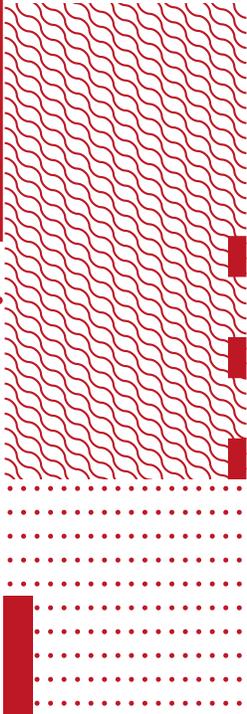




# EL MODELO TPACK PARA ENSEÑAR, APRENDER Y EVALUAR EL CONCEPTO DE MOVIMIENTO



The TPACK model to teach, learn and  
evaluate the concept of movement

...

Modelo TPACK para o ensino,  
aprendizagem e avaliação do conceito  
de movimento

Por:

**Olga Lucia Godoy Morales<sup>1</sup>**

Universidad Francisco José de Caldas, Colombia.

ogodoy@udistrital.edu.co

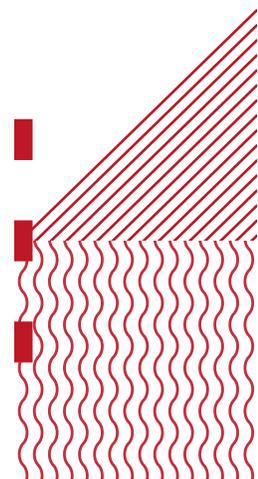
 ID: 0000-0002-5480-2135

**Recepción:** 18/07/2019 • **Aprobación:** 10/10/2019

**Resumen:** El concepto de movimiento ha apasionado a filósofos y científicos por más de dos mil años. Sin embargo, a pesar de ser un tema fascinante para la humanidad porque permitió responder preguntas como: ¿por qué los objetos caen hacia la superficie de la tierra?, o ¿cómo se concluyó que la tierra gira alrededor del sol?, resulta para los estudiantes difícil de comprender y usar para explicar situaciones cotidianas. Para contribuir con la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación (en adelante E-A-Ev) de este concepto, se asumen y desarrollan cinco premisas epistemológicas: 1) Los textos recogen una propuesta específica de E-A-Ev y el medio para conocerla es establecer su modelo pedagógico. 2) La historia y la epistemología aportan elementos para investigar, enseñar, aprender y evaluar el concepto de movimiento. 3) El profesor construye su propio modelo pedagógico a partir de la interpretación que realiza de él y de cómo concibe la E-A-Ev. 4) Las ideas iniciales de los estudiantes median su E-A-Ev, y 5) La tecnología de los recursos digitales provee nuevos modelos para su E-A-Ev. El principal resultado es que se requiere la generación de propuestas educativas que incluyan las ideas iniciales de los estudiantes, a la vez que los ayuden a relacionar los conceptos físicos con el formalismo matemático y a utilizar la tecnología más allá de la realización de experimentos. Una conclusión que se deriva de la investigación es que el TPACK es un modelo integrador que articula las premisas epistemológicas y facilita la incorporación de los conocimientos de contenido, pedagógicos y tecnológicos contribuyendo con la E-A-Ev de este concepto.

**Palabras clave:** Aprendizaje; Enseñanza; Evaluación; Movimiento; TPACK.

**Abstract:** The concept of movement has fascinated philosophers and scientists for more than two thousand years. However, despite being a captivating topic for humanity because it allowed answering questions such as: Why do objects fall to earth's surface? How was it concluded that the earth revolves around the sun? It is difficult for students to understand and use this concept to explain everyday situations. To contribute to the teaching, learning and evaluation (henceforth E-A-Ev) of this concept, five epistemological premises are assumed and developed: 1) The texts include a specific E-A-Ev proposal whose means to know it is by establishing its pedagogical model. 2) History and epistemology provide elements to investigate, teach, learn and evaluate the concept of movement. 3) The teacher builds his own pedagogical model, based on the interpretation he makes about it and how he conceives E-A-Ev. 4) Students' initial ideas mediate their E-A-Ev, and 5) Digital resource technology provides new



models for their E-A-Ev. The main result is that the generation of educational proposals that include students' initial ideas is required, while helping them to relate physical concepts with mathematical formalism and to use technology beyond conducting experiments. One conclusion derived from this research is that the TPACK is an integrating model that articulates epistemological premises and facilitates the incorporation of content, pedagogical and technological knowledge, contributing to the E-A-Ev of this concept.

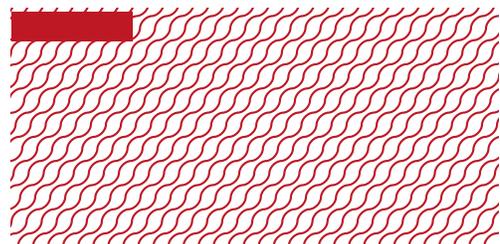
**Keywords:** Learning; Teaching; Evaluation; Movement; TPACK.

**Resumo:** O conceito de movimento tem fascinado filósofos e cientistas há mais de dois mil anos. No entanto, apesar de ser um assunto fascinante para a humanidade por ter permitido responder a perguntas como ¿por que objetos caem em direção à superfície da Terra? e ¿como se concluiu que a Terra gira em torno do Sol?, é difícil aos alunos entender e usar o mesmo para explicar situações da vida diária. Para contribuir com o ensino, aprendizagem e avaliação (doravante E-A-Ev) deste conceito, assumem-se e se desenvolvem cinco premissas epistemológicas: a) os textos contêm uma proposta específica E-A-Ev e a maneira de conhecê-la é estabelecer o seu modelo pedagógico; b) a história e a epistemologia fornecem elementos para pesquisar, ensinar, aprender e avaliar o conceito de movimento; c) o professor constrói seu próprio modelo pedagógico a partir da interpretação feita sobre o mesmo e de como concebe o E-A-Ev; d) as ideias iniciais dos estudantes medeiam o seu E-A-Ev; e e) a tecnologia de recursos digitais fornece novos modelos para o E-A-Ev. O principal resultado é que é necessário gerar propostas educacionais que incluam as ideias iniciais dos estudantes, ajudando-os a relacionar os conceitos físicos com o formalismo matemático e a usar a tecnologia além da realização de experimentos. A conclusão desta pesquisa é que o TPACK é um modelo integrativo que articula as premissas epistemológicas e facilita a incorporação dos conhecimentos dos conteúdos pedagógicos e tecnológicos, contribuindo para o E-A-Ev deste conceito.

**Palavras-chave:** Aprendizagem; Ensino; Avaliação; Movimento; TPACK.

---

**Este artículo no recibió financiación.**





Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

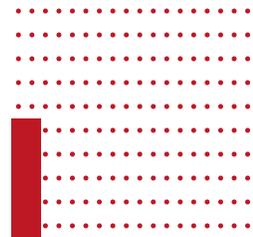
---

### ¿Cómo citar este artículo? / How to quote this article?

Godoy, O. L. (2019). El modelo TPACK para enseñar, aprender y evaluar el concepto de movimiento. *Praxis, Educación y Pedagogía*, (3), 106-135.  
doi: [10.25100/praxis\\_educacion.v0i3.8320](https://doi.org/10.25100/praxis_educacion.v0i3.8320)

## Introducción

El concepto de movimiento ha permitido explicar situaciones como la caída de objetos, el lanzamiento de satélites para que orbiten geoestacionariamente alrededor del Ecuador, el movimiento de los planetas alrededor del sol, entre otros. Sin embargo, a pesar de ser un tema fascinante para la humanidad y formar parte de los contenidos curriculares de la asignatura física mecánica, los estudiantes siguen teniendo dificultades para comprenderlo. Muchos de ellos llevan a clase ideas que no corresponden con las explicaciones científicas (que requieren procesos de idealización y abstracción), y después de aprobar el curso persisten en ellas. Por ejemplo, en clase de ciencias se enseña que la tierra se mueve alrededor del sol, sin embargo, lo que se percibe con la simple observación es que el sol se mueve y la tierra está fija, o que si se deja caer una hoja de papel y un objeto masivo desde una cierta altura llega primero al suelo el objeto masivo. Así pues, no es fácil para los estudiantes compaginar las explicaciones físicas con sus ideas previas, consecuencia tal vez, de la manera de enseñar la física mecánica que olvida las discusiones conceptuales y la aborda como un conjunto de algoritmos para resolver ejercicios (Uribe, 2010). Adicionalmente, la enseñanza y el aprendizaje del concepto de movimiento no resulta sencillo puesto que, por un lado, los estudiantes tienen concepciones intuitivas que traen al aula de física, las cuales parecen algo vagas e indiferenciadas (Trowbige y McDermott, 1980), y por otro, sus explicaciones a menudo se apoyan en supuestos que difieren de los conceptos de la ciencia. Principalmente desde la década de los 80s del siglo XX, se han realizado diferentes investigaciones para conocer las ideas previas de los estudiantes y sus dificultades de aprendizaje, entre los más destacados están los realizados por DiSessa (1993) quien planteó que las personas tienen un conocimiento intuitivo de la física (Física intuitiva), el cual consiste en un conjunto



de ideas fragmentadas y aisladas más que en pequeñas teorías integradas. Estas ideas fragmentadas se denominan *p-prims* (primitivos fenomenológicos), que son percibidos como pequeñas estructuras cognitivas en términos de lo que la gente observa y explica del mundo. Los *p-prims* más comunes en cinemática son:

- Más empuje significa más movimiento resultante (mayor velocidad o aumentar la distancia) (p. 130).
- Menos distancia recorrida significa ir más rápido (p. 148).
- Si un objeto está por delante, debe haber ido más rápido (p. 216).
- Si un objeto cubre una menor distancia, se tarda menos tiempo (p. 216).
- Menos movimiento requiere menos tiempo (p. 217).
- Especialmente cosas pesadas o grandes resisten el movimiento (p. 218).

Viennot (2002) realizó una investigación con estudiantes de secundaria, universidad y profesores de habla francesa sobre la comprensión de conceptos físicos; en los capítulos 3 y 4 del libro trata temas relacionados con el concepto de movimiento: sistemas de referencia y leyes para magnitudes en un tiempo determinado. En las preguntas que diseñaron para indagar sobre la comprensión de los participantes con respecto al sistema de referencia, los errores más frecuentes fueron: la velocidad era la misma para dos observadores en movimiento relativo; si una persona que se mueve en una cinta transportadora lanza un objeto verticalmente hacia arriba, el objeto cae detrás de la persona. La autora afirma que la tendencia común es considerar las magnitudes como características intrínsecas de los objetos, lo que incide en numerosos errores relacionados con la velocidad, la distancia recorrida y las direcciones de los objetos que dependen del sistema de referencia elegido para su descripción. Además, realiza un análisis sobre lo que piensan los participantes del concepto de fuerza, encontrando que se establecen relaciones entre fuerza y velocidad y no entre fuerza y aceleración; en un movimiento parabólico identifican que las fuerzas que actúan son la fuerza de la gravedad y la fuerza del movimiento del lanzador, además usan indiferenciadamente conceptos como fuerza, impulso, velocidad y energía.

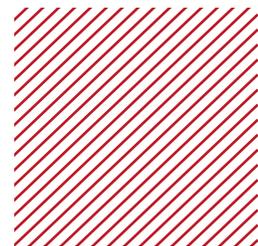
Shaffer & McDermott (2005) realizaron un estudio con alumnos de la Universidad de Washington, y una vez analizados los datos propusieron cuatro categorías que describían los errores más comunes de los estudiantes con relación a la interpretación física de los fenómenos. Estas categorías fueron:

- Razonamiento incorrecto acerca de la cinemática en puntos arbitrarios a lo largo de la trayectoria.
- Razonamiento incorrecto para un punto de inflexión.
- Razonamiento incorrecto para el punto en el que un objeto parte del reposo.
- Razonamiento incorrecto (o incompleto) acerca de la aplicación de la dinámica a la cinemática. (pp. 926-927).

Giorgi, Concari & Pozzo (2005) realizaron una investigación exhaustiva de las publicaciones sobre preconcepciones o ideas iniciales de los estudiantes referidas a fuerza y movimiento. En la investigación se analizaron 36 trabajos publicados en revistas y libros en los cuales se revisaron aspectos teóricos, metodológicos y conceptuales entre los años 1979 y 2000. Del estudio se plantea que, si bien los sujetos no poseen una conceptualización científica de la fuerza y que ésta está asociada con el movimiento, se podría decir que en relación con las ideas iniciales de los sujetos sobre cuerpos en movimiento existen concepciones cercanas a conceptos físicos tales como la cantidad de movimiento y la energía, pero que estos son exteriorizados empleando la palabra fuerza.

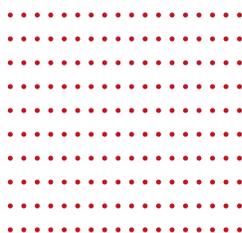
Bani-Salameh (2016) realizó una investigación para detectar conceptos erróneos de los estudiantes sobre la fuerza y el movimiento; para ello se basaron en el inventario del concepto de fuerza, versión modificada (FCI), que consta de 30 preguntas. El análisis de datos se realizó usando diferentes técnicas estadísticas, analizando la frecuencia de las respuestas de los estudiantes universitarios, quienes realizaron la prueba antes y después de recibir instrucción en estos conceptos. Los resultados mostraron que todos los conceptos erróneos de los estudiantes eran coherentes con los reportados en la prueba original de FCI, los problemas más comunes estaban asociados con el ímpetu y la fuerza activa. La corta revisión anterior indica que los problemas que manifiestan los estudiantes cuando aprenden sobre el movimiento son variados y abarcan aspectos conceptuales, de interpretación y relación que persisten durante el proceso de enseñanza y después de él; por lo tanto, son de interés para la comunidad educativa y de investigadores en la enseñanza de la física cuando elaboran propuestas de enseñanza, aprendizaje y evaluación relacionadas con este concepto.

Como resultado del desarrollo de las cinco premisas epistemológicas, se identificó la necesidad de elaborar propuestas educativas para la E-A-Ev del concepto de movimiento en el contexto universitario que contribuyan a que los estudiantes aprendan ciencias, sean personas alfabetizadas científicamente, críticas y reflexivas.



## Metodología

A continuación, se presenta cómo se abordó el desarrollo de las cinco premisas epistemológicas: 1) Para determinar el modelo pedagógico<sup>2</sup> (de ahora en adelante MP) de cada texto se construyó una tabla con tres filas: enseñanza, aprendizaje y evaluación, que respondían a las preguntas: ¿Cuáles son los aspectos generales de la enseñanza planteada por los autores?, ¿cómo suponen los autores que los estudiantes aprenden?, ¿cómo proponen los autores la evaluación? Los tres libros se escogieron debido a que son los que más se utilizan en las universidades colombianas por parte de profesores y estudiantes. Para su análisis se tuvo en cuenta el prefacio, el índice y los capítulos que estaban relacionados con el concepto de movimiento, que se estudiaron exhaustivamente para identificar la propuesta de los autores sobre la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación. 2) Para establecer los aportes de la historia y la epistemología (de aquí en adelante HyE) se realizó una revisión de diferentes textos históricos que permitió identificar cuatro de los principales exponentes del tema: Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein; posteriormente se efectuó el análisis de la forma en que el libro de Galileo y los libros de física universitaria presentaban el concepto de movimiento. 3) Para establecer el MP del profesor se diseñó un cuestionario que consistió en una introducción para presentar el instrumento y el objetivo del mismo, un espacio para la información académica y laboral del encuestado y luego tres secciones que contenían cinco preguntas relacionadas con la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación del concepto de movimiento. Los cuestionarios fueron validados por dos profesores de física y dos estudiantes de ingeniería, esto permitió ajustarlos y determinar el tiempo promedio para diligenciarlo (15 minutos). La muestra estuvo conformada por cinco profesores y cinco estudiantes activos (diferentes a quienes realizaron la validación); los profesores contaban con experiencia docente superior a 15 años, tres de ellos se desempeñan en universidades públicas y dos en universidades privadas. Los estudiantes pertenecían a programas de ingeniería y tecnología; tres cursaban sus carreras en universidades públicas y dos en universidades privadas. Todas las preguntas fueron directas, de respuesta abierta y el medio de recolección fue papel y lápiz. 4) Para identificar las ideas iniciales de los estudiantes en relación al aprendizaje del movimiento se hizo una revisión específica de investigaciones donde se reportaban las principales dificultades conceptuales de los estudiantes con el aprendizaje de este concepto. 5) Finalmente, se efectuó una revisión en las bases de datos Web of Science y Scopus para conocer algunas alternativas de incorporar la tecnología a la educación y cómo se ha realizado específicamente para la E-A-Ev del concepto de movimiento por medio de la tecnología.



## Modelo pedagógico de los textos universitarios

Con el fin de conocer el MP, que es el medio teórico y práctico que permite establecer una relación conceptual entre los conocimientos de los profesores y de los estudiantes (Zambrano, 2000), se revisaron los textos de física universitaria de Serway & Jewett (2005), Young & Freedman (2009) y Tipler & Mosca (2010), para de esta manera evidenciar por medio de la construcción de tablas cómo los libros plantean la E-A-Ev del concepto. Los modelos pedagógicos contribuyen a la elaboración de una propuesta educativa al permitir comprender cómo los textos organizan el conocimiento científico para ser enseñado. Los hallazgos son: los libros presentan el concepto de movimiento inicialmente desde la perspectiva de la cinemática, “que describe el movimiento de un objeto mientras se ignoran las interacciones con agentes externos que puedan causar o modificar dicho estado” (Serway & Jewett, 2005, p. 19), continuando con la dinámica, que estudia la influencia externa (fuerzas) sobre un objeto masivo por medio de las tres leyes de movimiento o leyes de Newton (Serway & Jewett, 2005), como marco explicativo, sin embargo, ningún libro integra los aspectos cinemáticos y dinámicos del movimiento.

Se identificaron veinte aspectos para la construcción del capítulo de movimiento, quince son comunes en los tres libros (ver Tabla 1). Pueden cambiar los nombres, en la física de Young & Freedman (2009) para la solución de ejemplos en cuatro pasos usan la secuencia: identificar, plantear, ejecutar y evaluar; mientras para la solución de ejemplos en cuatro pasos: conceptualizar, categorizar, analizar y finalizar, además de la pregunta adicional ¿Qué pasaría si? Los párrafos “Cuidado” son llamados prevención de riesgos ocultos en la física de Serway & Jewett (2005) y “Avisos de errores frecuentes” en la física de Tipler & Mosca (2010), pero la estructura es básicamente la misma.

Construcción del capítulo		Young & Freedman	Serway & Jewett	Tipler & Mosca
1.	Pregunta inicial	SI	NO	SI
2.	Situación cotidiana y fotografía	SI	SI	SI
3.	Metas de aprendizaje	SI	NO	NO
4.	Uso de secciones	SI	SI	SI
5.	Uso de letra diferentes para conceptos claves	NO	SI	SI
6.	Advertencia de errores comunes	SI	SI	SI
7.	Preguntas de comprensión de cada sección	SI	SI	SI

Construcción del capítulo	Young & Freedman	Serway & Jewett	Tipler & Mosca
8. Preguntas de relación entre conceptos	NO	SI	SI
9. Preguntas al final del capítulo	SI	SI	SI
10. Problemas de diferentes tipos (análisis cualitativo y cuantitativo)	SI	SI	SI
11. Ejemplos	SI	SI	SI
12. Estrategia de resolución en los ejemplos	SI	SI	SI
13. Metodología de resolución de ejemplos	SI	SI	SI
14. Uso y explicación de unidades (SI)	SI	SI	SI
15. Uso pedagógico del color en las gráficas	SI	SI	SI
16. Notación vectorial	SI	SI	SI
17. Tareas en línea	SI	SI	SI
18. Resumen del capítulo	SI	SI	SI
19. Respuesta a las preguntas de comprensión	SI	SI	SI
20. Inclusión de temas de actualidad	NO	NO	SI

**Tabla 1.** Aspectos comunes de los textos de física universitarios

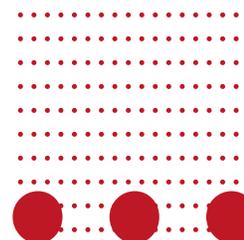
**Fuente:** elaboración propia

Un aspecto a mencionar está relacionado con la forma de presentar los resúmenes del capítulo. El libro de Young & Freedman (2009) se limita a establecer las ecuaciones matemáticas para los conceptos resúmenes, mientras que el libro de Serway & Jewett (2005) contiene un resumen que revisa los conceptos y ecuaciones importantes explicados en el capítulo, dividido en tres secciones: definiciones, conceptos y principios, y modelos de análisis para resolver problemas. En cada uno de ellos hay recuadros donde aparece una definición, concepto, principio o modelo de análisis de manera separada. En el caso de la física de Tipler & Mosca (2010) el resumen se construye por tema y entre observaciones y ecuaciones relevantes. Una diferencia en los libros radica en que el de los autores Young & Freedman (2009) presenta a los lectores las razones por las cuales el libro está distribuido de esa manera, además de justificar todas las herramientas que el mismo ofrece a estudiantes y profesores.

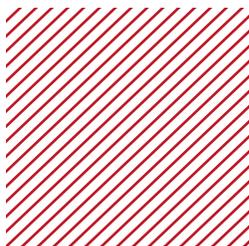
## La historia y epistemología del concepto de movimiento

La historia y epistemología, en adelante HyE, del concepto de movimiento aportan elementos para investigar, analizar, reflexionar, organizar, secuenciar y renovar la enseñanza, aprendizaje y evaluación de las ciencias, así como en la formación científica de los docentes y estudiantes (Duschl, 1997; García-Martínez e Izquierdo, 2014; Kragh, 1989; Matthews, 1991, 1994a, 1994b; Zambrano, 2007), contribuyendo además a mejorar la comprensión sobre la naturaleza de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2005; El-Hani, 2006). La HyE del concepto permitió, primero, realizar una breve reseña sobre cómo Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein explicaron el movimiento, y segundo, contrastar los textos educativos de física y los textos científicos originales sobre el movimiento.

Para Aristóteles (1998) el estado natural de los cuerpos era el reposo. En ese momento histórico se concebían dos físicas: una para el mundo celeste donde el movimiento natural era el circular uniforme, era la física de los cuerpos perfectos y hechos de una sustancia especial llamada éter. A nivel cosmológico la tierra era el centro del universo y los demás objetos conocidos orbitaban alrededor de ella en círculos, así: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Más allá de la esfera de las estrellas no había nada. Sin embargo, en el mundo sublunar en el cual estaba la tierra, la tendencia natural de los cuerpos era el reposo y el movimiento rectilíneo vertical, el cual estaba determinado por la tendencia del elemento presente a volver a su lugar natural, la tierra. Propuso, además, explicaciones sobre lo que ocurría en la naturaleza, considerando las observaciones cotidianas y sus razonamientos; formuló su teoría sobre la caída de los cuerpos afirmando que los más pesados caían más rápido que los más ligeros, es decir, estableció una relación entre el tiempo de caída y el peso de los cuerpos: el tiempo de caída era inversamente proporcional al peso de los cuerpos; clasificó el movimiento en natural y violento: la caída de los cuerpos representa un ejemplo de movimiento natural, cada uno de los elementos tenía un lugar natural hacia donde se movía y los cuerpos de la tierra imitaban esta tendencia, por ejemplo, los objetos con elemento tierra, se movían hacia el centro del universo con una velocidad creciente (Hecht, 1997). Entre los planteamientos físicos de Aristóteles están: todo lo que se mueve es movido por algo, por lo tanto se requiere de una causa o motor para que se produzca y mantenga el movimiento (Fernández-González & Rondero, 2004). Las afirmaciones sobre el movimiento han sido refutadas gracias a los aportes de diferentes filósofos naturales y científicos, entre ellos Galileo y Newton, no obstante, estas ideas persisten en las explicaciones de los estudiantes.



En el siglo XVII, Galileo estaba interesado en resolver el problema de la caída de los graves (movimiento de los cuerpos hacia la superficie terrestre), que actualmente se conoce como caída libre y que constituye un caso particular de movimiento uniformemente acelerado. Galileo, en 1604 en una carta a Paolo Sarpi, afirma que la velocidad aumenta con el espacio (en lugar de con el tiempo) de caída: «El cuerpo que cae naturalmente va incrementando continuamente su velocidad a medida que la distancia desde el punto de partida aumenta». En 1609 su formulación ya era correcta, pero no hay evidencia de cómo en esos años llegó a sus resultados, los cuales publica en 1638 en forma definitiva en su libro “Discurso y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias relativas a la mecánica y a los movimientos locales”. En él describió el movimiento uniforme rectilíneo (MUR), uniformemente acelerado (MUA) y el movimiento de proyectiles, y realizó su matematización por medio de proporciones geométricas. Galileo fue consciente de la primacía en encontrar la relación entre el desplazamiento y el tiempo para el MUA, es decir, que un cuerpo partiendo del reposo recorre en tiempos iguales, espacios que mantienen entre sí la misma proporción que la que se da entre los números impares sucesivos comenzando por la unidad (Galilei, 2003).

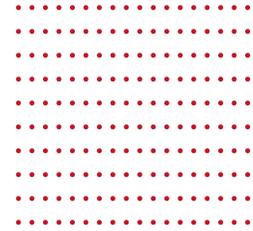


Newton estudió los cambios del movimiento o la persistencia del movimiento por medio de los conceptos de masa, aceleración lineal, aceleración centrípeta y cantidad de movimiento (Newton, 2011). Estableció su explicación sobre el movimiento con base en axiomas, definiciones, corolarios, lemas, teoremas y escolios con una gran claridad matemática; construyó su dinámica utilizando el concepto cantidad de movimiento y lo que ocurre con ella en cada uno de sus tres axiomas o leyes de movimiento; realizó una diferenciación con la ley de inercia de Galileo y la concepción aristotélica sobre el reposo; desde entonces el protagonista fue el movimiento uniforme y es posible reconocer la acción de una fuerza sobre un cuerpo, es decir, que si una fuerza actúa en un sistema lo que le ocurre al sistema es un cambio en su cantidad de movimiento. Para Newton el espacio, el tiempo y el movimiento pueden ser relativos o absolutos. Newton estudió el texto de colisiones escrito por Descartes, y si bien la mayoría de las reglas del impacto que son “dispositivos teóricos formulados por Descartes para determinar cómo los cuerpos aumentan, disminuyen o desvían sus movimientos por el choque con otros” (Ceballos, 2014, p.13) eran erróneas, contribuyeron a que Newton planteara sus tres leyes de movimiento (Galili, 2012). Dichas leyes son fundamentales porque no pueden deducirse ni demostrarse a partir de otros principios, estas son:

Ley I: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

Ley II: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

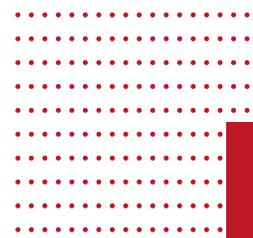
Ley III: Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas. (Newton, 2011, p. 199)



Las leyes de Newton son la base de la mecánica clásica y permiten comprender los tipos de movimiento más conocidos (traslacional, rotacional y vibratorio); son válidas para velocidades más pequeñas que la velocidad de la luz y para masas mayores a la masa del átomo, y son las leyes fundamentales para la E-A-Ev del concepto de movimiento en un curso de física mecánica en la universidad.

En el año de 1905 Albert Einstein publicó “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento” que posteriormente fue conocida como Teoría especial de la relatividad. Este artículo cambió la manera en la cual los seres humanos conciben el espacio, la energía, el tiempo y el movimiento. Su interpretación tuvo repercusiones filosóficas, eliminando la posibilidad de un espacio/tiempo absoluto en el universo, es decir, negando su existencia; ningún objeto del universo se distingue por proporcionar un marco de referencia absoluto en reposo en relación al espacio. Para Hecht (1997) la implicación de los postulados es que “los sucesos que un observador percibe como simultáneos, no lo son necesariamente para todos los observadores” (p.161). Con la teoría de la relatividad especial, la humanidad entendió que lo que hasta ahora se pensaba que era constante: el tiempo y la longitud, eran en realidad variables dependientes (coordenadas espacio-temporales), y que la velocidad de la luz era un límite de la naturaleza. Los planteamientos de Galileo y Newton siguen siendo válidos en el marco de la mecánica clásica y el de Einstein en la física moderna.

Segundo, con relación a los contrastes entre los textos históricos originales que plantearon el concepto de movimiento como “Discurso y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias relativas a la mecánica y a los movimientos locales” de Galileo, y “Principios matemáticos de la filosofía natural” de Newton, estos responden a un modelo epistemológico mientras que los libros universitarios de física desarrollan un MP que interpretan esos textos históricos para construir la explicación del movimiento. El texto de física universitaria se conceptualiza educativamente para



la enseñanza, aprendizaje y evaluación de los conceptos de las ciencias en el medio universitario. Existen tres diferencias entre los textos escolares y los textos científicos originales (Zambrano, 2007), estas son:

a) El entorno en el cual se produce el concepto: en el texto universitario el concepto está insertado en un marco conceptual que recoge la disciplina como un todo (mecánica clásica: dependiendo el libro se desarrolla en cuatro o cinco capítulos); es decir, estos textos contextualizan el concepto a estudiar dentro de la disciplina diciendo que la cinemática es una parte de la mecánica que describe el movimiento de un objeto, ignorando los agentes que lo causan o modifican. Identifican tres tipos de movimientos (traslacional, rotacional y vibracional), luego limitan el contenido del capítulo al movimiento traslacional en una sola dimensión. En contraste, en el texto científico de carácter histórico se recoge todo el desarrollo epistemológico del concepto y se establecen relaciones entre los conceptos particulares que conforman el concepto objeto de análisis.

b) La comunidad a la cual está dirigido el texto: el texto científico se desarrolla para los científicos y presenta un modelo teórico para explicar epistemológicamente cómo se solucionó un problema. Su audiencia es la comunidad científica, en cambio, los textos universitarios se diseñaron para una comunidad académica (profesores y estudiantes), y presentan un MP para explicar en el contexto de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación el concepto en un contexto educativo.

c) Cómo presentan el concepto en los libros: el texto universitario recoge únicamente el resultado más elaborado del desarrollo histórico y epistemológico del concepto de movimiento, pero el texto científico recoge la elaboración original de orden histórico y epistemológico del concepto (desarrollo geométrico a partir de leyes, teoremas, lemas, corolarios). En los tres libros universitarios, la construcción del concepto de movimiento se realiza con elementos de cálculo diferencial e integral, no hay referencias históricas ni discusión de cómo se desarrolló el concepto. Otra coincidencia está en que abordan el concepto de movimiento inicialmente desde la perspectiva de la cinemática y proceden con la dinámica como marco explicativo; sin embargo, no relacionan los aspectos cinemáticos y dinámicos del movimiento.

Conocer las diferencias entre cómo se originó el concepto de movimiento en la física y cómo se enseña actualmente en los textos de física universitaria contribuye a que los profesores: a) reconozcan el valor pedagógico de la historia de las ciencias, y b) transformen su pedagogía, es decir, a contextualizar la enseñanza y comprender los orígenes de algunas ideas iniciales de sus estudiantes. Si bien es cierto que hay dos lógicas en la construcción de cada libro, el profesor a través

de la enseñanza y la evaluación puede favorecer su acercamiento, esto es, relacionar la docencia y la HyE de la ciencia (Zambrano, 2007).

## Modelo de E-A-Ev del profesor

El profesor elabora su propia forma de enseñar-evaluar en el aula y contribuye al aprendizaje de sus estudiantes, esto es, construye su propio modelo pedagógico a partir de la interpretación que realiza sobre el concepto de movimiento con base en sus propios aprendizajes, los textos originales que explican el movimiento y los libros universitarios de física que utiliza para la enseñanza y la evaluación. Para identificarlo se realizaron entrevistas a profesores y estudiantes; a partir del análisis de los datos fue posible establecer que el MP del profesor se caracteriza por:

a) La enseñanza del concepto se realiza de manera tradicional. Las clases son expositivas con el profesor como protagonista a través de sus explicaciones; el profesor realiza una presentación del concepto, y la lógica del discurso está en el tablero que le permite al profesor construir sus explicaciones y realizar ejemplos, los cuales son una guía para el parcial o examen. Existe un enfoque matemático para la enseñanza y en ocasiones se deja de lado la discusión del fenómeno físico. Un aspecto interesante del MP de los profesores es que no se cuestionan cómo aprenden sus estudiantes.

b) Se asume el texto guía como elemento clave para los procesos de enseñanza donde usualmente el contenido programático recoge en un alto porcentaje el índice de los libros de física. Algunos profesores asignan lista de ejercicios de estos libros para que los estudiantes los realicen semanalmente y la evaluación, donde esta última corresponde a la resolución de ejercicios a lápiz y papel basados en el libro; este modelo es acorde con la enseñanza tradicional en ciencias, dado que el libro es un elemento clave y el profesor complementa la enseñanza con las explicaciones (Izquierdo, Sanmartí, & Espinet, 1999). Por ejemplo, es usual para un parcial o examen de física encontrar ejercicios como el siguiente, de única respuesta, donde no se evalúa el procedimiento sino la respuesta:

Un auto que se mueve a 72 km/h se aproxima a un semáforo que se encuentra en amarillo, así que aplica los frenos y empieza a desacelerarse a  $5\text{m/s}^2$ . ¿Cuánta distancia recorre antes de detenerse?

- a) 50m                      b. 40m                      c.80 m                      d.60m

c) Hay una baja incorporación de recursos tecnológicos por parte del profesor como presentaciones en PowerPoint, flash o videos en clase sobre un tema de

interés, en gran medida la enseñanza tradicional no incluye la incorporación de los recursos digitales.

d) Existe una importante relación entre la enseñanza del profesor y la forma en que los estudiantes manifiestan aprender, sus respuestas muestran que las explicaciones de los profesores son importantes para su proceso de aprendizaje y recurren al libro para consultar y resolver los ejercicios asignados por el profesor en clase. Un bajo porcentaje (20%) de los estudiantes recurre además a videos fuera de clase para su proceso de aprendizaje.

e) Los estudiantes presentan pruebas parciales y exámenes donde se evalúan los conocimientos de la disciplina a través de la resolución de ejercicios a lápiz y papel con respuesta única.

Los estudiantes esperan que se enseñe una física contextualizada con los elementos de la vida cotidiana, es decir, que puedan utilizar los conceptos físicos para explicar situaciones diarias y que se transforme la enseñanza y la evaluación de la física permitiendo una participación como sujetos activos en el proceso de enseñanza, aprendizaje y evaluación.

### **Las ideas iniciales de los estudiantes median la E-A-Ev**

Las ideas iniciales con las que llegan a clase los estudiantes median la E-A-Ev del concepto y, por lo tanto, permean el modelo pedagógico que el profesor desarrolla en clase. Estas son un obstáculo en el aprendizaje de los estudiantes y en muchos casos, los estudiantes las mantienen a pesar de la enseñanza. Si bien estas no emergieron en las respuestas de las encuestas, diferentes investigaciones específicas reportan que sí intervienen en la E-A-Ev en el aula; debido a que la comprensión del concepto de movimiento por parte de los estudiantes no resulta sencilla puesto que por un lado, ellos tienen concepciones intuitivas que son vagas e indiferenciadas (Trowbig y McDermott, 1980) y por otro, sus explicaciones a menudo se apoyan en supuestos que difieren de los conceptos de la ciencia (Carrejo y Marshall, 2007).

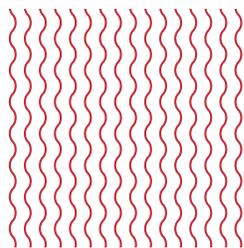
Las investigaciones se han realizado en diferentes países y con distintas poblaciones de estudiantes, obteniendo resultados similares (McDermott, Rosenquist y Van Zee, 1987; Viennot, 2002; Bani-Salameh, 2016; Reiner y Burko, 2003) and that both have a special role in an ongoing process of conceptual refinement for physicists and for naive physics learners. We analyze TEs related to stellar evolution and general relativity made by Schwarzschild, Eddington, Landau, and Einstein. We identify the stages at which crucial errors are done in these TEs, and the cognitive processes which lead to these errors. We argue that necessary

conditions for a successful TE (i.e., a TE which leads to correct conclusions; Giorgi, Concaro y Pozzo, 2005; Mendoza, Ripoll y Ruz, 2005). Por ejemplo, Shaffer y McDermott (2005) realizaron un estudio con 20 000 estudiantes universitarios, de los cuales aproximadamente 11 000 eran estudiantes de la Universidad de Washington que cursaban mecánica introductoria basada en conceptos de cálculo; los demás estudiantes provenían de ocho colleges y otras universidades, inscritos en cursos de mecánica basados en cálculo y álgebra. El objetivo de la investigación fue establecer la habilidad de los estudiantes para determinar cualitativamente la velocidad y la aceleración instantáneas de un objeto conociendo su trayectoria en una o dos dimensiones. Los investigadores realizaron tutoriales que eran parte de una secuencia que constaba de una prueba previa, una hoja de trabajo, tareas y un examen posterior. A partir del análisis de los datos propusieron cuatro categorías que describían los errores más comunes de los estudiantes con relación a la interpretación física de los fenómenos (ver Tabla 2).

Categorías	Errores detectados
<i>Razonamiento incorrecto acerca de la cinemática en puntos arbitrarios a lo largo de la trayectoria</i>	No reconocen que la velocidad instantánea es tangente a la trayectoria No distinguen entre velocidad y aceleración y usan vectores idénticos para ambas Asumen que la aceleración es cero porque la rapidez en un movimiento en dos dimensiones es constante Generalización de la dirección del vector aceleración en un movimiento circular a un movimiento elíptico
<i>Razonamiento incorrecto para un punto de inflexión</i>	Usan un vector distinto de cero para la velocidad en el punto con velocidad cero Suponen erróneamente que la aceleración es cero en un punto con velocidad cero
<i>Razonamiento incorrecto para el punto en el que un objeto parte del reposo</i>	No tratan la velocidad instantánea como cero para un objeto que comienza desde el reposo Asumen que la aceleración instantánea es cero para objetos que parten del reposo Suponen erróneamente que la aceleración instantánea tiene un componente radial para un objeto que comienza desde el reposo y que realiza un movimiento en dos dimensiones
<i>Razonamiento incorrecto (o incompleto) acerca de la aplicación de la dinámica a la cinemática</i>	No asocian la dirección de la aceleración con la dirección de la fuerza neta Confunden la fuerza neta y la aceleración

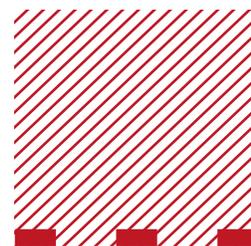
**Tabla 2.** Categorías de las dificultades de los estudiantes identificadas por Shaffer & McDermott (2005)

**Fuente:** elaboración propia



Entre los hallazgos de la investigación están: a) los estudiantes necesitan ayuda específica para desarrollar una comprensión de los conceptos cinemáticos que se extienda más allá de la capacidad de aplicar fórmulas, una lista de ideas previas erradas no puede impulsar una enseñanza efectiva debido a que muchas están interrelacionadas, son dependientes y, por tanto, no pueden separarse, b) los estudiantes a menudo no pueden aplicar el formalismo matemático para determinar la velocidad y la aceleración de un movimiento que han observado o que se ha descrito previamente, y c) las dificultades que tienen los estudiantes para analizar situaciones físicas son principalmente conceptuales. El artículo aporta dos elementos a las nuevas propuestas educativas: 1) identifica las dificultades de los estudiantes al realizar un curso de física introductorio con el formalismo matemático que tiene un curso universitario, lo que implica pensar en una forma adecuada de enseñar estos conceptos y facilitar el aprendizaje de los estudiantes, y 2) establece que muchas de las ideas erróneas de los estudiantes se relacionan.

Pérez, Miranda y Garcés (2015) realizaron una investigación con estudiantes del tercer año de preparatoria para identificar sus ideas sobre el movimiento y comprender por qué tenían tantos problemas para entender estos conceptos. Los investigadores realizaron cuestionarios con base en otros artículos y los aplicaron a los estudiantes; no obstante, con todos los elementos y las estadísticas obtenidas dedujeron que los resultados no eran confiables. Posteriormente, prepararon un laboratorio con una cámara de Gesell (espacio acondicionado para la realización de entrevistas) en el que participaron tres estudiantes y un entrevistador joven (que no tenía un amplio conocimiento de física), que permitieron observar a los estudiantes fuera de la circunstancia del aula y realizar una entrevista propiciando un diálogo entre ellos sobre el concepto de movimiento. Posteriormente entrevistaron a once profesores de física del bachillerato de la UNAM para contrastar si las ideas que tenían acerca del movimiento eran las que correspondían con la física, o se asemejaban a las de los estudiantes, los resultados mostraron que existía una dicotomía entre la comprensión del estudiante sobre el movimiento y lo que el profesor pretendía explicar. Además, fue posible identificar once ideas erróneas de las tres estudiantes de preparatoria, relacionadas con el movimiento (ver Tabla 3).



### Ideas erróneas de los estudiantes

Toda la idea del movimiento para ellos, es desplazamiento.  
No es lo mismo cambio de lugar que cambio de posición.  
No existen puntos de referencia para hablar de que algo se mueve. La idea de un marco de referencia no existe y por lo mismo su necesidad tampoco.  
No existe la relación del movimiento con el tiempo. Los cuerpos pueden cambiar fuera de este parámetro.  
La fuerza es una necesidad para el movimiento. Porque existe fuerza se mueven las cosas.  
¿Cómo pueden entender la primera ley?  
No requieren medir en sus experiencias.  
La gravedad está relacionada con la caída.  
La única relación que manejan es la relación a más, más. Las relaciones a más, menos o a menos, más, nunca están presentes en ellos.  
No existe en toda la discusión una estructura lógica de razonamiento. Los estudiantes pueden saltar entre ideas sin reflexión lógica de ningún tipo, ni argumentos estructurados.  
Las causas que se presentan son empíricas, o respuestas que sin forma causal en su relación aparentan serlo.  
La idea de reposo como carencia de fuerzas es clara en los estudiantes, sin embargo, ellos piensan que reposo es igual a fuerzas iguales en sentido contrario.

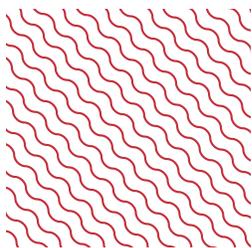
---

**Tabla 3.** Ideas de los estudiantes entorno al movimiento identificadas por Pérez, Miranda, y Garcés (2015)

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados de esta investigación proporcionan evidencia de que las preconcepciones de los estudiantes son similares a las reportadas en otras investigaciones (DiSessa, 1993; Viennot, 2002) y que persisten a pesar del proceso de enseñanza.

La revisión de los anteriores artículos permitió identificar las concepciones erróneas más comunes y las dificultades conceptuales de los estudiantes con el aprendizaje de este concepto; estas están asociadas a la comprensión de los conceptos de velocidad, aceleración, distancia, desplazamiento, rapidez y temas relacionados con la interpretación de gráficas. Además, abarcan aspectos conceptuales, de interpretación y de relación que son de interés para analizar el MP que se genera en el aula e importantes para los investigadores en la enseñanza de la física cuando elaboran propuestas de E-A-Ev del concepto de movimiento, porque intervienen en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

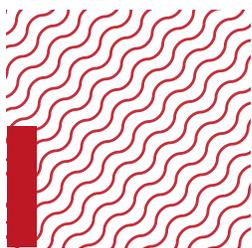


## Modelo de la E-A-Ev con base en la tecnología de recursos digitales

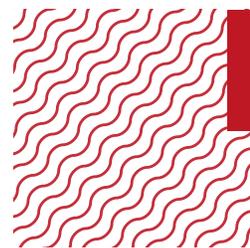
La tecnología digital ha cambiado dramáticamente las rutinas y prácticas en la mayoría de los ámbitos de la sociedad humana, y la educación no es ajena a ese cambio. No obstante, su incorporación en la enseñanza se encuentra rezagada ante el avance tecnológico debido a que, en general, los profesores desconocen sus usos y bondades. La tendencia de esta integración es introducir elementos de las tecnologías de la información y la comunicación como computadoras, internet y sistemas de distribución electrónica (Chuang, Weng y Huang, 2015); pero la simple introducción de dispositivos al proceso educativo no es suficiente (Mishra y Koehler, 2006) debido a que la forma en la que se concibe la tecnología influye en las decisiones sobre compras de hardware y software, en las estrategias para el desarrollo profesional docente, y en las oportunidades de aprendizaje para los estudiantes así como la formulación de objetivos de enseñanza (Zhao y Conway, 2001). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que los investigadores e instituciones han realizado para preparar a los profesores en los usos educativos de la tecnología, muchos de ellos aún carecen de las habilidades y conocimientos necesarios para poder incorporarla a la enseñanza (Rodrigues, 2003; Koehler, Mishra y Yahya, 2007). Otros estudios reportan la falta de marcos teóricos y conceptuales para guiar la investigación en el área de la enseñanza con tecnología (Angeli y Valanides, 2005; Niess, 2005). No obstante, la tecnología tiene un efecto innovador en el conocimiento de los docentes, en el que los objetivos de enseñanza y aprendizaje pueden transformarse a través de su uso (Angeli y Valanides, 2009, 2013); la tecnología permite proponer un nuevo modelo de E-A-Ev con sus ventajas y limitaciones propias.

En el 2006, Mishra & Koehler presentaron una propuesta de un modelo para incorporar la tecnología a la enseñanza, utilizando como base el conocimiento pedagógico del contenido (PCK) de Shulman (1986, 1987), enfatizando en la compleja interacción de la pedagogía, el contenido y la tecnología, para generar tres nuevos tipos de conocimiento: a) el conocimiento pedagógico tecnológico (TPK), que es el conocimiento de la existencia, los tipos y los usos de las tecnologías que se pueden utilizar en la enseñanza y los entornos de aprendizaje

y, a la vez, saber cómo la enseñanza puede cambiar como resultado de su uso; b) el conocimiento del contenido tecnológico (TCK) se ocupa de la manera en que la tecnología y el contenido se relacionan recíprocamente, y c) el conocimiento pedagógico del contenido (PCK) que representa la combinación de contenido y pedagogía para comprender cómo se organizan, adaptan y representan para la enseñanza



aspectos particulares de la asignatura. Como resultado de la interacción entre estos tres tipos de conocimiento surge uno nuevo, el TPACK (Technological pedagogical content knowledge) o conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido. La incorporación de la tecnología a la enseñanza del movimiento se ha producido por diferentes caminos, por ejemplo, Klein *et al.* (2015) investigaron los efectos del análisis de video en la comprensión conceptual de los estudiantes sobre los diferentes marcos de referencia en el estudio del movimiento parabólico. Usaron un experimento en el cual un carro que se desliza por un plano inclinado lanza una bola verticalmente (the cart-ball-experiment, CBE, por sus siglas en inglés) y la atrapa de nuevo independientemente del ángulo, el estudio se realizó con el método de análisis de movimiento basado en video (VBMA por sus siglas en inglés). Los estudiantes pudieron realizar un seguimiento de los datos de posición y las trayectorias de movimiento en diferentes marcos de referencia con ayuda del VBMA, y observar cómo se ven afectados los gráficos de movimiento cuando varía el marco de referencia. Se realizó una prueba piloto con 22 estudiantes y posteriormente un estudio con 82 estudiantes de la Universidad de Kaiserslautern. Con ellos se conformaron un grupo de control y otro experimental y se evaluó el desempeño de los estudiantes antes y después de la enseñanza, a ambos grupos se les asignó el mismo ejercicio (CBE). El primer grupo lo resolvió con lápiz y papel y el segundo utilizó herramientas de análisis de video. Después de la intervención se realizó el análisis de los datos con 47 de ellos (quienes presentaron las dos pruebas). Entre los hallazgos están: que el análisis del movimiento por videos permite a los estudiantes explorar las leyes de la cinemática en diferentes marcos de referencia y proporciona datos y gráficos de movimiento para verificar la teoría y mejorar significativamente la comprensión conceptual de los estudiantes. Este artículo provee los videos como alternativa para la enseñanza del movimiento y de la incorporación de la tecnología a la E-A-Ev.



Martin-Ramos, Ramos y Silva (2017) usaron un teléfono inteligente con una aplicación de cámara de ráfaga gratuita (que pudiera tomar fotos cada 50 milisegundos aproximadamente) para el diseño de un experimento que permitía el estudio del movimiento parabólico, el cual se realizó en dos niveles educativos diferentes en Portugal: en una clase de escuela secundaria (11° grado) y en una clase de primer año de Ingeniería Física; en ambas clases se formaron grupos de trabajo para la toma de fotografías, luego los estudiantes las analizaron con Microsoft Paint para extraer los datos de posición y tiempo del objeto que lanzaron. Entre las conclusiones del estudio están: que el experimento les permitió a los estudiantes pensar en las características del movimiento de la bola mientras obtenían las coordenadas de la bola de las fotos tomadas; que reportaron un alto

grado de satisfacción después de participar de la actividad con una calificación promedio de 8.8/10 y un 100% de acuerdo sobre la conveniencia de extenderlo a otras clases y futuros años escolares. Este estudio proporciona evidencia de que la integración de la tecnología a la E-A-Ev de la física del movimiento se puede realizar usando los dispositivos electrónicos de los estudiantes como sus teléfonos móviles.

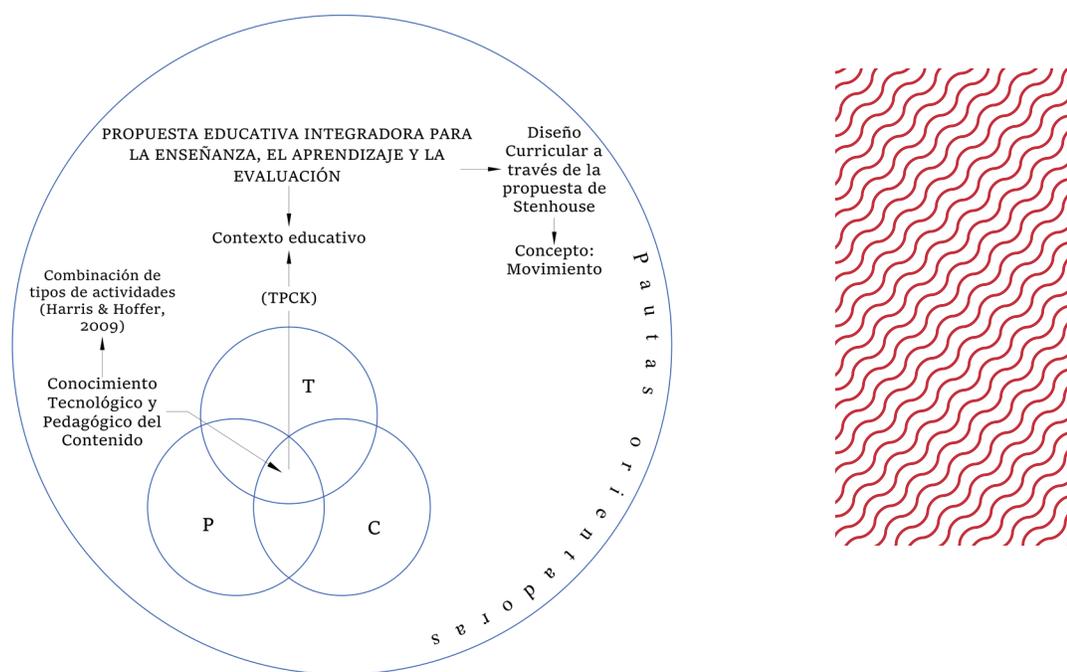
## **Resultados sobre la E-A-Ev del concepto de movimiento**

A partir del análisis de las cinco premisas, se puede afirmar con respecto a la E-A-Ev del concepto de movimiento que: 1) Los textos siguen vigentes para la E-A-Ev. Los estudiantes y profesores le atribuyen una función hegemónica al mismo, los profesores lo utilizan para la enseñanza y evaluación y los estudiantes como recurso para el aprendizaje. 2) El MP de los textos tiene tres características en común: a) explican el concepto de movimiento en un contexto educativo donde los autores de los libros plantean una concepción para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación; b) el modelo está basado en la disciplina, es decir, articula el concepto en el marco de la física dándole una visión integradora debido a que el concepto es parte de un cuerpo teórico, en este caso la física clásica; c) la evaluación está enmarcada en la resolución de problemas, un nombre más adecuado es ejercicios de lápiz y papel (Becerra, Gras-Martí y Martínez-Torregrosa, 2005), que se caracterizan por enunciados típicos, que requieren conceptos específicos y un determinado procedimiento que no genera incertidumbre; también son conocidos como problemas-tipo y a través de unos pasos estandarizados los estudiantes pueden llegar a la respuesta correcta (Becerra, Gras-Martí y Martínez-Torregrosa, 2005). 3) El proceso de construcción histórico del concepto científico de movimiento analizado epistemológicamente permite identificar las diferentes interpretaciones que se originaron. 4) La enseñanza se realiza de manera tradicional, es decir, las clases son expositivas donde el protagonista de la enseñanza es el profesor a través de sus explicaciones, en ellas el profesor prioriza la disciplina, además hay una baja incorporación de la tecnología digital para la enseñanza del concepto de movimiento. 5) Los estudiantes tienen ideas iniciales que no se transforman con la simple instrucción del profesor pero que median el proceso de E-A-Ev. 6) Existen pocas investigaciones que incorporan el TPACK en la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación en la física y en el concepto de movimiento a nivel mundial y en Colombia, afirmación que se deriva de la revisión realizada en las bases de datos Scopus y Web of science y 7) se identificó la necesidad de generar propuestas educativas para la E-A-Ev del concepto de movimiento que incluyan las ideas iniciales de los estudiantes, los ayuden a relacionar los conceptos físicos con el formalismo matemático y a utilizar la tecnología más allá de la realización de experimentos.

## Conclusiones

La tecnología ofrece la posibilidad de transformar la educación; sin embargo, para ello los profesores deben conocer no sólo sobre la materia que enseñan sino también sobre las maneras en que la tecnología puede modificar el proceso E-A-Ev para esa materia. Una alternativa es la introducción de la tecnología a la educación con una adecuada fundamentación teórica. Esto requiere la integración de conocimientos: pedagógicos, del contenido, tecnológicos, el PCK, el TCK, el TPK y TPACK para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de los conceptos.

A continuación, se desarrolla una propuesta educativa integradora para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación del concepto de movimiento con base en este modelo que incorpora los resultados de las cinco premisas epistemológicas, y que contribuirá a que los profesores transformen su modelo pedagógico tradicional. La propuesta implica abandonar el empirismo que usualmente se encuentra en las clases y empodera al profesor como investigador y transformador del proceso educativo y de sí mismo. La práctica es entonces un lugar para indagar, cuestionar su ser y quehacer, sus funciones, y reflexionar sobre los métodos y los contenidos (Latorre, 2005). La Figura 1 muestra la construcción teórica de la propuesta educativa integradora para la E-A-Ev del concepto de movimiento.



**Figura 1.** Propuesta educativa integradora para la E-A-Ev del concepto de movimiento  
**Fuente:** elaboración propia

El diseño requirió establecer las pautas que orientan el diseño de la propuesta y que expresan aspectos de como el autor concibe la E-A-E (ver Tabla 4).

Integre los conocimientos pedagógicos, tecnológicos y del contenido del profesor en torno al concepto de movimiento.  
Desarrolle los aspectos cinemáticos y dinámicos del movimiento simultáneamente y el contenido programático del espacio académico.  
Contribuye a transformar las ideas iniciales o previas de los estudiantes.  
Incluye la tipología propuesta por Harris & Hofer (2009) para el desarrollo de las actividades por parte de los estudiantes.  
Incorpora la tecnología digital (incluye diferentes herramientas tecnológicas por parte del profesor y los estudiantes para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación).  
Fomente la participación de los estudiantes en su proceso de formación, en la interacción en clase y con sus compañeros de equipo de trabajo.  
Incorpore la historia y epistemología del concepto de movimiento.

**Tabla 4.** Pautas para el desarrollo de la propuesta educativa

**Fuente:** elaboración propia

Segundo, se asumió el currículo como proyecto (Stenhouse, 1984), lo que proporcionó una base para la planificación de un curso en un contexto educativo determinado, (por ejemplo, un curso de mecánica newtoniana en una universidad pública). La planificación curricular requiere de:

- Proyecto. Aspecto teórico: ¿Qué enseñar?, ¿cómo enseñar?, ¿en qué orden?
- Estudio Empírico: ¿Cómo evaluar el progreso de estudiantes y profesores?
- Justificación. ¿Cuál es la finalidad del currículo?, ¿cómo lo evaluó?

La justificación requiere un tiempo para discernir qué se quiere lograr con la propuesta educativa: *Si se establecen relaciones entre la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación del concepto de movimiento incorporando el TPACK, se contribuye a la formación de ciudadanos con pensamiento crítico, reflexivos, propositivos y alfabetizados científicamente.*

El desarrollo del proyecto se propuso desde: a) la incorporación del TPACK en la enseñanza, aprendizaje y evaluación (Mishra y Koehler, 2006); b) la

documentación del PCK (Loughran *et al.*, 2004); c) la incorporación de la tecnología en el aula por medio de combinación de actividades, y d) desde la disciplina del concepto de movimiento.

Tercero, como no todos los temas se pueden adaptar a cualquier tecnología y no cualquier tecnología es adecuada para cada tema, es la planificación curricular y el contexto los que determinan la forma de articular la tecnología a la E-A-Ev del concepto, es decir, la selección de las actividades se realiza una vez se hayan respondido las preguntas: ¿Qué enseñar?, ¿cómo enseñar? y ¿en qué orden? Su integración se puede realizar a través de la combinación de tipos de actividades de aprendizaje con apoyo tecnológico y las taxonomías de tipos de actividades para las diferentes áreas curriculares propuestas por Harris y Hofer (2009) (ver Tabla 5 en los estudios sociales). Estas se basan en el desarrollo del conocimiento convergente y divergente; el primero, es conocimiento vertical o racional que se caracteriza porque llega a una respuesta determinada con una única solución, y el segundo, busca alternativas para hallar la mejor solución a un problema, promoviendo la creatividad. Estas actividades además de facilitar la enseñanza y el aprendizaje permiten evaluar el progreso de los estudiantes, de los profesores y de la propuesta.

Taxonomía del tipo de actividades	Actividad de aprendizaje	No Act.	Posible tecnología para apoyar la actividad de aprendizaje
<i>De construcción de conocimiento</i>	Leer un texto, observar una presentaciones, observar imágenes, escuchar un audio, participar en discusiones grupales, participar en salidas de campo o virtuales, participar en simulaciones, debatir, investigar, realizar una entrevista, indagación en base de datos, ordenar información histórica, comparar/contrastar información histórica, considerar la evidencia histórica e indagación basada en artefactos.	15	Sitios web, libros electrónicos, PowerPoint, movie maker, uso de excel y word, videoconferencia, podcast, espacios wiki y discusiones en ellos, desarrollo de tutoriales, páginas de google, uso de cámaras digitales, uso de documentos digitales, actividades digitales, blog de notas, uso de software específico.
<i>De expresión de conocimiento convergente</i>	Responder preguntas, crear líneas de tiempo, crear mapa, completar tablas, completar una actividad de revisión, completar una prueba.	6	Word, black-board, e-boards, realización línea de tiempo, photo story, PowerPoint, google earth, sistemas PRS, juegos, herramientas de encuesta googledocs (para realizar un seguimiento de las contribuciones de varios autores), blogs, páginas de google.

Taxonomía del tipo de actividades	Actividad de aprendizaje	No Act.	Posible tecnología para apoyar la actividad de aprendizaje
<i>De expresión de conocimiento divergente escrito</i>	Escribir un ensayo, escribir un reporte, generar una narrativa histórica, crear un poema, crear un diario.	5	Uso de paint, photo shop, google earth, PowerPoint, cámaras digitales, word, espacios wiki o documentos de google
<i>De expresión de conocimiento divergente visual</i>	Crear un mapa ilustrado, crear una imagen virtual o un mural, dibujar una caricatura.	3	Herramientas de imagen, PowerPoint, movie maker, iMovie inspiredata, wikispaces, scrapblog, Bubbleshare, letterpop.
<i>De expresión de conocimiento divergente conceptual</i>	Desarrollar una web de conocimiento, generar preguntas y desarrollar una metáfora.	3	PowerPoint, word, inspiration, documentos de google, espacios wiki
<i>De expresión de conocimiento divergentes orientadas al producto</i>	Producir un artefacto visual, construir un modelo, diseño de una exhibición, crear un periódico, crear un juego, crear un film.	6	Herramientas de imagen, PowerPoint, espacios wiki, word, realizar rompecabezas, software de diseño páginas web, photostory.
<i>De expresión de conocimiento divergente participativo</i>	Hacer una presentación, participar en un juego de rol histórico, hacer performance, participar en una acción cívica	4	PowerPoint, photostory, movie maker, imovie, cámara digital, videoconferencia, web, correo electrónico.

**Tabla 5.** Actividades para incorporar la tecnología en el área de ciencias sociales.

**Fuente:** elaboración propia

Esta propuesta educativa integradora permitirá que cada profesor transforme su modelo pedagógico y genere un nuevo modelo que incorpore los resultados de las cinco premisas y desarrolle su MP al seleccionar: ¿Qué enseñar?, ¿qué libros de física universitaria va a consultar?, ¿cómo enseñar?, ¿en qué orden?, ¿qué aspectos históricos quiere incorporar y de qué manera los va a utilizar en el aula?, ¿qué actividades selecciona para desarrollar la E-A-Ev?

A modo de conclusión es posible afirmar que el TPACK es un modelo integrador que articula las premisas epistemológicas, facilita la incorporación de los conocimientos del contenido, pedagógicos y tecnológicos contribuyendo con la E-A-Ev del concepto de movimiento y permite el diseño de propuestas educativas.

## Notas

- <sup>1</sup> Mg. en Educación, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Docente Universidad Francisco José de Caldas, Colombia.
- <sup>2</sup> El modelo pedagógico se enmarca en la educación en ciencias; sin embargo, para comprender este concepto es necesario diferenciar entre educación en ciencias, enseñanza de las ciencias y didáctica de las ciencias. La primera, es la disciplina base de la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de las ciencias; la segunda, la práctica profesional de la disciplina en las instituciones educativas, y la última es la parte instrumental de la educación en ciencias para relacionar el conocimiento del profesor y el conocimiento del estudiante asumiendo como referencia el conocimiento disciplinar (Zambrano, Salazar, Candela y Villa, 2013).

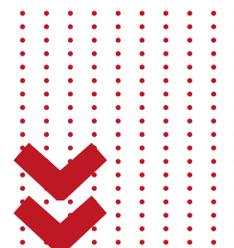
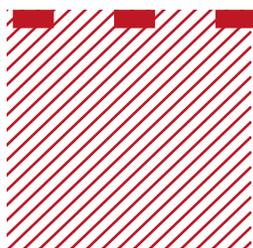
## Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Angeli, C., y Valanides, N. (2005). Preservice teachers as ICT designers: An instructional design model based on an expanded view of pedagogical content knowledge. *Journal of Computer-Assisted Learning*, 21(4), 292–302.
- Angeli, C., y Valanides, N. (2009). Epistemological and Methodological Issues for the Conceptualization and Development of ICT-TPCK. *Computers & Education*, 52(1), 154–168.
- Angeli, C., y Valanides, N. (2013). Technology mapping: an approach for developing technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 199–221.
- Aristóteles. (1998). *Física* (Guillermo Echandía trad.). Bogotá: Editorial Gredos.
- Bani-Salameh, H. N. (2016). Using the method of dominant incorrect answers with the FCI test to diagnose misconceptions held by first year college students. *Physics Education*, 52(1), 014003.
- Becerra, C., Gras-Martí, A., y Martínez-Torregogrosa, J. (2005). ¿De verdad se enseña a resolver problemas en el primer curso de física universitaria? La resolución de problemas de “lápiz y papel” en cuestión. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(2), 299–308.

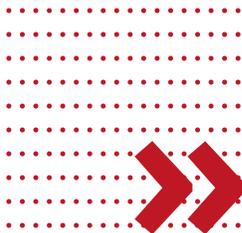


- Carrejo, D., y Marshall, J. (2007). What is mathematical modelling? Exploring prospective teachers' use of experiments to connect mathematics to the study of motion. *Mathematics Education Research Journal*, 19(1), 45–76. doi: [10.1007/BF03217449](https://doi.org/10.1007/BF03217449)
- Ceballos, R. (2014). Las reglas del impacto: Descartes y Clarke. *Discusiones Filosóficas*, 15(25), 113–129.
- Chuang, H., Weng, C., y Huang, F. (2015). A structure equation model among factors of teachers' technology integration practice and their TPCCK. *Computers & Education*, 86, 182–191.
- DiSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105–225. doi: [10.1207/s1532690xci1002](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1002)
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Madrid: Narcea S.A. Ediciones.
- El-Hani, C. (2006). Notas sobre o ensino de historia e filosofia da ciencia na educacao Científica de nivel superior. En C. Silva (Ed.), *Estudos de historia e filosofia das ciencias* (pp. 3–17). Sao Paulo: Editora Livraria da Física.
- Fernández-González, M., y Rondero, C. (2004). El inicio histórico de la ciencia del movimiento: Implicaciones epistemológicas y didácticas Le début historique de la science du mouvement. Implications épistémologiques et didactiques. *Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 7(2), 145–156.
- Galilei, G. (2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (J. San Román, ed.). Buenos Aires: Editorial Losada.
- Galili, I. (2012). Promotion of cultural content knowledge through the use of the history and philosophy of science. *Science & Education*, 21, 283–1316.
- García-Martínez, Á., e Izquierdo, M. (2014). Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(1), 265–281. Recuperado de <http://ddd.uab.es/record/116596?ln=ca>
- Giorgi, S., Concari, S., & Pozzo, R. (2005). Un estudio sobre las investigaciones acerca de las ideas de los estudiantes en fuerza y movimiento. *Ciência & Educação*, 11(1), 83–95. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v11n1/08.pdf>

- Harris, J., y Hofer, M. (2009). Instructional planning activity types as vehicles for curriculum-based TPACK development 2009. En C. D. Maddux (Ed.), *Research Highlights in Technology and Teacher Education* (pp. 99–108). Chesapeake, VA: Society for Information Technology in Teacher Education (SITE).
- Hecht, E. (1997). *Física en perspectiva*. México, D.F.: Addison Wesley Iberoamericana.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17, 45–59.
- Klein, P., Groeber, S., Kuhn, J., Fleischhauer, A., y Müller, A. (2015). The right frame of reference makes it simple: an example of introductory mechanics supported by videoanalysis of motion. *European Journal of Physics*, 36(1), 1–13.
- Koehler, M., Mishra, P., y Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology. *Computers & Education*, 49, 740–762.
- Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Latorre, A. (2005). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona: Editorial Graó.
- Loughran, J., Mulhall, P., y Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391. doi: 10.1002/tea.20007
- Martin-Ramos, P., Ramos, M., y Silva, P. P. (2017). Smartphones in the teaching of Physics Laws: Projectile motion. *Ried-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 213–231.
- Martínez, C., García, S., Mondelo, M., y Vega, P. (1999). Los problemas de lápiz y papel en la formación de profesores. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(2), 211–225.
- Matthews, M. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, (11-12), 141–155.
- Matthews, M. (1994a). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de Las Ciencias*, 12(2), 255–277.



- Matthews, M. (1994b). *The role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- McDermott, L., Rosenquist, M., & Van Zee, E. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503–513.
- Mendoza, A., Ripoll, L., y Ruz, L. (2005). Instrumentos para la enseñanza-aprendizaje de los vectores en cinemática. *Revista Educación y Pedagogía*, XVII(43), 93–107. Recuperado de <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeypp/article/view/6056/5462>
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Newton, I. (2011). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Alianza editorial.
- Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 21(5), 509–523.
- Pérez, J., Miranda, A., y Garcés, A. (2015). La clase de física y las creencias de los estudiantes de preparatoria sobre el movimiento. *Revista de Enseñanza de La Física*, 27(2), 51–61. doi: 10.1137/1.9781611973105.103
- Reiner, M., y Burko, L. (2003). On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education. *Science & Education*, (12), 365–385. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1024438726685>
- Rodrigues, S. (2003). Experiences from the partnership in primary science project: Teacher professional development involving ICT and science pedagogical content knowledge. *Science Education International*, 14(2), 2–11.
- Serway, R., & Jewett, J. (2005). *Físicas para ciencias e ingeniería*. vol. 1. México, D.F.: Thomson Learning.
- Shaffer, P., & McDermott, L. (2005). A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts vector and operational definitions. *American Journal of Physics*, 73(10), 921–931. doi: 10.1119/1.2000976
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.



- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23. doi: 10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411
- Stenhouse, L. (1984). *Investigación y desarrollo del curriculum*. Madrid: Ediciones Morata, S. A.
- Tipler, P., y Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología*. Vol 1 (Sexta). Barcelona: Reverté, S.A.
- Trowbige, D., & McDermott, L. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), 1020–1028.
- Uribe, C. (2010). *La transformación en la explicación y comprensión del movimiento: desde la concepción aristotélica hasta la newtoniana*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Viennot, L. (2002). *Razonar en física, la contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado libros, S.A.
- Young, H. D., y Freedman, R. (2009). *Física Universitaria volumen 1 (décimosegundo)*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Zambrano, A. (2000). *Relación entre el conocimiento del estudiante y el conocimiento del maestro en las ciencias experimentales*. Cali: Universidad del Valle. Instituto de educación y pedagogía.
- Zambrano, A. (2007). *Fundamentos básicos de la termodinámica: calor, temperatura y trabajo*. Cali: Universidad del Valle. Instituto de educación y pedagogía.
- Zambrano, A., Salazar, T., Candela, B. F., y Villa, L. (2013). Las líneas de investigación en educación en ciencias en Colombia. *Asociación Colombia Para La Investigación. Educación En Ciencias y Tecnología EDUCyT*, 7(junio – diciembre), 78–109.
- Zhao, Y., y Conway, P. (2001). *What's in and what's out? An analysis of state technology plans*. Teachers College Record.

