campo de las estrategias diseñadas es muy amplio, por lo que la Tabla 4 resume detalladamente las tipologías halladas en los estudios.

Tabla 4. Diseños o estrategias implementadas a partir de la TCAM

Diseños	Autores
Diseñar material multimedia enriquecido (por ejemplo, con audio, con imágenes, fotografías, diagramas, etc.)	(Berardi, 2021; Aravind & Rajasekaran, 2021; Tin et al., 2018; Dulamă & Ilovan, 2020; Yang et al., 2018; Noyes et al., 2020)
Diseño de presentaciones con animaciones, texto y voz evitando la sobrecarga cognitiva	(Chan et al., 2020; Noyes et al., 2020; Hadie et al., 2021; Greenberg et al., 2021)
Diseño de videos educativos e interactivos	(Kamal, 2019; Berntsen & Kristiansen, 2019; (Çekiç & Demirezen, 2021; Oakley & Sejnowski, 2019; Mirkovski et al., 2019; Greenberg et al., 2021; Cojean & Jamet, 2022)
Diseño de un libro digital	(Berntsen & Kristiansen, 2019; Lai et al., 2019)
Diseño de un agente pedagógico multimedia	(Castro-Alonso, Koning et al, 2021)
Análisis del uso de la técnica del Sketchnoting (toma de notas a partir de esquemas gráficos)	(Gansemer-Topf et al., 2021)
Uso de imágenes y palabras para explicar procesos complejos donde se requiere el uso de simbología.	(Raviolo, 2019; Drees et al., 2020)
Diseño de materiales a partir de piezas más pequeñas adecuadas para su procesamiento.	(Çekiç & Demirezen, 2021)
Diseño de una estrategia de multimedia interactiva para ambientes móviles (tipo app)	(Werdiningsih & Majid, 2019; De Las Peñas, et al., 2019; Lin & Tsain, 2021)
Diseño de un aula invertida	(Almasseri & Alhojailan, 2019; Dulamă & Ilovan, 2020)
Diseño de RA	(Wang et al., 2018; Lai et al., 2019; Parong & Mayer, 2018)
Diseño de una herramienta específica	(Refat et al., 2020)
Diseño de un curso tipo MOOC	(Oakley & Sejnowski, 2019)
Desarrollo de videoconferencias	(Hadie et al., 2021)
Diseño de story maps digitales	(Groshans et al., 2019)
Diseño de estrategia de juego video+3D	(Chang et al., 2018)

Fuente: elaboración propia.

Entre los **objetivos centrales** que perseguían las investigaciones en torno a la TCAM se identifica la búsqueda de estrategias para reducir la carga cognitiva, lograr una comunicación efectiva, comparar estrategias y utilizar diferentes tipos de test para medir la carga cognitiva, el procesamiento cognitivo, la memoria de trabajo, la curva de olvido, el nivel de motivación, entre otros elementos directamente relacionados con el impacto que puede generar la implementación de la TCAM en el diseño de materiales y estrategias de aprendizaje. La Tabla 5 describe la variedad de objetivos identificados en los estudios analizados.

Tabla 5. Objetivos y acciones desarrolladas en la implementación de la TCAM

Acciones	Autores
Cómo disponer la información para establecer una eficiente comunicación multimedia	(Berardi, 2021; Tin et al., 2018; Dulamă & Ilovan, 2020)
Cómo presentar la información para evitar sobrecarga cognitiva	(Chan et al., 2020; Rey et al., 2019; Rat et al., 2018; Hadie et al., 2021)
Cómo diseñar videos que logren reducir la carga cognitiva, aumentar la participación de los estudiantes y lograr un aprendizaje activo	(Kamal, 2019; Shoufan, 2019; Çekiç & Demirezen, 2021; Oakley & Sejnowski, 2019; Mirkovski et al., 2019; Greenberg et al., 2021; Cojean & Jamet, 2022)
Hacer una estimación de valor cognitivo (comprensión que se logra) de los videos de youtube	(Shoufan, 2019)
Analizar en una muestra de videos la presencia de funciones cognitivas integradas (los principios de Mayer)	(Shoufan, 2019)
Usar la animación para respaldar tareas complejas de resolución de problemas	(Aysolmaz & Reijers, 2021; Noyes et al., 2020)
Utilizar el modelo de ADDIE para diseñar un plan de formación en ambientes móviles	(Werdingsih & Majid, 2019)
Aplicar test de retención para evaluar la curva del olvido o transferencia.	(Aravind & Rajasekaran, 2021; Stull et al., 2018; Soicher & Becker-Blease, 2020; Greenberg et al., 2021)
Aplicar test de medición de la carga cognitiva	(Yang et al., 2018; Soicher & Becker-Blease, 2020; Refat et al., 2020; Greenberg et al., 2021; Chang et al., 2018; Lai et al., 2019)
Utilizar rastreador ocular para medir procesamiento cognitivo	(Wang et al., 2018)
Utilizar test de memoria de trabajo visual	(Greenberg et al., 2021)
Utilizan test de medición del flujo o motivación	(Chang et al., 2018; Lai et al., 2019)
Aplicar test que mide las habilidades de pensamiento de Bloom	(Almasseri & Alhojailan, 2019)
Usar de pizarras transparentes para el desarrollo de videoconferencias, las cuales evitan oclusión.	(Stull et al., 2018)
Comparar el efecto del uso de animaciones (imágenes en movimiento), frente al uso de imágenes (estáticas).	(Yang et al., 2018; Drees et al., 2020)
Comparar el uso de imágenes y audio, frente al uso de imágenes y texto, o la lectura de un guion o artículo	(Mirkovski et al., 2019; Lui et al., 2018)
Revisar estudios en el área de la salud que utilizan los principios de la TCAM	(Mahajan et al., 2020)
Validar el efecto de utilizar mapas geográficos digitales interactivos, en lugar del uso de mapas tradicionales	(Groshans et al., 2019)
Comparar el efecto del aprendizaje por computador (tradicional) frente al aprendizaje por juego digital 3D	(Chang et al., 2018)
Analizar el efecto de adaptar preguntas de evaluación a partir de los principios de la TCAM para facilitar su comprensión.	(Dirkx et al., 2021)

Fuente: elaboración propia.

En relación con las **disciplinas** en las que se han desarrollado estudios basados en la implementación de la TCAM, se identifica que el gran campo de conocimiento que engloba los estudios es la educación y, en particular, la enseñanza de idiomas, así como la formación médica y en ciencias. Estos son los campos concretos donde mayor interés ha despertado el uso de la TCAM. La Tabla 6 presenta mayores detalles de estas áreas o disciplinas específicas.

Tabla 6. Áreas o disciplinas en las que se implementa la TCAM

Área o campo	Autores
Formación para entrenadores deportivos	(Berntsen & Kristiansen, 2019)
Enseñanza de la química	(Raviolo, 2019)
Aprendizaje de idiomas (inglés y chino, escritura cohesión)	(Çekiç & Demirezen, 2021; Tin et al., 2018; Refat et al., 2019, 2020; Ramezanali & Faez, 2019; Liu et al., 2018; Burkhart et al., 2021; Lin & Tsai, 2021)
Enseñanza del ensamblaje de equipos	(Werdiningsih & Majid, 2019)
Adquisición de vocabulario en estudiantes con disfasia	(Aravind & Rajasekaran, 2021)
Enseñanza en el área de la computación	(Almasseri & Alhojailan, 2019)
Enseñanza de las matemáticas	(De Las Peñas, et al., 2019)
Enseñanza de la geografía	(Dulamă & Ilovan, 2020)
Enseñanza de las ciencias (por ejemplo, STEM)	(Stull, et al., 2018; Groshans et al., 2019)
Enseñanza de genética	(Yang et al., 2018)
Enseñanza de la construcción	(Wang et al., 2018)
Enseñanza de la función renal	(Soicher & Becker-Blease, 2020)
Formación médica (por ejemplo, comunicación de malas noticias, odontología, medicina)	(Rat et al., 2018; Mahajan et al., 2020; Hadie et al., 2021; Drees et al., 2020)
Enseñanza de la cognición humana	(Oakley & Sejnowski, 2019)
Formación de médicos veterinarios	(Noyes et al., 2020)
Enseñanza de la investigación	(Mirkovski et al., 2019)
Formación en primaria sobre electricidad	(Kutbay & Akpınar, 2020)
Formación de docentes	(Greenberg et al., 2021; Chang et al., 2018)

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, son múltiples los **hallazgos** a los que llegan las investigaciones que exploran el efecto de implementar la TCAM en diferentes escenarios de formación. En general los hallazgos tienden a validar la importancia de aplicar los principios de la TCAM en el diseño de materiales o estrategias de aprendizaje, resaltan el carácter positivo de sus resultados, la importancia de su manejo por parte de docentes y diseñadores instruccionales, la relevancia de considerar su aplicación en el diseño de videos educativos y de conocer las condiciones del aprendiz para su aplicación. En este sentido, cuanto mayor sea el conocimiento previo de los estudiantes, menor será el impacto de principios como el multimedia o el de modalidad. Para exponer con mayor detalle los principales hallazgos a los que llegan los estudios revisados, la Tabla 7 disponible en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/7141196#.YzuLZXbMLIW>) presenta una sistematización de los mismos.

Según Noetel et al. (2022) algunos moderadores de los efectos de los principios estudiados son: ritmo del material, complejidad del material y conocimiento previo del estudiante. En general, la revisión valida la relevancia de mantener el uso de los principios de la TCAM en el diseño de materiales de aprendizaje para que sean más efectivos. Los estudios revisados dan evidencia sólida de que “las intervenciones que aprovecharon nuestros dos canales de procesamiento de información (visual y auditivo) mejoraron el aprendizaje (p. ej., subtítular videos en un segundo idioma; efecto de modalidad). También encontramos beneficios para las estrategias que redujeron la “carga cognitiva extraña” (p. 446).

Discusión y conclusiones

Un primer nivel de análisis de la revisión sistemática permite identificar que las áreas de conocimiento en las que se realiza mayores estudios sobre la TCAM son el campo de la Educación, Ciencias Sociales y Ciencias de la Computación, donde los tipos de estrategias de formación se caracterizan por una combinación de enfoques y herramientas como la realidad aumentada, el video interactivo y la resolución de problemas.

Las asignaturas específicas en las que se han desarrollado estudios basados en la TCAM se enfocan a la enseñanza de idiomas, medicina, ingeniería y geografía. Sobre los principios de la TCAM más estudiados se encuentran los de Multimedia, Redundancia y Modalidad. La tendencia metodológica para el estudio de la TCAM se concentró en los diseños experimentales de pretest-post test con grupo control, con una amplia variedad de test entre los que destaca el uso de pruebas de conocimiento de entrada y salida, junto a pruebas de carga cognitiva.

Un segundo nivel de análisis se fundamenta en el estudio profundo del contenido de los artículos, ejercicio que permitió distinguir aspectos clave para responder las dos preguntas que orientaron la revisión sistemática. Por un lado, frente a la pregunta por los campos o áreas de conocimiento donde se está aplicando actualmente la TCAM, se comprueba que el gran campo de conocimiento que engloba los estudios es la educación y, en particular, la enseñanza de idiomas, así como la formación médica y en ciencias.

En respuesta a la pregunta por los avances que se presentan en la aplicación de la TCAM en el diseño de estrategias de formación, se reconoce, en primer lugar, que los principios de redundancia, señalización y coherencia son los que han cobrado mayor fuerza en el diseño de recursos y estrategias, donde investigaciones lideradas por el mismo Mayer (Parong & Mayer, 2018), Berardi (2021) o Chan et al. (2020) vienen validando en diferentes escenarios educativos los beneficios de la aplicación de los mismos. La aportación de la TCAM al campo educativo se refleja principalmente en el diseño de materiales multimedia enriquecidos (Berardi, 2021), presentaciones animadas (Noyes et al., 2020), videos educativos (Kamal, 2019) y aplicaciones móviles (Werdiningsih & Majid, 2019).

Otro aspecto relevante es que el objetivo de los estudios que aplican la TCAM se focaliza principalmente en reducir la carga cognitiva, lograr una comunicación efectiva, comparar estrategias y utilizar diferentes tipos de test para medir la carga cognitiva, el procesamiento cognitivo, la memoria de trabajo, la curva de olvido, el nivel de motivación, entre otros elementos directamente relacionados con el impacto que puede generar la implementación de la TCAM en el diseño de materiales y estrategias de aprendizaje.

En general los hallazgos a los que llegan los estudios sobre la TCAM analizados, tienden a validar la importancia de aplicar sus principios en el diseño de materiales o estrategias de aprendizaje, resaltan los efectos positivos, la importancia de su manejo por parte de docentes y diseñadores instruccionales, la relevancia de considerar su aplicación en el diseño de videos educativos y de conocer al destinatario del aprendizaje.

Entre las conclusiones a las que llegan los estudios se identifican orientaciones para evitar la redundancia en los medios en los que se transmite la información (Chan et al., 2020), o utilizarlos con mesura si son necesarios por el área de conocimiento (Raviolo, 2019), como es el caso de la enseñanza de lenguas (Çekiç & Demirezen, 2021). En este mismo sentido, las investigaciones analizan la importancia de diseñar videos y recursos segmentados con una baja cantidad de animaciones y elementos distractores o decorativos (Kamal, 2019), demostrando que agregar material interesante pero innecesario a una lección multimedia puede perjudicar el aprendizaje (Parong & Mayer, 2018).

Otro hallazgo clave en los estudios es la necesidad de identificar los saberes previos de los estudiantes, ya que cuando se tiene un mayor dominio del tema, los recursos no requieren de una gran variedad de animación, segmentación o material multimedia, mientras si es poco conocida el área, es muy útil una amplia combinación de formatos digitales y de segmentación de contenido (Rey et al., 2019). También se estudia la influencia de la edad del estudiante en el diseño del material ya que, por ejemplo, en un niño el uso de representaciones abstractas puede resultar más útil que en otras edades (Kutbay & Akpınar, 2020).

Algunos elementos potenciales a seguir investigando podrían ser la motivación del estudiante (Dulamă & Ilovan, 2020) y su impacto en lograr una menor o mayor carga cognitiva, así como el lugar del humor en el diseño de materiales y experiencias de aprendizaje (Oakley & Sejnowski, 2019). De igual forma, es necesario profundizar en el estudio sobre la relevancia de incluir animación e interacción en el diseño de un material, frente a contenidos creados en formatos más planos (Rat et al., 2018), lo cual da lugar a la pregunta sobre cómo cuidar que el diseño de un material esté plenamente centrado en el aprendizaje y no en su apariencia (Noyes et al., 2020).

Finalmente, algunas limitaciones del presente estudio se concentran en el margen de tiempo seleccionado, por lo que se recomienda continuar con la actualización de la investigación a partir de los nuevos estudios realizados en torno a la aplicación de los principios de la TCAM, así como profundizar en torno al uso de la teoría en experimentos con muestras más amplias diversificando las áreas de conocimiento, nivel educativo y el diseño metodológico de los estudios. Del mismo modo, sería interesante una segunda fase de la revisión sistemática que se pueda concentrar en analizar experiencias de docentes y estudiantes de diferentes áreas de conocimiento, para profundizar en el impacto de la implementación de los principios de la TCAM en el contexto educativo.

Disponibilidad de datos

Los datos sistematizados en esta revisión se encuentran disponibles en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/records/7141207#.YzuNKHbMLIU>).

Referencias

- Almasseri, M., & AlHojailan, M. I. (2019). How flipped learning based on the cognitive theory of multimedia learning affects students' academic achievements. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(6), 769-781. <https://doi.org/10.1111/jcal.12386>
- Aravind, B. R., & Rajasekaran, V. (2021). Exploring dysphasia learners' vocabulary acquisition through the cognitive theory of multimedia learning: an experimental study. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16(12), 263-275. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i12.22173>
- Aysolmaz, B., & Reijers, H. A. (2021). Animation as a dynamic visualization technique for improving process model comprehension. *Information & Management*, 58(5), 103478. <https://doi.org/10.1016/j.im.2021.103478>
- Berardi, S. (2021). Creating an Online Russian as a Foreign Language Course during the COVID-19 Epidemic. *Rusistika (Moskva. Online)*, 19(1), 7-20. <https://doi.org/10.22363/2618-8163-2021-19-1-7-20>
- Berntsen, H., & Kristiansen, E. (2019). Successful coach learning: Digital workbook informed by pedagogical principles. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 14(3), 310-323. <https://doi.org/10.1177/1747954119835439>
- Burkhart, C., Lachner, A., & Nückles, M. (2021). Using spatial contiguity and signaling to optimize visual feedback on students' written explanations. *Journal of Educational Psychology*, 113(5), 998-1023. <https://doi.org/10.1037/edu0000607>
- Castro-Alonso, J. C., de Koning, B. B., Fiorella, L., & Paas, F. (2021). Five Strategies for Optimizing Instructional Materials: Instructor- and Learner-Managed Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 33(4), 1379-1407. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09606-9>
- Castro-Alonso, J. C., Wong, R. M., Adesope, O. O., & Paas, F. (2021). Effectiveness of Multimedia Pedagogical Agents Predicted by Diverse Theories: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*, 33(3), 989-1015. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09587-1>
- Çekiç, A., & Demirezen, M. (2021). Comparison of the impacts of different multimodalities on incidental L2 vocabulary learning. *Moderna språk*, 114(2), 109-138. <https://doi.org/10.58221/mosp.v114i2.7405>
- Chan, K. Y., Lyons, C., Kon, L. L., Stine, K., Manley, M., & Crossley, A. (2020). Effect of on-screen text on multimedia learning with native and foreign-accented narration. *Learning and Instruction*, 67, 101305. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101305>
- Chang, C.-C., Warden, C. A., Liang, C., & Lin, G.-Y. (2018). Effects of digital game-based learning on achievement, flow and overall cognitive load. *Australasian Journal of Educational Technology*, 34(4), 4. <https://doi.org/10.14742/ajet.2961>
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (Eds.). (2016). *e-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning* (4th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119239086>
- Cojean, S., & Jamet, E. (2022). Does an interactive table of contents promote learning from videos? A study of consultation strategies and learning outcomes. *British Journal of Educational Technology*, 53(2), 269-285. <https://doi.org/10.1111/bjet.13164>
- De Las Peñas, M., Verzosa, D. M., Aberin, M. A. Q., Garces, L. P. D. M., Francisco, F. F., Bautista, E. P., Tolentino, M. A. C., & Tabares, W. C. (2019). Digital Simulations for Grade 7 to 10 Mathematics. *Philippine Journal of Science*, 148(4), 735-749.
- Dirkx, K. J. H., Skuballa, I., Manastirean-Zijlstra, C. S., & Jarodzka, H. (2021). Designing computer-based tests: Design guidelines from multimedia learning studied with eye tracking. *Instructional Science*, 49(5), 589-605. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09542-9>
- Drees, C., Ghebremedhin, E., & Hansen, M. (2020). Development of an interactive e-learning software "Histologie für Mediziner" for medical histology courses and its overall impact on learning outcomes and motivation. *GMS Journal for Medical Education*, 37(3), Doc35. <https://doi.org/10.3205/zma001328>
- Dulamă, M. E., & Ilovan, O.-R. (2020). Online university education during the COVID-19 pandemic. How efficient are the adapted instruction models? *Journal of Educational Sciences & Psychology*, 10(2), 92-111.

- Ferreira González, I., Urrútia, G., & Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: Bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688-696. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>
- Gansemer-Topf, A. M., Paepcke-Hjeltness, V., Russell, A. E., & Schiltz, J. (2021). "Drawing" your Own Conclusions: Sketchnoting as a Pedagogical Tool for Teaching Ecology. *Innovative Higher Education*, 46(3), 303-319. <https://doi.org/10.1007/s10755-020-09542-6>
- García-Peñalvo, F. J. (2022). Developing robust state-of-the-art reports: Systematic Literature Reviews. *Education in the Knowledge Society*, 23, e28600. <https://doi.org/10.14201/eks.28600>
- Greenberg, K., Zheng, R., Gardner, M., & Orr, M. (2021). Individual differences in visuospatial working memory capacity influence the modality effect. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(3), 735-744. <https://doi.org/10.1111/jcal.12519>
- Groshans, G., Mikhailova, E., Post, C., Schlautman, M., Carbajales-Dale, P., & Payne, K. (2019). Digital Story Map Learning for STEM Disciplines. *Education Sciences*, 9(2), 75. <https://doi.org/10.3390/educsci9020075>
- Hadie, S. N. H., Tan, V. P. S., Omar, N., Nik Mohd Alwi, N. A., Lim, H. L., & Ku Marsilla, K. I. (2021). COVID-19 Disruptions in Health Professional Education: Use of Cognitive Load Theory on Students' Comprehension, Cognitive Load, Engagement, and Motivation. *Frontiers in Medicine*, 8, 739238. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.739238>
- Kamal M. (2019) Effect of interactive video length within e-learning environments on cognitive load, cognitive achievement and retention of learning. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(4), 68-89. <https://doi.org/10.17718/tojde.803360>
- Kutbay, E., & Akpınar, Y. (2020). Investigating Modality, Redundancy and Signaling Principles with Abstract and Concrete Representation. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 8(2), 131-145. <https://doi.org/10.46328/ijemst.v8i2.710>
- Lai, A.-F., Chen, C.-H., & Lee, G.-Y. (2019). An augmented reality-based learning approach to enhancing students' science reading performances from the perspective of the cognitive load theory. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 232-247. <https://doi.org/10.1111/bjet.12716>
- Lin, H.-Y., & Tsai, S.-C. (2021). Student perceptions towards the usage of AR-supported STEMUP application in mobile courses development and its implementation into English learning. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(3), 88-103. <https://doi.org/10.14742/ajet.6125>
- Liu, Y., Jang, B. G., & Roy-Campbell, Z. (2018). Optimum input mode in the modality and redundancy principles for university ESL students' multimedia learning. *Computers & Education*, 127, 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.025>
- Lotero, L. A. A. (2012). Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 5(10).
- Mahajan, R., Gupta, K., Gupta, P., Kukreja, S., & Singh, T. (2020). Multimedia Instructional Design Principles: Moving from Theoretical Rationale to Practical Applications. *Indian Pediatrics*, 57(6), 555-560. <https://doi.org/10.1007/s13312-020-1854-2>
- Mayer, R.E. (2011). *Applying the science of learning*. Pearson. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00003-X>
- Mirkovski, K., Gaskin, J. E., Hull, D. M., & Lowry, P. B. (2019). Visual storytelling for improving the comprehension and utility in disseminating information systems research: Evidence from a quasi-experiment. *Information Systems Journal*, 29(6), 1153-1177. <https://doi.org/10.1111/isj.12240>
- Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Harris, N. R., Sanders, T., Parker, P., del Pozo Cruz, B., & Lonsdale, C. (2022). Multimedia Design for Learning: An Overview of Reviews With Meta-Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 92(3), 413-454. <https://doi.org/10.3102/00346543211052329>
- Noyes, J. A., Carbonneau, K. J., Gotch, C. M., & Matthew, S. M. (2020). Is a Picture Worth a Thousand Words? Evaluating the Design of Instructional Animations in Veterinary Education. *Journal of Veterinary Medical Education*, 47(1), 69-77. <https://doi.org/10.3138/jvme.0118-002r>
- Oakley, B. A., & Sejnowski, T. J. (2019). What we learned from creating one of the world's most popular MOOCs. *Npj Science of Learning*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0046-0>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning Science in Immersive Virtual Reality. *Journal of Educational Psychology, 110*(6), 785-797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Ramezani, N., & Faez, F. (2019). *Vocabulary learning and retention through multimedia glossing*. *Language Learning & Technology, 23*(2), 105-124. <https://doi.org/10.125/44685>
- Rat, A.-C., Ricci, L., Guillemin, F., Ricatte, C., Pongy, M., Vieux, R., Spitz, E., & Muller, L. (2018). Development of a Web-Based Formative Self-Assessment Tool for Physicians to Practice Breaking Bad News (BRADNET). *JMIR Medical Education, 4*(2), e9551. <https://doi.org/10.2196/mededu.9551>
- Raviolo, A. (2019). Images and teaching of Chemistry. Contributions of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educación química, 30*(2), 114-128. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67174>
- Refat, N., Rahman, M. A., Asyhari, A. T., Kassim, H., Kurniawan, I. F., & Rahman, M. (2020). MATT: A Mobile Assisted Tense Tool for Flexible m-Grammar Learning Based on Cloud-Fog-Edge Collaborative Networking. *IEEE Access, 8*, 66074-66084. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983310>
- Refat, N., Rahman, M. A., Asyhari, A. T., Kurniawan, I. F., Bhuiyan, M. Z. A., & Kassim, H. (2019). Interactive Learning Experience-Driven Smart Communications Networks for Cognitive Load Management in Grammar Learning Context. *IEEE Access, 7*, 64545-64557. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2915174>
- Rey, G. D., Beege, M., Nebel, S., Wirzberger, M., Schmitt, T. H., & Schneider, S. (2019). A Meta-analysis of the Segmenting Effect. *Educational Psychology Review, 31*(2), 389-419. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9456-4>
- Shoufan, A. (2019). Estimating the cognitive value of YouTube's educational videos: A learning analytics approach. *Computers in Human Behavior, 92*, 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.03.036>
- Soicher, R. N., & Becker-Blease, K. A. (2020). Testing the segmentation effect of multimedia learning in a biological system. *Journal of Computer Assisted Learning, 36*(6), 825-837. <https://doi.org/10.1111/jcal.12485>
- Stull, A. T., Fiorella, L., Gainer, M. J., & Mayer, R. E. (2018). Using transparent whiteboards to boost learning from online STEM lectures. *Computers & Education, 120*, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.02.005>
- Tin, T. G., Atan, N. A., Mohamad Said, M. N. H., Ali, M. F., Mohd, S., & Abd Hamid, M. Z. (2018). Integrating Animations in Chinese Character Writing Based on Cognitive Theory of Multimedia Learning to Promote Students' Writing Skills. *International Journal of Interactive Mobile Technologies, 12*(7), 97-111. <https://doi.org/10.3991/ijim.v12i7.9671>
- Tomita, K. (2018). Does the Visual Appeal of Instructional Media Affect Learners' Motivation Toward Learning? *TechTrends, 62*(1), 103-112. <https://doi.org/10.1007/s11528-017-0213-1>
- Tufan, D. (2021). Multimedia design principles for microlearning. In J. R. Corbeil, B. H. Khan, & M. E. Corbeil (Eds.), *Microlearning in the Digital Age: The Design and Delivery of Learning in Snippets* (pp. 58-79). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367821623-6>
- Wang, T.-K., Huang, J., Liao, P.-C., & Piao, Y. (2018). Does Augmented Reality Effectively Foster Visual Learning Process in Construction? An Eye-Tracking Study in Steel Installation. *Advances in Civil Engineering, 2018*, e2472167. <https://doi.org/10.1155/2018/2472167>
- Werdiningsih, T., Triyono, M. B., & Majid, N. W. A. (2019). Interactive multimedia learning based on mobile learning for computer assembling subject using the principle of multimedia learning (Mayer). *International Journal of Advanced Science and Technology, 28*(16), 711-719.
- Yang, C., Chun-Hui, J., Chun-Yen, C., & Yeh, T.-K. (2018). Comparison of Animation and Static-picture based Instruction: Effects on Performance and Cognitive Load for Learning Genetics. *Journal of Educational Technology & Society, 21*(4), 1-11.