

Diseño de materiales tecnopedagógicos promovidos por la abstracción relacional analógica en docentes de Física

Marcelo Augusto Salica (autor de contacto)

Profesor del Departamento de Didáctica de las Ciencias Naturales, las Matemáticas y su Tecnología de la Facultad de Ciencias de la Educación y Psicología de la Universidad Nacional del Comahue (Cipolletti, Argentina)

marcelo.salica@face.uncoma.edu.ar | <https://orcid.org/0000-0003-2652-0701>

Valeria Olguín

Profesora del Departamento de Psicología de la Facultad de Ciencias de la Educación y Psicología de la Universidad Nacional del Comahue (Cipolletti, Argentina)

mariavalerialolguin@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0003-1512-3081>

Extracto

Este estudio aborda la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de las ciencias, especialmente en la Física, centrándose en la comprensión del conocimiento tecnológico-pedagógico del contenido (*technological-pedagogical content knowledge* [TPCK]) a través del concepto de *affordance*. Utilizando el pensamiento analógico, se crean esquemas relacionales abstractos que actúen como mediadores en el diseño de materiales tecnopedagógicos. El enfoque interdisciplinario del estudio combina la didáctica de las ciencias naturales, la tecnología y la psicología cognitiva para enriquecer la formación de futuros profesores (hombres y mujeres). Metodológicamente, el estudio se basa en un enfoque cualitativo, descriptivo e interpretativo. Se realizaron estudios de casos teóricos con tres estudiantes del profesorado en Física, seleccionados debido a la baja matrícula y su disposición a participar. Esta selección permite observar cómo futuros profesores integran las TIC en la enseñanza de manera significativa. El proceso condujo al desarrollo de un esquema relacional abstracto que sirve como fundamento para crear materiales tecnopedagógicos estructurados y coherentes. Estos materiales tienen como objetivo facilitar la comprensión y aplicación de las TIC en la enseñanza, proporcionando una guía clara y organizada para los docentes en formación. Este estudio resalta cómo la creación de análogos relacionales, dentro de un contexto de formación didáctica-cognitiva, facilita una codificación semántica profunda sobre la relación entre educación y tecnología. La integración adecuada de estas disciplinas no solo mejora la preparación de los futuros profesores, sino que también fomenta la innovación en la enseñanza de la Física en la era digital.

Palabras clave: pensamiento; analogías; esquema relacional abstracto; docentes de Física; material tecnopedagógico; *affordance*; tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Recibido: 05-03-2024 | Aceptado: 19-09-2024 | Publicado: 10-01-2025

Cómo citar: Salica, M. A. y Olguín, V. (2025). Diseño de materiales tecnopedagógicos promovidos por la abstracción relacional analógica en docentes de Física. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 30, 115-142. <https://doi.org/10.51302/tce.2025.21445>

Design of techno-pedagogical materials promoted by relational analogical abstraction in Physics teachers

Marcelo Augusto Salica (corresponding author)

Professor at the Department of Didactics of Natural Sciences, Mathematics and Technology of the Faculty of Educational Sciences and Psychology at the Universidad Nacional del Comahue (Cipolletti, Argentina)
marcelo.salica@face.uncoma.edu.ar | <https://orcid.org/0000-0003-2652-0701>

Valeria Olguín

Professor at the Department of Psychology of the Faculty of Educational Sciences and Psychology at the Universidad Nacional del Comahue (Cipolletti, Argentina)
mariavaleriaolguin@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0003-1512-3081>

Abstract

This study addresses the integration of information and communication technologies (ICT) in science education, especially in Physics, focusing on the understanding of technological-pedagogical content knowledge (TPCK) through the concept of «affordance». Using analogical thinking, abstract relational schemas are created to act as mediators in the design of technopedagogical materials. The interdisciplinary approach of the study combines didactics of natural sciences, technology and cognitive psychology to enrich the training of future teachers (men and women). Methodologically, the study is based on a qualitative, descriptive and interpretative approach. Theoretical case studies were conducted with three students of the Physics professorship, selected due to low enrollment and their willingness to participate. This selection allows us to observe how future teachers integrate ICT in teaching in a meaningful way. The process led to the development of an abstract relational schema that serves as a foundation for creating structured and coherent technopedagogical materials. These materials are intended to facilitate the understanding and application of ICT in teaching by providing clear and organized guidance for trainee teachers. This study highlights how the creation of relational analogues, within a didactic-cognitive training context, facilitates a deep semantic coding of the relationship between education and technology. The proper integration of these disciplines not only improves the preparation of future teachers, but also fosters innovation in physics teaching in the digital age.

Keywords: thought; analogy; abstract relational schema; Physics teachers; technopedagogical material; affordance; information and communication technologies (ICT).

Received: 05-03-2024 | Accepted: 19-09-2024 | Published: 10-01-2025

Citation: Salica, M. A. and Olguín, V. (2025). Design of techno-pedagogical materials promoted by relational analogical abstraction in Physics teachers. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 30, 115-142. <https://doi.org/10.51302/tce.2025.21445>

Sumario

1. Fundamentación
 - 1.1. El pensamiento analógico y los esquemas relacionales abstractos
 2. Objetivo
 3. Método
 - 3.1. Desarrollo del «Taller de Tecnología Educativa»
 - 3.2. Características de los participantes
 4. Resultados
 - 4.1. Análogo base
 - 4.2. Análogo puente del *affordance*
 - 4.3. Análogo puente y esquema relacional
 - 4.4. Diseño del material tecnopedagógico
 5. Discusión
 - 5.1. Discusiones con énfasis en la psicología cognitiva
 - 5.2. Discusiones en torno a la didáctica de las ciencias naturales
 - 5.3. Discusiones con foco en la relación educación-tecnología
 6. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Nota: este trabajo se realizó con la financiación del proyecto de investigación «Intervenciones mediante analogías para potenciar las habilidades argumentativas, creativas y de enseñanza-aprendizaje (C158/2022)» de la Facultad de Ciencias de la Educación y Psicología de la Universidad Nacional del Comahue (Argentina). Los autores del artículo declaran que todos los procedimientos llevados a cabo para la elaboración de este trabajo de investigación se han realizado de conformidad con las leyes y directrices institucionales pertinentes. Asimismo, los autores del artículo han obtenido el consentimiento informado (libre y voluntario) por parte de todas las personas intervinientes en este estudio

1. Fundamentación

Cada área de conocimiento y sus disciplinas afrontan desafíos particulares en la integración de las TIC. En el ámbito de las ciencias naturales, y en particular en la enseñanza de la Física, la utilización de las TIC se focaliza en la necesidad de facilitar la comprensión de conceptos abstractos de la disciplina. La formación docente en el uso de las TIC para la enseñanza de la Física se enfoca en el empleo de herramientas digitales aplicadas a conceptos específicos de la materia. Para lograr una integración efectiva, es imprescindible fortalecer la formación docente inicial, combinando los componentes tecnológicos y pedagógicos con el conocimiento disciplinar (Koehler *et al.*, 2015; Ortega Iglesias, 2020; Valbuena-Rodríguez, 2012; Valbuena-Rodríguez y Navarro-Ramírez, 2016).

La formación docente inicial es uno de los factores más determinantes en el desempeño futuro del profesorado en ejercicio. No obstante, la integración de estos componentes añade complejidad al proceso de formación y presenta un desafío significativo para los docentes de ciencias en su etapa inicial. Investigar cómo los docentes comprenden y manejan esta complejidad sigue siendo un aspecto pendiente de exploración. Tanto a nivel internacional como nacional, faltan estudios que aborden de qué modo los docentes desarrollan su conocimiento pedagógico del contenido (Buteler *et al.*, 2019).

El marco conceptual conocido como TPCK fundamenta teóricamente la integración de la tecnología en el currículo educativo. Este marco se basa en la intersección de categorías conceptuales: el conocimiento tecnológico, el pedagógico y el disciplinar (Mishra y Koehler, 2006). El desarrollo del TPCK es fundamental para una enseñanza efectiva apoyada en la tecnología (Koehler *et al.*, 2015; Ortega Iglesias, 2020). A pesar de los avances significativos en este campo gracias al TPCK, todavía es necesario profundizar en la comprensión de los docentes sobre cómo integrar dichas categorías (Ortega Iglesias, 2020).

Para superar el enfoque desarticulado y tecnocentrista prevalente en la integración de la educación y la tecnología, es esencial fortalecer esta relación. En este contexto, el concepto de «*affordance*», proveniente del mundo del diseño de interfaces, se presenta como una herramienta conceptual útil. Este concepto permite la comprensión de la relación entre sujetos, artefactos y ambientes al enfocarse en las potencialidades que ofrecen las TIC (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018). Su aproximación permite no solo comprender, sino también transformar los procesos de enseñanza y producción de conocimientos en entornos educativos asistidos por tecnología (Parchoma, 2014).

La interacción dinámica entre sujetos, artefactos y ambientes, que se establece entre las personas y la tecnología, es una interacción esencial para la adaptación a estos nuevos contextos (Martinenco *et al.*, 2021). La adopción de nuevos modos de enseñanza implica reconocer el carácter híbrido de los contextos educativos que surgen del uso de las TIC. Esto crea una «ecología del aprendizaje», un concepto que describe el entramado complejo de interacciones entre personas, contextos educativos formales e informales y la tecnología (Kalantzis y Cope, 2015).

La adopción de nuevos modos de enseñanza implica reconocer el carácter híbrido de los contextos educativos que surgen del uso de las TIC. Esto crea una «ecología del aprendizaje»

Este enfoque centrado en el concepto de «*affordance*» permitiría explorar las representaciones relacionales del constructo TPCK, especialmente en cuanto a la interacción entre la persona, el entorno y los artefactos (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018; Parchoma, 2014). Al focalizarse en cómo las TIC pueden potenciar estas interacciones, este enfoque tiene el potencial de diversificar y modificar las formas de producción y gestión del conocimiento en entornos educativos mediados por las TIC. Esto es particularmente relevante en la formación docente inicial y en la mejora de la enseñanza de las ciencias, donde es crucial integrar la tecnología para abordar los desafíos del conocimiento abstracto y la pedagogía innovadora (Salica y Olguín, 2023).

En el siglo XXI, el diseño de materiales educativos exige la incorporación de componentes digitales que respondan a la diversidad y complejidad de los escenarios educativos contemporáneos. Estos entornos se destacan por su carácter interactivo, constructivista, innovador, multimedia y pedagógico, facilitando así nuevas formas de enseñanza y aprendizaje (Area Moreira, 2017; Bautista Sánchez *et al.*, 2014; Gallardo Fernández *et al.*, 2021; George Reyes, 2020). Para que los docentes de ciencias puedan aprovechar plenamente estas características, es crucial que su formación inicial se oriente hacia la integración de las TIC mediante el desarrollo de materiales tecnopedagógicos. Este enfoque permite no solo la incorporación de la tecnología en el aula, sino también la creación de experiencias de aprendizaje que estén alineadas con los principios del *affordance*. En otras palabras, diseñar materiales tecnopedagógicos implica comprender cómo la interacción entre personas-herramientas digitales-entorno educativo puede transformar la enseñanza y hacerla más efectiva (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018). La formación docente, por lo tanto, debe equipar a los futuros educadores con las habilidades necesarias para crear y utilizar estos materiales, fomentando así una educación que es tanto tecnológicamente avanzada como pedagógicamente sólida.

Un material didáctico mediado por las TIC –o tecnopedagógico– es un recurso de base digital y multimodal diseñado específicamente para enseñar un contenido particular a un destinatario determinado (Odetti, 2013; Schwartzman y Odetti, 2011). Este tipo de material puede presentarse en múltiples modalidades derivadas del *e-learning*, como el *b-learning*, *u-learning*, *d-learning* y *m-learning*, entre otros. Sus variantes, a través de los *scripts*, permiten

generar diversas interacciones (tanto instruccionales como sociales) que se entienden como propiedades relacionales que facilitan la comunicación entre la persona y la interfaz digital y/o virtual (Almagro Holgado, 2020; Scolari, 2004).

Lograr una efectiva relación entre educación y tecnología implica integrar de manera equilibrada el componente tecnológico, pedagógico y disciplinar. Establecer estas relaciones presenta oportunidades y desafíos, siendo necesario tener un adecuado conocimiento de cada uno de los componentes, lo que implica diferentes niveles de abstracción. Esto plantea un problema para los docentes al diseñar materiales tecnopedagógicos. En diversas investigaciones referidas a la integración de las TIC (Andión Gamboa, 2011; Area-Moreira *et al.*, 2016; García Meneses *et al.*, 2021; González Fernández, 2021; Rodríguez-Torres, 2012), se intenta que los docentes aprendan y utilicen estas herramientas sin identificar y comprender en primer lugar el paradigma o metamodelo en el que se basan o apoyan sus ideas. Tal es el caso del TPCK, que se utilizará en el modelado y construcción del material tecnopedagógico. Incluso el proceso de conceptualización y aplicación ocurre de manera simultánea, sin otorgar tiempo para una comprensión conceptual significativa.

El proceso de abstracción es una práctica habitual y fundamental en el campo de la informática, y resulta esencial para tareas como la programación, el diseño web o el *machine learning*, e incluso en disciplinas tradicionales como las matemáticas. En cualquier campo de conocimiento, estos procesos conducen a la comprensión y al diseño, ya que implican la abstracción y la transferencia de conocimiento. De manera análoga, se busca aplicar esta práctica al campo de la didáctica de las ciencias naturales y de la tecnología, con aportes de la psicología cognitiva para el diseño de materiales tecnopedagógicos. Para lograrlo, se recurre al razonamiento analógico, que es una herramienta cognitiva que ayuda en la abstracción de esquemas relacionales para luego transferirlos a nuevas situaciones (D'Angelo, 2020; Gick y Holyoak, 1983).

1.1. El pensamiento analógico y los esquemas relacionales abstractos

La teoría de la abstracción del esquema relacional, como sugieren Gentner *et al.* (2009) y Gick y Holyoak (1983), indica que la abstracción analógica facilita la recuperación relacional de la memoria y la transferencia de conocimiento, lo que favorece una comprensión conceptual más profunda. En el contexto de la formación tecnopedagógica, esta teoría puede ser crucial. Aplicada a la educación, permite que los docentes en formación desarrollen la capacidad de representar de manera abstracta las interacciones entre la educación y la tecnología durante el diseño de materiales tecnopedagógicos. Esto es particularmente relevante para la enseñanza de las ciencias, donde las ideas abstractas y complejas necesitan ser presentadas de manera clara y accesible.

La «abstracción» se entiende como el proceso cognitivo que implica identificar las características esenciales e invariables de un objeto o concepto (Burgoon *et al.*, 2013). Este proceso requiere una codificación significativa y profunda de la información, esencial para comprender y manipular conceptos abstractos. En la formación inicial de docentes, especialmente en la preparación de futuros profesores de Física, la habilidad de abstraer y crear esquemas relacionales es fundamental para transformar la práctica pedagógica mediada por tecnología.

El diseño de materiales tecnopedagógicos que incorporan estos principios de abstracción puede abordar el desafío de integrar eficazmente las TIC en la enseñanza de las ciencias. Un enfoque para lograr esto es el uso del pensamiento por analogía, que permite a los educadores comparar análogos y desarrollar codificaciones más abstractas y centradas en las interrelaciones (Gentner *et al.*, 2009, Trench y Minervino, 2020). Por ejemplo, al diseñar un recurso digital para enseñar la física de los movimientos planetarios, los docentes pueden utilizar analogías con movimientos más familiares, como el de una rueda de bicicleta, para construir esquemas relacionales que faciliten la comprensión de los estudiantes.

Fortalecer la formación docente inicial en habilidades como el pensamiento analógico no solo facilita la integración de la tecnología en la educación, sino que permite la creación de experiencias de enseñanza ricas y significativas. Estas experiencias reflejan las complejas interacciones entre los conceptos científicos y sus aplicaciones tecnológicas. El desarrollo de este tipo de conocimiento se apoya en la capacidad de razonamiento analógico, que mejora la comprensión de cómo interactúan la persona, la tecnología y el contexto educativo. El pensamiento analógico es esencial en los procesos de enseñanza-aprendizaje porque permite una amplia gama de actividades cognitivas, como la resolución de problemas, la abstracción y el análisis de paradigmas, entre otros (Falkenhainer *et al.*, 1989). A través de la identificación y caracterización de similitudes entre situaciones, los docentes pueden transferir conocimientos desde un dominio bien conocido (análogo base: AB [por ejemplo, rueda de bicicleta]) a uno menos conocido (análogo meta: AM [por ejemplo, movimiento planetario]) (Forbus *et al.*, 1995; Gentner, 1983). Esto no solo enriquece la formación de los docentes, sino que también facilita la creación de materiales tecnopedagógicos que integren las TIC, adaptando las estrategias educativas a las demandas del siglo XXI.

Identificar similitudes y diferencias, así como realizar la transferencia de conocimiento, son dos de los subprocesos del razonamiento analógico que lo caracterizan (Gentner *et al.*, 2003; Hummel y Holyoak, 1997). Otros subprocesos de este razonamiento son la recuperación (se da cuando una idea presente en la memoria de trabajo permite recordar una situación o paradigma similar almacenado en la memoria a largo plazo), el establecimiento de correspondencias o mapeo (al disponer de dos casos en la memoria de trabajo, se generan representaciones y se realizan inferencias de un análogo al otro) y la evaluación (después del mapeo, se valoran las analogías y sus inferencias).

Dado que el pensamiento analógico es uno de los procesos cognitivos más complejos utilizados por las personas, se convierte en un mecanismo fundamental para buscar patrones que conectan ideas, conceptos, paradigmas y situaciones en diversos dominios (Minervino *et al.*, 2012). Estas habilidades perceptivas son promovidas por la heurística de las personas en la creación y el diseño de materiales tecnopedagógicos. Por lo tanto, el estudio de los subprocesos del razonamiento por analogía en la formación docente inicial facilita la representación retrospectiva (pensar en lo que se busca hacer basándose en un AB) y la representación prospectiva (planificar lo que se desea hacer basándose en un AM que funciona como modelo) (Salica y Olguín, 2023).

Para lograr esto, es necesario realizar mapeos entre los esquemas análogos, que, en este caso, son ejemplos que los futuros profesores de Física utilizan como representaciones mentales de sus ideas para enseñar ciencias mediadas por las TIC. Estas representaciones varían en su grado de codificación y derivan de la abstracción analógica que ocurre durante el proceso de recuperación relacional. La utilización de estas representaciones permitirá diseñar y modelar los materiales tecnopedagógicos con el más alto nivel de abstracción posible (D'Angelo, 2020; Gick y Holyoak, 1983).

Durante el diseño del material tecnopedagógico, los subprocesos del razonamiento analógico desempeñan un papel fundamental al permitir la transición de un nivel de abstracción a otro. Además, los análogos utilizados pueden provenir de diferentes dominios o campos de conocimiento, lo que se conoce como «analogías interdominio». Es importante tener en cuenta que, aunque los ejemplos pueden compartir propiedades y/o una estructura relacional común, los análogos en sí pueden diferir en apariencia superficial, lo cual se conoce como «distancia semántica» y puede ser tanto abstracta como concreta. Si se establece una equiparación entre sistemas de relaciones, se habla de similitud entre sistemas de relaciones (Minervino *et al.*, 2012).

2. Objetivo

A partir de la problemática formulada y el enfoque interdisciplinar descrito, el objetivo de la investigación se ha enfocado en lo siguiente:

Generar esquemas relacionales abstractos mediante el uso del razonamiento analógico para la integración de las TIC en la enseñanza de la Física.

Estos esquemas constituyen representaciones abstractas de la relación entre educación y tecnología, lo cual fundamenta el diseño del material tecnopedagógico elaborado por los futuros profesores de Física.

3. Método

El trabajo de investigación presentado se caracteriza por su enfoque interdisciplinario, dado que se inscribe en la interfaz entre el campo de la didáctica de las ciencias naturales, su tecnología y la psicología cognitiva. Esta integración es crucial para el diseño de materiales tecnopedagógicos que no solo promuevan un aprendizaje profundo y contextualizado, sino que también exploren las potencialidades de las TIC en los contextos educativos (García y Estany, 2010; Izquierdo i Aymerich y Estany Profitós, 2001). La noción de *affordance*, tomada del diseño de interfaces y adaptada a la educación, es fundamental en este contexto. Se refiere a cómo las propiedades de las TIC pueden facilitar o restringir ciertas acciones en el entorno educativo, influenciando la forma en que los estudiantes interactúan con el contenido y el conocimiento (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018).

El uso del razonamiento analógico en la creación de materiales permite a los futuros profesores de Física identificar y utilizar estas *affordances* de manera adecuada, fortaleciendo su capacidad para integrar la tecnología en la enseñanza de manera significativa y coherente (García y Estany, 2010; Izquierdo i Aymerich y Estany Profitós, 2001).

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación es cualitativo, descriptivo e interpretativo, con énfasis en el estudio de casos teóricos. Esto permite una exploración profunda y detallada de los procesos de pensamiento involucrados en el diseño de materiales tecnopedagógicos. La recopilación de datos se realizó en el contexto del «Taller de Tecnología Educativa», un espacio natural en el que se desarrolló la propuesta de formación destinada a los futuros profesores de Física. Durante el desarrollo del taller, se utilizaron métodos como las observaciones participativas y los análisis de las producciones documentales para captar las perspectivas y experiencias de los participantes (Sinclair Taylor, 2014; Stake, 1995). La participación activa de los investigadores y de los estudiantes en estos encuentros virtuales fue fundamental, ya que facilitó la inmersión directa en las situaciones de aprendizaje, permitiendo una recolección de datos rica y contextualizada (Neiman y Quaranta, 2006).

La construcción de categorías analíticas en este estudio se basó en las interpretaciones y significados que los docentes participantes atribuyeron a sus experiencias durante los talleres. Utilizando un enfoque inductivo, se identificaron temas emergentes a partir de los datos recopilados, guiados por marcos conceptuales previamente establecidos en la literatura sobre razonamiento analógico y tecnología educativa (Clement, 1993; Minervino *et al.*, 2012). Estos temas ayudaron a estructurar la comprensión de cómo los participantes conceptualizan y aplican los principios del razonamiento analógico en el diseño de materiales tecnopedagógicos.

La noción de *affordance* es fundamental en este contexto. Se refiere a cómo las propiedades de las TIC pueden facilitar o restringir ciertas acciones en el entorno educativo, influenciando la forma en que el alumnado interactúa con el contenido y el conocimiento

El proceso de diseño del material tecnopedagógico se articuló en tres momentos clave. Primero, la discusión y socialización del AB, que sirvió como punto de partida para la identificación de conceptos fundamentales en la Física y su relación con la tecnología educativa. En la segunda fase, los participantes desarrollaron un análogo puente, que facilitó la transición de los principios abstractos del AB a un contexto más específico (AM), manteniendo similitudes que ilustran la transferencia de conocimiento (Clement, 1993). Finalmente, el tercer momento se centró en la creación de un esquema relacional abstracto, que sintetizó las relaciones y los atributos identificados en el AB y los aplicó al AM, formando así el material tecnopedagógico final.

En la etapa de evaluación, se revisó cuidadosamente la transferencia de atributos y relaciones desde el AB al AM, asegurando que el material tecnopedagógico resultante reflejara una representación coherente y útil de las interacciones entre educación y tecnología. Este proceso permitió a los futuros profesores de Física desarrollar una comprensión más profunda de cómo integrar las TIC en su práctica docente, promoviendo una enseñanza innovadora y eficaz (Forbus *et al.*, 1995; Gentner, 1983).

3.1. Desarrollo del «Taller de Tecnología Educativa»

El desarrollo de los encuentros virtuales tuvo una duración de dos meses, con un encuentro semanal de cuatro horas. Las producciones de los participantes fueron autogestionadas y elaboradas enteramente en forma digital. La selección y organización de los contenidos disciplinares, así como la selección del AB, fueron trabajados, discutidos y socializados entre los participantes, una vez definido el AM, con el posterior desarrollo del esquema abstracto que representa el *affordance*.

3.2. Características de los participantes

La investigación se enfocó en el «Taller de Tecnología Educativa» del profesorado de Física, donde todos los estudiantes con las materias correlativas participaron como muestra debido a la baja matrícula. Esta elección se debió a dos razones principales: la limitación en el número total de estudiantes disponibles y la oportunidad de observar diversas interacciones y enfoques en el uso de las TIC en la enseñanza de la Física. A pesar del tamaño reducido de la muestra, cada participante ofreció perspectivas únicas sobre la integración de las TIC en la enseñanza, facilitando un análisis exhaustivo del desarrollo de habilidades tecnopedagógicas entre los futuros docentes. Esta aproximación permitió obtener *insights* valiosos sobre el diseño y la aplicación de materiales educativos tecnológicamente integrados.

A pesar del tamaño reducido de la muestra, cada participante ofreció perspectivas únicas sobre la integración de las TIC en la enseñanza, facilitando un análisis exhaustivo del desarrollo de habilidades tecnopedagógicas entre los futuros docentes

En el cuadro 1 se describen las características de los participantes, un total de 3 estudiantes del profesorado en Física, quienes comparten cualidades semejantes en cuanto a su experiencia previa antes de iniciar el taller.

Cuadro 1. Cualidades de los participantes

Disciplina	Física
Número de participantes	3
Edad promedio (años)	27
Estudiante en ejercicio de la docencia	Educación secundaria/bachiller.
Formación didáctica previa	Didáctica general y específica.
Experiencia en el uso de las TIC	Usos educativos escolares.

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

En el siguiente apartado se describen las etapas del razonamiento analógico, desarrolladas en la línea disciplinar (Física) que constituye el grupo de participantes.



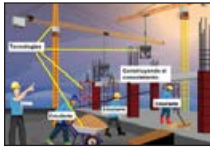
El diseño del material tuvo como destinatario hipotético a los estudiantes del sistema educativo de la educación secundaria. Cada momento de razonamiento se realizó a partir de una pregunta orientadora.

4.1. Análogo base

¿Cuál es el AB que ofrece los atributos del AM?

En esta etapa de la investigación, el AB seleccionado por cada participante se basa en experiencias y contextos personales. En el cuadro 2 se describe la descomposición de los tres AB mapeados (relaciones, propiedades y sus argumentos), que resultan similares, pero no idénticos.

Cuadro 2. Mapeo del AB de cada participante

Participante coautor		1	2	3
AB		AB-1. Orquesta	AB-2. Videojuego	AB-3. Edificio en construcción
Atributos	Análogo icónico			
	Descripción	Orquesta o banda de jazz. La combinación de estas sería <i>una big band</i> de jazz (por ejemplo, Duke Ellington and The Big Band).	Desarrollo de un videojuego con sus niveles y mecánicas (por ejemplo, <i>League of Legends</i>).	Planificación y construcción de una edificación.
Similitud de relaciones	Enseñar ciencias es como...	Componer una partitura de orquesta.	Un juego de estrategias por equipos.	Construir un edificio.
	Un estudiante es como...	Un instrumentista.	Un personaje jugador.	Un técnico, un obrero y un profesional (arquitecto).
	El docente es como...	Un director de orquesta.	Un mapa o escenario lúdico programado.	Un jefe de obra.
	El contenido disciplinar es como...	Una partitura.	Habilidades y runas.	Saberes de oficio.
	La metodología organizativa es como...	Organizarse en grupos por tipos de instrumentos de diversas composiciones.	Organizarse en partidas (secuencia de escenarios lúdicos diferentes) según objetivo y mapas.	Organizarse en etapas, sectores y actividades.
Nivel de abstracción		Concreto.	Abstracto.	Concreto.
Distancia semántica		Interdominio.	Interdominio.	Interdominio.

Fuente: elaboración propia.

Para cada AB se utilizó una representación externa basada en un formato visual para simplificar los numerosos apareamientos que conllevan los análogos descritos en el cuadro 2. El AB del caso 1 y 3 comparten el mismo nivel de abstracción, siendo de tipo concreto, mientras que el caso 2 es de tipo abstracto. En cuanto a la distancia semántica, los tres son de tipo interdominio. Estos análogos difieren en las características superficiales, pero mantienen un sistema idéntico de relaciones.

A través de la interacción y comunicación entre los miembros del equipo de investigación y los participantes, se presentan los argumentos que describen los tres AB. Con base en estos argumentos, se elabora y presenta en el cuadro 3 el esquema relacional inicial de los análogos mencionados, así como el análogo puente que deriva de cada uno. Es importante destacar que cada análogo puente aporta un aspecto diferente al esquema relacional ideal. Este último surge por consenso, como resultado de la evaluación de los análogos, y representa el resultado deseado que orientará el material tecnopedagógico futuro.

Cuadro 3. Argumento de los análogos y *affordance* inicial

Ejemplo del AB	AB-1. Orquesta	AB-2. Videojuego	AB-3. Edificio en construcción
Argumento del esquema relacional inicial	Una orquesta es una construcción armoniosa de talentos individuales, donde cada músico es como un obrero de la melodía y la armonía. Juntos, ensamblan las notas como si fueran bloques de construcción para edificar una sinfonía majestuosa que resuena en el público.	Un videojuego de estrategia es una experiencia de ingenio y planificación, donde el jugador puede ser parte del escenario y debe aprender a tomar decisiones utilizando sus recursos para superar los desafíos. También puede requerir del trabajo conjunto de otros jugadores con sus avatares.	La edificación de una construcción es como un complejo rompecabezas tridimensional que requiere del esfuerzo conjunto de arquitectos, ingenieros y trabajadores del rubro. Cada piedra, viga y columna son como elementos que se ensamblan con precisión para dar forma a un edificio sólido y funcional.
Análogo puente	«La enseñanza es como un arte».	«Enseñar es como un juego de estrategias».	«La enseñanza se basa en la edificación del conocimiento».
Esquema relacional ideal	Al edificar el conocimiento, el docente actúa como arquitecto intelectual, cimentando los fundamentos y estructurando las ideas para que los estudiantes, apoyados por la tecnología, puedan desarrollar una comprensión sólida.		

Fuente: elaboración propia.

Tras una profunda discusión entre los participantes, se ha observado que las tres analogías divergen en algunos aspectos, pero también se complementan en otros. Esta observación resulta crucial, ya que revela cómo los atributos del sistema de relaciones en cada ejemplo inicial interactúan entre sí. De esta manera, se sientan las bases para la creación del «análogo puente» y el posterior desarrollo del esquema relacional ideal.

4.2. Análogo puente del *affordance*

¿Cómo perciben el escenario educativo mediado por las TIC?

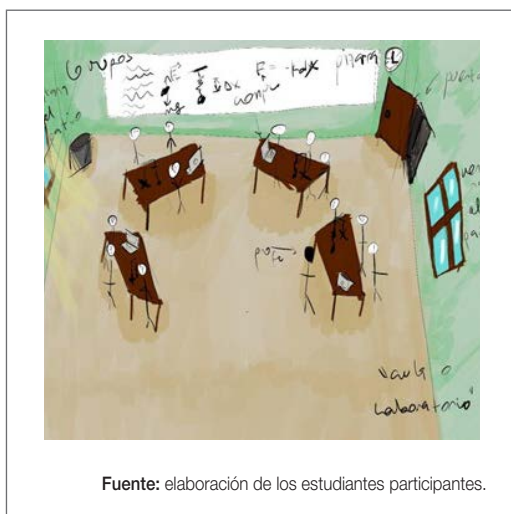
A partir de la pregunta, se inicia una exploración de imágenes en la memoria de largo plazo o en su diseño para representar el escenario educativo científico escolar mediado por tecnologías. Esta exploración se basa en los análogos mentales de los participantes, que se fundamentan en los aspectos básicos mapeados.

La figura 1 es un análogo puente con formato visual (AM icónico) que ha sido creada por los propios participantes y que representa el escenario del material tecnopedagógico hipotético, derivado de la divergencia de los tres AB.

La imagen posee un contenido figurativo realista significativo. Esta combina los diversos atributos y sistemas de relaciones de cada AB. El escenario educativo icónico sintetiza la ecología del aprendizaje, es decir, la interacción entre artefactos, personas y ambiente tecnopedagógico.

En la citada imagen se codifican diferentes tecnologías, tanto digitales como convencionales. Su objetivo es representar un espacio educativo multimodal que facilite la indagación científica en el ámbito escolar. El escenario se presenta como una forma de razonamiento didáctico aplicado a la enseñanza de la física escolar y configura una estructura hipotética de la ecología del aprendizaje de las ciencias.

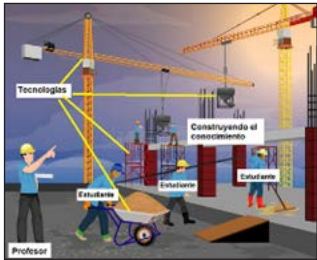

Figura 1. Representación visual del *affordance*



4.3. Análogo puente y esquema relacional

En el cuadro 4, se presentan los resultados de un nuevo mapeo que describe los predicados compartidos (semejanzas) y no compartidos (diferencias) entre los análogos. Estos resultados surgen como producto de la transferencia de conocimiento entre los diferentes análogos, lo que da lugar a la abstracción analógica en el diseño conceptual del material tecnopedagógico.

Cuadro 4. Transferencia de conocimiento entre análogos

Campo de origen	Arquitectura	Educación	
Tipo de análogos	AB (concreto)	AM (abstracto)	
Análogos icónicos			
Predicados compartidos o no compartidos (atributos y relaciones)	Construcción		
	De una obra arquitectónica.	Del conocimiento científico escolar.	
	Tecnología		
	«La diversidad de materiales, herramientas y maquinarias de construcción».	... es como...	«La diversidad de materiales escolares (tecnología digital, instrumentos de laboratorio y herramientas convencionales)».
	Dirección de la obra		
El arquitecto dirige y guía la construcción.	... es como...	El docente/profesor dirige o guía la enseñanza.	





Tareas de construcción			
Predicados compartidos o no compartidos (atributos y relaciones) (cont.)	Son «funciones» de los «albañiles de oficio» mediante:	Diversidad de habilidades y saberes.	Son «aprendidas» por los «estudiantes» mediante:
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento • Construcción • Instalación • Preparación • Terminaciones • Demolición 	Diferencias en el «proceso de desarrollo de la construcción».	<ul style="list-style-type: none"> • Indagación • Exploración • Explicación • Elaboración • Transferencia • Evaluación

Fuente: elaboración propia.

La comparación de análogos mediante la extrapolación de los atributos de objetos y/o relaciones atiende particularmente a la estructura de las representaciones del conocimiento de ambos análogos y del contenido de cada contexto o sistema (arquitectura y educación) al que corresponde, siendo de tipo parcial, dado que son analogías interdominio y poseen propiedades compartidas.

A partir de estos elementos, se construye el esquema conceptual analógico relacional, caracterizado en el cuadro 5 y representado en la figura 1.

Cuadro 5. Características del esquema conceptual analógico relacional

Tipo de representación	Escenario educativo de autor realista.	
Teoría epistemológica educativa	Constructivismo.	
Modalidad de aprendizaje	Colaborativo.	
Modalidad educativa	Híbrido (<i>b-learning</i>).	
Modelo didáctico	Modalidad organizativa	Interaccionismo multimodal.
	Metodología didáctica	Indagación científica escolar.
	Rol de los estudiantes	Constructores del conocimiento.



Modelo didáctico (cont.)	Rol docente	Guía-orientador, organizador y gestor del proceso educativo.
	Herramientas de comunicación	WhatsApp, blogs, redes sociales, correos electrónicos, videollamadas, etc.
	Secuenciación didáctica del proceso de aprendizaje	Proceso didáctico basado en escenarios lúdicos que ayudan a pasar por los diferentes niveles.
	Tipos de fuentes de información	Convencional y digital.

Fuente: elaboración propia.

El esquema conceptual abstraído describe una modalidad educativa que combina la presencialidad física en un entorno de aula escolar con el uso de la virtualidad a través de plataformas educativas, dispositivos digitales y canales de comunicación formales e informales. Estos atributos se organizan para fomentar un proceso de enseñanza en el que cada estudiante construye conocimiento bajo la guía del docente y en colaboración con sus compañeros.

4.4. Diseño del material tecnopedagógico

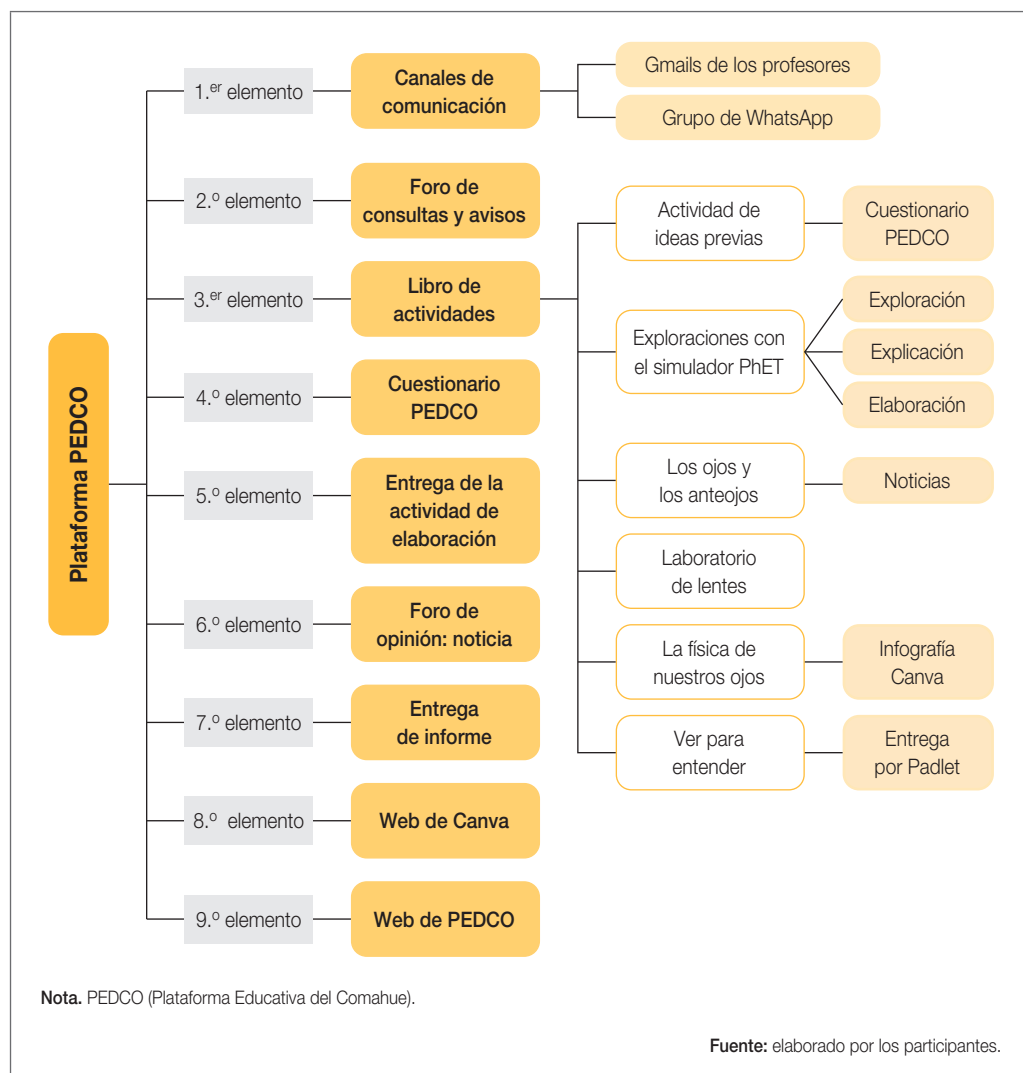
¿Cómo es el esquema que representa el diseño del material tecnopedagógico?

La etapa final del proceso de construcción del material tecnopedagógico se basó en un enfoque divergente al incorporar diferentes atributos y sistemas de relaciones de los tres AB. Esta divergencia permitió a los participantes incorporar nuevos significados en la relación entre educación y tecnología, ya sean predicados compartidos o no entre los análogos.

Específicamente, los participantes decidieron elaborar el material tecnopedagógico basándose principalmente en la lógica que describe una obra de construcción (véase cuadro 3: AB-3). Este análogo presenta una similitud entre sistemas de relaciones con los demás AB. De esta manera, el AB-3, con su esquema relacional, asume una categoría de orden superior (un esquema más abstracto que conserva los aspectos esenciales) bajo el cual quedan indexados los demás análogos. Este cambio relacional se materializa en el diseño del esquema abstracto del material tecnopedagógico.

La estructura compartida está implícitamente relacionada con las categorías del TPCK: pedagógica, tecnológica y disciplinar, utilizando un método inductivo de categorización. Aunque la verdad de la premisa no asegura la conclusión, este proceso analógico facilita la identificación del orden didáctico que se busca seguir en el diseño del material tecnopedagógico. De esta manera, el esquema descriptivo (véase figura 2) del material tecnopedagógico se diseña configurando los recursos y las actividades disponibles en la plataforma educativa, siguiendo una secuencia que promueve un enfoque constructivista y colaborativo.

Figura 2. Esquema descriptivo del material tecnopedagógico



La estructura del material se fundamenta en un formato de navegación dentro de una sección específica en la plataforma educativa. Esta sección utiliza la herramienta «Libro», que permite acceder y desarrollar toda la secuencia de actividades tecnopedagógicas. Estas se identifican y analizan las relaciones entre educación y tecnología utilizando las siguientes categorías extraídas de Leal-Urueña y Rojas-Mesa (2018):

- **Ubicuidad.** En una misma sección se dispone de los canales de comunicación que permiten la conexión entre el profesor de Física y sus estudiantes, articulando la presencialidad con la virtualidad. Los canales de comunicación combinan medios formales (*e-mails* y foros) e informales (redes sociales, WhatsApp, etc.).
- **Trabajo colaborativo y multimodalidad.** Se dispone de las herramientas y recursos para la elaboración y entrega de las producciones colaborativas del tema disciplinar (simuladores, fuentes de información y edición del contenido).
- **Metacognición.** Las actividades persiguen una lógica de enseñanza constructivista cuya secuencia didáctica apremia el orden siguiente: identificar las ideas previas, explorar la herramienta de aprendizaje (simulador), explicar el contenido y elaborar las ideas científicas escolares, transferir estas ideas a la problemática desde un encuadre disciplinar (física óptica aplicada a la oftalmología). Esta secuencia admite el desarrollo de capacidades de monitoreo y regulación de la progresión de los aprendizajes.
- **Creación y difusión.** Editar el contenido mediante el uso de aplicaciones de acceso abierto y publicación *online* que permitan reconceptualizar las ideas científicas escolares.

5. Discusión

Los resultados de esta investigación tuvieron como objetivo fomentar el diseño de un esquema relacional abstracto, elaborado mediante el pensamiento analógico, para futuros profesores de Física. Este proceso implicó el desafío de identificar y construir analogías que sirvieran como puente de conocimiento entre dos estados de formación (Clement, 1993):

- **Estado inicial.** Análogo base (AB) (por ejemplo, una obra en construcción).
- **Estado final.** Análogo meta (AM) y su esquema relacional abstracto (por ejemplo, un material tecnopedagógico).

Para alcanzar este objetivo, se adoptó un enfoque metodológico interdisciplinario que se aleja de las perspectivas educativas tradicionales que separan los entornos físicos de los digitales (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018). En cambio, se integraron los aportes de la

didáctica de las ciencias naturales, la tecnología y la psicología cognitiva, elementos clave todos ellos en la fundamentación de este estudio de investigación.

Representaciones visuales, como análogos icónicos, fueron utilizados para externalizar y clarificar estas relaciones, lo que facilitó tanto la comprensión como el diseño del material, cuyos ejemplos específicos se detallan en los cuadros 3 y 4. Este enfoque interdisciplinario permitió abordar la complejidad de la integración de las TIC en la enseñanza de la Física de manera holística.

La discusión de esta investigación se centra en cómo cada uno de estos campos de conocimiento –didáctica de las ciencias naturales, tecnología y psicología cognitiva– contribuyó a la elaboración del esquema relacional abstracto y cómo estos aportes interrelacionados proporcionan una base sólida para la formación de futuros docentes.

5.1. Discusiones con énfasis en la psicología cognitiva

El razonamiento analógico desarrollado exigió una serie de procesos de mapeo en diferentes niveles de análisis para focalizar en el AB-3 y en el esquema relacional análogo. Esto da cuenta de que los participantes encuentran una similitud entre sistemas de relaciones, donde dicho análogo resulta más cercano con el análogo del esquema abstracto relacional elaborado debido al alto grado de similitud de categorías: coincidencia entre propiedades, atributos y relaciones (Hummel y Holyoak, 1997). Además, el uso de representaciones visuales, como los análogos icónicos utilizados (AB) y creados (AM icónico), facilita la externalización de las representaciones y sus inferencias, siguiendo el principio de sistematicidad. Es decir, cuando una persona se enfrenta a la tarea de comparar dos situaciones relativamente complejas tiende a buscar primero un sistema de conexiones compartido en lugar de un conjunto de hechos aislados que sean comunes (Minervino *et al.*, 2012). Este principio es fundamental para comprender en profundidad ideas y conceptos, como el establecimiento de relaciones del TPCK, que caracterizan a las analogías complejas (Minervino *et al.*, 2012; Trench y Minervino, 2020).

En este contexto de formación cognitivo-didáctica, es importante destacar el potencial del uso de análogos puente (Clement, 1993) como un proceso intermedio que contribuye a la comprensión conceptual mencionada anteriormente, facilitando la relación entre el AB y el AM, y generando un esquema abstracto (Gentner *et al.*, 2009).

Los subprocesos de razonamiento analógico, junto con un trabajo marcado de identificación y caracterización de cada análogo, facilitaron la transferencia de información entre el AB y el AM (Minervino *et al.*, 2012). Esto tiene un impacto en los esquemas relacionales abstractos y genera potenciales escenarios de aprendizaje híbridos (Burgoon *et al.*, 2013; D'Angelo, 2020; Kalantzis y Cope, 2015). Por otro lado, los ejemplos del AB y su convergencia en el AM, de tipo concreto y con distancia semántica interdominio, con-

tradicen la premisa de Day y Goldstone (2012). Es decir, los resultados muestran que el nivel de abstracción concreto entre los análogos facilita la comprensión, centrándose en el componente pedagógico y didáctico de las TIC. Además, por inducción promueve una adecuada transferencia de conocimiento, focalizada en las relaciones entre educación y tecnología (Gentner *et al.*, 2009; Holyoak *et al.*, 2001). El nivel de abstracción de los análogos se caracteriza por una codificación significativa que facilita el entramado relacional del TPCK, enriquecido por los aspectos de la práctica de enseñanza que poseen los participantes. Esto es similar a las tareas realizadas por el personal de oficio en una obra de construcción. Dichos resultados corroboran los hallazgos obtenidos por Gentner *et al.* (2009), quienes indican que la abstracción analógica ayuda en la recuperación relacional de la memoria, la transferencia de conocimiento y la codificación más abstracta, que, a su vez, resulta significativa.

5.2. Discusiones en torno a la didáctica de las ciencias naturales

Desde una perspectiva didáctica, el esquema relacional abstracto permitió sintetizar la ecología del aprendizaje, cuya esencia se da en la estructura subyacente de cada AB. Cada ejemplo de análogo conforma una idea o concepto para la construcción de significados y representa una determinada forma de interacción entre el estudiante, la tecnología y el conocimiento disciplinar (Overdijk *et al.*, 2012). De esta manera, estos tres análogos tienen un denominador común que implica un proceso de diseño y planificación por etapas o niveles de progresión. Ya sea el diseño de una partitura de una orquesta, el desarrollo de un videojuego con sus niveles y mecánicas o la planificación y construcción de una edificación, en todos ellos se requiere un enfoque organizado y una visión clara del resultado final (Salica y Olguín, 2023).

El material tecnopedagógico elaborado se basa en una lógica debidamente organizada y secuenciada que facilita el aprendizaje de la disciplina. Específicamente, el material integra y conecta las actividades presenciales con las virtuales, superando las aparentes discontinuidades físicas y virtuales, formales e informales (Kalantzis y Cope, 2015). Además, las actividades se enriquecen con evaluaciones flexibles que brindan retroalimentación. Las aplicaciones de simulaciones interactivas de PhET (Universidad de Colorado) añaden multimodalidad al material, lo que permite una mejor representación de las ideas científicas, las cuales suelen tener un alto contenido abstracto (Area Moreira, 2017; Bautista Sánchez *et al.*, 2014; Gallardo Fernández *et al.*, 2021; George Reyes, 2020).

Esto último posibilita avanzar en el contenido disciplinar con diferentes niveles de profundidad, es decir, permite implicar al estudiante y progresar gradualmente en la complejidad del contenido tal como ocurre con un videojuego de estrategias. En síntesis, el material tecnopedagógico rescata los principales aspectos relacionales de cada AB, transferidos de manera significativa en la estructura subyacente del AM.

5.3. Discusiones con foco en la relación educación-tecnología

El material tecnopedagógico surge de una relación altamente abstracta entre diferentes dominios, lo cual destaca la conexión entre los contenidos, el sujeto y la tecnología, permitiendo la creación de espacios de acción mixtos o híbridos. Esto refleja la perspectiva de Pfaffenberger (1992) sobre el *affordance*, quien sostiene que este es de naturaleza múltiple. Este aspecto se refleja en el uso de diversos recursos digitales y en sus correspondientes actividades (Leal-Urueña y Rojas-Mesa, 2018). Además, el análogo icónico del esquema descriptivo del material tecnopedagógico resalta el papel activo de los estudiantes en el aprendizaje asistido por tecnología (Chien *et al.*, 2012).

La esencia identificada en los tres AB, basada en un material con un enfoque estructurado, pero flexible, y una visión definida del resultado final, implica una reconceptualización de la percepción sobre las oportunidades que brindan las TIC. Esto conlleva la reconfiguración de las interacciones entre el sujeto, la tecnología y el contexto sociotecnológico educativo en el que se desarrollan (Overdijk *et al.*, 2012). Es importante destacar que no se trató, simplemente, de añadir recursos y actividades sin sentido mediante el uso de las TIC.

Al llevar a cabo los subprocesos del razonamiento analógico, en un contexto de formación cognitivo-didáctico, se fortalece la identificación de similitudes entre los análogos, lo cual permite resaltar la información relevante de los componentes del TPCK. En este proceso dual, al comparar la información de los objetos análogos, se da énfasis a la información del objeto de referencia, basándose en el conocimiento que la persona que razona tiene del objeto de base (Gentner y Markman, 1997).

De esta manera, se focaliza la atención en aspectos menos evidentes del entramado conceptual del TPCK que involucra la compleja relación entre educación y tecnología, lo que deriva en un cambio relacional e impacta en la percepción que se tiene de la misma. En términos de Gick y Holyoak (1983), el AB-3 queda indexado como marco paraguas de un esquema más abstracto, dado que conserva los aspectos esenciales que hará comprensible el entramado conceptual de la relación educación-tecnología.

6. Conclusiones

El material tecnopedagógico no se limita a ser un proceso de planificación, diseño y creación, sino que también es una recopilación de conceptos e ideas científicas escolares organizados en una topografía relacional multimodal. Este contenido se destaca por su organización y su visión clara del resultado final deseado. Reside tanto en el paradigma de la multimodalidad tecnopedagógica como en el paradigma epistémico del conocimiento, ofreciendo una forma diferente, pero facilitada por la tecnología, de reinterpretar el cono-

cimiento científico y conectar las piezas. El material tecnopedagógico diseñado permite la exploración, visualización y difusión de los conceptos disciplinares.

El esquema análogo abstracto, basado en el AM, se fundamenta principalmente en la idea del proceso de enseñanza como una obra, ya sea una obra de construcción que sustenta el diseño, una obra de arte como una orquesta o una estrategia de videojuegos. Estos análogos generan una codificación semántica que promueve un aprendizaje más profundo y duradero sobre la relación entre el componente tecnológico, pedagógico y disciplinar. El punto en común de los tres AB se sintetiza en el AM, que permite reflexionar y resignificar la continua interacción entre tecnología, persona y entorno.

Todo esto implica una reconceptualización de la relación entre educación y tecnología, principalmente promovida a través del razonamiento analógico, mediante la comparación y el resaltado de similitudes y diferencias entre los análogos, centrado en las relaciones. Estas cualidades son percibidas y transferidas de manera intercontextual entre los análogos, ya que se ven en relación con las cualidades de cada uno. La identificación de estas semejanzas y diferencias tensiona la función original y otorga nuevos significados a la relación entre sujeto, entorno y tecnología. Es decir, la codificación producida en el esquema análogo relacional emerge por la alineación y abstracción entre los AB y el AM, mediada implícita y bidireccionalmente por el análogo puente.

Además, el enfoque de investigación basado en el razonamiento por analogía pone énfasis en cada uno de estos elementos y su correspondiente esquema relacional abstracto. Esto determina que incrementar la comprensión que exige la integración de los componentes del TPCK es un proceso complejo que requiere de relaciones vinculadas por un orden superior, como es la categoría relacional educación-tecnología, y ecologías del aprendizaje.

La integración de las TIC en la enseñanza de la Física es esencial en el contexto educativo del siglo XXI. Esta investigación se ha centrado en fomentar el diseño de esquemas relacionales abstractos mediante el pensamiento analógico, facilitando la formación tecnopedagógica de futuros profesores de Física. Esta estrategia es especialmente relevante a la luz de la pandemia provocada por la COVID-19, donde la capacitación docente en entornos de educación remota de emergencia se convirtió en un imperativo. Estudios realizados durante la pandemia, como el de González Fernández (2021), resaltan cómo la enseñanza en línea transformó el rol del docente, requiriendo no solo el dominio de herramientas tecnológicas, sino también una comprensión profunda de la didáctica específica en un entorno virtual.

De manera similar, el presente estudio demuestra que la formación intensiva en contextos virtuales puede mejorar significativamente la adaptación de los docentes a los desafíos tecnológicos y didácticos, subrayando la necesidad de una formación que combine conocimientos tecnopedagógicos.

El enfoque interdisciplinario adoptado, integrando la didáctica de las ciencias naturales, la tecnología y la psicología cognitiva, ha sido fundamental para abordar la complejidad de diseñar materiales tecnopedagógicos. Este enfoque permitió superar las limitaciones de las investigaciones tradicionales que separan los entornos físicos y digitales, utilizando representaciones visuales y análogos icónicos para externalizar y clarificar las relaciones complejas involucradas en el proceso de enseñanza.

La integración de las TIC en la enseñanza de la Física es esencial en el contexto educativo del siglo XXI. Esta investigación se ha centrado en fomentar el diseño de esquemas relacionales abstractos mediante el pensamiento analógico, facilitando la formación tecnopedagógica de futuros profesores de Física

Aunque la muestra pequeña, de solo tres estudiantes en el «Taller de Tecnología Educativa», limita la generalización de los resultados, cada participante aportó perspectivas valiosas sobre la integración de la tecnología en la práctica educativa. Esto refleja una tendencia común en los programas de formación en Física, los cuales, a menudo, presentan el desafío de bajas matrículas.

A pesar de los valiosos *insights* obtenidos, la investigación presenta varias limitaciones que sugieren direcciones futuras prometedoras. La metodología cualitativa y descriptiva empleada aquí proporcionó una comprensión profunda de los procesos de pensamiento y diseño en un contexto específico, pero no abordó cómo estos enfoques podrían aplicarse de manera más amplia o cuantificable.

Además, la exclusividad del razonamiento analógico podría haber marginado otros enfoques cognitivos y pedagógicos igualmente valiosos en la formación docente. Futuros estudios deberían ampliar el tamaño de la muestra y diversificar los contextos educativos para validar la eficacia del enfoque interdisciplinario en diferentes entornos.

La integración de la inteligencia artificial en la formación docente y el diseño de materiales tecnopedagógicos es una dirección especialmente prometedora. La inteligencia artificial puede personalizar y optimizar el aprendizaje proporcionando retroalimentación en tiempo real y adaptando los recursos educativos a las necesidades individuales.

Estudios longitudinales que sigan a los futuros profesores a lo largo de su carrera podrían ofrecer *insights* cruciales sobre el impacto a largo plazo de los esquemas relacionales abstractos y el razonamiento analógico en la práctica docente.

Asimismo, el desarrollo de herramientas robustas de evaluación es crucial para medir la efectividad de estos materiales y la capacidad de los docentes para integrar las TIC en la enseñanza de la Física, capturando tanto aspectos cualitativos como cuantitativos del proceso educativo. Estas herramientas proporcionarían una base sólida para la mejora continua de la formación docente en la era digital.

Referencias bibliográficas

- Almagro Holgado, M. (2020). Límites de la noción de «affordance» y de la concepción de lo mental en el marco de la psicología ecológica. *Teorema*, 39(1), 135-149.
- Andión Gamboa, M. (2011). La integración de las TIC a la educación formal como problema de investigación. *Reencuentro. Análisis de Problemas Universitarios*, 62, 10-19.
- Area Moreira, M. (2016). La metamorfosis digital del material didáctico tras el paréntesis Gutenberg. *RELATEC. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 16(2), 13-28. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.16.2.13>
- Area-Moreira, M., Hernández-Rivero, V. y Sosa-Alonso, J. (2016). Modelos de integración didáctica de las TIC en el aula. *Comunicar*, XXIV(47), 79-87.
- Bautista Sánchez, M.^a G., Martínez Moreno, A. R. e Hiracheta Torres, R. (2014). El uso de material didáctico y las tecnologías de información y comunicación para mejorar el alcance académico. *Ciencia y Tecnología*, 14, 183-194. https://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2014/14/CyT_14_11.pdf
- Burgoon, E. M., Henderson, M. D. y Markman, A. B. (2013). There are many ways to see the forest for the trees: a tour guide for abstraction. *Perspectives on Psychological Science*, 8(5), 501-520. <https://doi.org/10.1177/1745691613497964>
- Buteler, L., Arriasecq, I., Pesa, M. y Massa, M. (2019). La investigación en la educación en Física: estado actual y nuevas perspectivas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(2), 5-15. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26902>
- Chien, Y.-T., Chang, C.-Y., Yeh, T.-K. y Chang, K.-E. (2012). Engaging pre-service science teachers to act as active designers of technology integration: a MAGDAIRE framework. *Teaching and Teacher Education*, 28(4), 578-588. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0742051X11001570>
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1.241-1.257. <https://www.csun.edu/learningnet/TeachScience/UPimages/3/32/Bridginganalogies.pdf>
- D'Angelo, V. (2020). Posibles aportes del razonamiento analógico al problema de la abstracción y transferencia en la enseñanza de programación. *Revista Colombiana de Computación*, 21(2), 71-82. <https://doi.org/10.29375/25392115.4035>
- Day, S. B. y Goldstone, R. L. (2012). Introduction to «new conceptualizations of transfer of learning». *Educational Psychologist*, 47(3), 149-152.
- Falkenhainer, B., Forbus, K. D. y Gentner, D. (1989). El motor de mapeo de estructuras: algoritmo y ejemplos. *Inteligencia artificial*, 41(1), 1-63. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(89\)90077-5](https://doi.org/10.1016/0004-3702(89)90077-5)
- Forbus, K., Gentner, D. y Law, K. (1995). MAC/FAC: un modelo de recuperación basado en la similitud. *Cognitive Science*, 19(2), 141-204. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1902_1
- Gallardo Fernández, I. M., Mariño Fernández R. y Vega Navarro, A. (2021). Creación de materiales didácticos digitales y uso de tecnologías por parte de los docentes de primaria.

- Un estudio de casos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 85(1), 39-60. <https://doi.org/10.35362/rie8514063>
- García A., E. G. y Estany, A. (2010). Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias. *Praxis Filosófica*, 31, 7-24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209020106001>
- García Meneses, M., Díaz de la Cruz, J. y Coloma Rodríguez, O. (2021). Estrategia para la integración de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la formación inicial de docentes. *EduSol*, 21(75), 96-103.
- Gentner, D. (1983). Mapeo de estructuras: un marco teórico para la analogía. *Cognitive Science*, 7(2), 155-170. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0702_3
- Gentner, D., Loewenstein, J. y Thompson, L. (2003). Aprendizaje y transferencia: un rol general para la codificación analógica. *Journal of Educational Psychology*, 95(2), 393-408. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.2.393>
- Gentner, D., Loewenstein, J., Thompson, L. y Forbus, K. (2009). Reviving inert knowledge: analogical abstraction supports relational retrieval of past events. *Cognitive Science*, 3, 1.343-1.382.
- Gentner, D. y Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45-56. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.45>
- George Reyes, C. E. (2020). Alfabetización y alfabetización digital. *Transdigital*, 1(1), 1-17. <https://www.revista-transdigital.org/index.php/transdigital/article/view/15>
- Gick, M. L. y Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15(1), 1-38. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(83\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(83)90002-6)
- González Fernández, M.^aO. (2021). La capacitación docente para una educación remota de emergencia por la pandemia de la COVID-19. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 19, 81-102. <https://doi.org/10.51302/tce.2021.614>
- Holyoak, K. J., Gentner, D. y Kokinov, B. N. (2001). Introduction: the place of analogy in cognition. En D. Gentner, K. J. Holyoak y B. N. Kokinov (Eds.), *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science* (pp. 1-19). MIT Press.
- Hummel, J. E. y Holyoak, K. J. (1997). Representaciones distribuidas de estructura: una teoría de acceso analógico y mapeo. *Psychological Review*, 104(3), 427-466. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.104.3.427>
- Izquierdo i Aymerich, M. y Estany Profitós, A. (2001). Didactología: una ciencia de diseño. *Éndoxa: Series Filosóficas*, 14, 13-33.
- Kalantzis, M. y Cope, B. (2015). Learning and new media. En D. Scott y E. Hargreaves (Eds.), *The Sage Handbook of Learning* (pp. 373-387). Sage Publications. <http://dx.doi.org/10.4135/9781473915213>
- Koehler, M. J., Mishra, P. y Cain, W. (2015). ¿Qué son los saberes tecnológicos y pedagógicos del contenido (TPACK)? *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 10(6), 9-21. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/vesc/article/view/11552>
- Leal-Urueña, L. y Rojas-Mesa, J. (2018). Ecología para la formación inicial de profesores a partir de los affordances de las TIC. *TED. Tecné, Episteme y Didaxis*, 44, 15-31. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/8986>
- Maier, J. y Fadel, G. (2008). Affordance based design: a relational theory for design. *Research in Engineering Design*. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0060-3>

- Martinenco, R. M., Martín, R. B. y García Romano, L. (2021). Ecologías de aprendizaje en educación secundaria: TIC y aprendizaje informal. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 18, 77-97. <https://doi.org/10.51302/tce.2021.571>
- Minervino, R., Trench, M. y Adrover, F. (2012). El desarrollo de capacidad de transferir conocimiento acerca del pensamiento analógico e inductivo. En J. Castorino y M. Carretero (Comps.), *Desarrollo cognitivo y educación [III]: procesos de conocimiento y contenidos específicos* (pp. 119-144). Paidós.
- Mishra, P. y Koehler, M. (2006). Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. *Teacher College Record*, 108(6), 1.017-1.054. https://one2oneheights.pbworks.com/f/MISHRA_PUNYA.pdf
- Neiman, G. y Quaranta, G. (2006). Los estudios de casos en la investigación sociológica. En G. Vasilachis de Gialdino (Coord.), *Estrategias de investigación cualitativa* (pp. 212-237). Gedisa Editorial.
- Odetti, V. (2013) El diseño de materiales didácticos hipermediales para los niveles medio y superior: experiencias incipientes en Argentina. *I Jornadas de Jóvenes Investigadores en Educación*, FLACSO Argentina, 2012. <http://www.pent.org.ar/institucional/publicaciones/disenio-materiales-didacticos-hipermediales-para-niveles-medio-superior-e>
- Ortega Iglesias, J. M. (2020). El conocimiento tecnológico pedagógico de contenido (TPCK): un análisis a partir de la relación e integración entre el componente tecnológico y conocimiento pedagógico de contenido. *TED. Tecné, Episteme y Didaxis*, 47, 249-265. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/11339>
- Overdijk, M., Diggelen, W. van, Kirschner, P. y Baker, M. (2012). Connecting agents and artefacts: towards a rational of mutual shaping. *International Journal of Computer Supported Collaborative Learning*, 7, 193-210. <https://doi.org/10.1007/s11412-012-9143-2>
- Parchoma, G. (2014). The contested ontology of affordances: implications for researching technological affordances for collaborative knowledge production. *Computers in Human Behavior*, 37, 360-368.
- Pfaffenberger, B. (1992). Social anthropology of technology. *Annual Review of Anthropology*, 21, 491-516.
- Rodríguez-Torres, J. (2012). Análisis sobre la integración en el sistema educativo de las TIC: proyectos institucionales y formación permanente. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 13(3), 129-144.
- Salica, M. A. y Olguín, M. V. (2023). Diseño de material didáctico hipermedia en contexto de formación cognitiva para la enseñanza de la química. 9.º *Seminario Internacional de Educación a Distancia*. <https://rueda.cin.edu.ar/images/Libros/RUEDA-Libro-2024-Tecnologia%20materiales%20y%20dispositivos.pdf>
- Scolari, C. A. (2004). *Hacer clic: hacia una sociosemiótica de las interacciones digitales*. Gedisa.
- Schwartzman, G. y Odetti, V. (2011). Los materiales didácticos en la educación en línea: sentidos, perspectivas y experiencias. *Conferencia Internacional ICDE 2011*, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. <http://congreso-icde.uvq.edu.ar/sites/default/files/navegable/ponencias/049.pdf>
- Sinclair Taylor, P. C. (2014). Contemporary qualitative research: toward an integral research

perspective. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (Vol. II, pp. 113-169). Routledge.

Stake, R. E. (1995). *The Art of Case Study Research*. Sage.

Trench, M. y Minervino, R. A. (2020). *Distant Connections: The Memory Basis of Creative Analogy*. Springer.

Valbuena-Rodríguez, S. y Navarro-Ramírez, M. A. (2016). Diseño de un material didáctico multimedia de laboratorio de química orgánica. *Revista Educación en Ingeniería*, 11(22), 78-82.

Valbuena-Rodríguez, S. (2012). Desarrollo de un material didáctico multimedia para facilitar el aprendizaje de química. *Revista Educación en Ingeniería*, 7(14), 1-9.

Marcelo Augusto Salica. Profesor de Química, Física y Merceología de la Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). Especialista en Currículum y Prácticas Escolares en Contexto FLACSO (Argentina). Magíster en Procesos Educativos Mediadados por Tecnología en la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Doctor en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales por la Universidad Nacional del Comahue (Argentina). En esta última universidad, ha sido profesor de Práctica Docente y del Taller de Tecnología Educativa del Profesorado en Química y en Física en la Facultad de Ingeniería, es integrante de la Comisión de Seguimiento Curricular del Profesorado en Química y miembro académico de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Ha integrado diferentes equipos de investigación nacional e internacional cuyos objetivos de interés se focalizan en la enseñanza de las ciencias y la tecnología.

Valeria Olguín. Licenciada y doctora en Psicología por la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina), así como profesora de esta misma institución. Magíster en Psicología Cognitiva y Aprendizaje por la Universidad Autónoma de Madrid (España). Posdoctora en Psicología con Orientación en Metodología de Revisión por la Universidad de Flores (Argentina). En la Universidad Nacional del Comahue (Argentina) ha ejercido como profesora de varias asignaturas: Metodología de la Investigación en Psicología 1 (carrera de Psicología), Teorías Psicológicas (carrera de Profesorado de Nivel Inicial de la Facultad de Ciencias de la Educación) e Investigación Educativa 1 (doctorado en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Facultad de Ingeniería). Directora de proyectos de investigación financiados por la Universidad Nacional del Comahue, por el Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

Contribución de autores. M. A. S. y M.^a V. O. han participado a partes iguales en la elaboración de este estudio de investigación.