

Descripción gráfica de la resolución de problemas de la física escolar

Graphic description of school physics problem solving

Nehemías Moreno Martínez¹ (nehemias.moreno@uaslp.mx) (<https://orcid.org/0000-0002-5919-612X>)

María Leticia Villaseñor Zúñiga² (leticia.villasenor@uaslp.mx) (<https://orcid.org/0000-0003-0533-8660>)

José de Jesús Ramírez García³ (jesus.ramirez@uaslp.mx) (<https://orcid.org/0000-0001-8360-2215>)

Resumen

Se describe un procedimiento para la construcción de Mapas Híbridos en el contexto de la física escolar. A partir de la adaptación de algunos constructos del Enfoque Ontosemiótico proveniente de la Matemática Educativa al contexto de la física escolar, se delinea un procedimiento para la construcción de Mapas Híbridos que describen la resolución de problemas de la física escolar por parte de estudiantes o expertos. A partir de una metodología cualitativa, de caso, descriptiva e interpretativa, fue posible advertir el procedimiento para la construcción de la propuesta. El Mapa Híbrido construido mediante este procedimiento puede ser útil para el docente de física, en el desarrollo de material didáctico o para reflexionar sobre su práctica docente, o para el investigador en didáctica de la física, para indagar las concepciones físicas de estudiantes o profesores.

Palabras clave: resolución de problemas, enseñanza de la física, representación, conexiones.

Abstract

A procedure for the construction of Hybrid Maps in the context of school physics is described. Based on the adaptation of some constructs of the Ontosemiotic Approach from Educational Mathematics to the context of school physics, a procedure is outlined for the construction of Hybrid Maps that describe the resolution of school physics problems by students or experts. Based on a qualitative, case, descriptive and interpretive methodology, it was possible to notice the procedure for the construction. The Hybrid Map constructed through this procedure can be useful for the physics teacher, in the development of teaching material or to reflect on their teaching practice, or for the researcher in physics teaching, to investigate the physical conceptions of students or teachers.

Key words: problem solving, physics teaching, representation, connections.

¹ Dr. Profesor Investigador de Tiempo Completo. Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

² Dra. Profesora hora clase. Facultad del Hábitat de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

³ Dr. Profesor hora clase de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

Introducción

En la enseñanza de la Física no es suficiente que el profesor posea un conocimiento disciplinar de física, sino que también se requiere que tenga cierto conocimiento orientado hacia la enseñanza de la física. En particular, este conocimiento dirigido hacia la docencia ha sido descrito mediante algunos constructos para el caso de la enseñanza de las matemáticas (Pino-Fan y Godino, 2015), sin embargo, dichos constructos pueden ser adaptados y delineados al contexto de la enseñanza de la física.

En este último contexto, por un lado, se considera al conocimiento físico escolar, el cual, a diferencia de la física disciplinar o erudita, se trata del conocimiento de los objetos físicos (p. ej., el péndulo, un componente electrónico como la resistencia o capacitor) y físico-matemáticos (como lo es la velocidad, la fuerza, energía) implicados en la resolución de situaciones físicas problematizadas o tareas. La tabla 1 muestra algunas características del conocimiento físico disciplinar y escolar, las cuales al ser comparadas de manera correspondiente permiten apreciar diferencias importantes que deberían ser tomadas en cuenta por el profesional que se desempeña como profesor de física.

Tabla 1

La física disciplinar y la física escolar.

Física escolar	Física disciplinar
Es la física que enseña el profesor en el aula.	Es "la física del físico".
Se aborda la resolución de problemas superados por la comunidad científica hace años, décadas o siglos. Por lo que no son de interés científico.	Se abordan problemas de frontera, de interés científico actual.
Los problemas que se abordan ya han sido resueltos. Se conocen a priori las soluciones.	Los problemas que se abordan no tienen una solución a priori, motivando la investigación.
Conocimiento físico que ya se encuentra en el sistema educativo.	El conocimiento no ha ingresado al sistema educativo.
El conocimiento lo valida el profesor o la academia de profesores de física en una institución educativa.	El conocimiento físico lo valida la comunidad científica.
Es un conocimiento pensado para ser enseñado, para formar ciudadanos con conocimiento de su entorno o profesionistas (físicos, ingenieros).	No es pensada para ser enseñada.
Se comunica a través de libros de texto o mediante las clases que imparte el profesor.	Se comunica a través de artículos especializados, coloquios y congresos.
La experimentación se apoya en simulaciones computacionales o equipo	La experimentación considera equipo sofisticado, por lo regular costoso y de alta

de laboratorio de “uso rudo” con fines demostrativos y por lo regular económico.	precisión.
--	------------

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, también se consideran los aspectos cognitivos, afectivos, emocionales y actitudinales de los alumnos; las interacciones alumno-recursos materiales y tecnológicos, alumno-alumno, alumno-profesor; los recursos y medios para favorecer o motivar el aprendizaje; el conocimiento sobre aspectos curriculares y políticos, sobre el contexto o la realidad de los alumnos, de la escuela, sobre aspectos sociales y económicos, entre otros. Se trata de aspectos que también se encuentran vinculados con la enseñanza de la física.

Con base en lo anterior, considerar que la enseñanza de la física se reduce únicamente a la física escolar podría conducir al profesor a la realización de una práctica docente tradicional, centrada en la enseñanza de conceptos acabados y la repetición de algoritmos de resolución de problemas previamente explicados por el docente; a restarle importancia al empleo de recursos o ayudas para favorecer el aprendizaje; a una escasa consideración de los aspectos afectivos, emocionales, actitudinales, sociales y económicos del alumno.

En Moreno, Angulo y Reducindo (2018) se describe la técnica del MH interpretada desde la teoría del Enfoque Ontosemiótico (por brevedad, EOS) (Godino, Batanero y Font, 2007). Sin embargo, dado que el EOS es una teoría proveniente del campo de la Matemática Educativa, únicamente es posible describir la práctica de resolución de problemas matemáticos, es decir, no es adecuado emplear el EOS para describir la práctica de resolución de problemas físicos debido a que los objetos de la física escolar presentan una ontología y una epistemología distinta a los objetos matemáticos.

A diferencia de los objetos de la física escolar, se accede a los objetos matemáticos a través del signo, ya que “La existencia exclusivamente funcional y no material de los objetos matemáticos hace necesaria una representación externa o un signo que permita su expresión y su reconocimiento” (Pecharromán, 2013, p. 124). En otras palabras “Los objetos matemáticos no son accesibles mediante la percepción, como ocurre con la mayoría de los objetos en otras disciplinas” (Guzmán, 1998, p. 6), en el caso que se aborda en este artículo, el conocimiento físico escolar. En la física escolar, no solo se accede a los objetos a través del signo, sino que también requiere accederse a ellos a través de la percepción o, más precisamente, a través de mediciones realizadas mediante la práctica experimental.

En este sentido, Moreno, Hernández y Briceño (2021) describen la adaptación del EOS al contexto de la física escolar y el empleo de dicha adaptación como marco interpretativo del MH que representa la resolución de problemas físicos. De acuerdo con estos investigadores, en la resolución de un problema físico por parte de un sujeto (estudiante o experto) intervienen y emergen (surgen) nuevos objetos que pueden ser de dos tipos, físicos o físico-matemáticos. En este marco interpretativo se ha señalado,

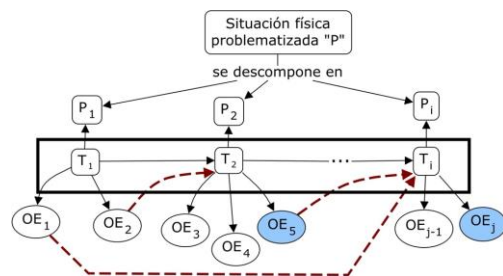
por un lado, el constructo de objeto físico no es entendido en un sentido coloquial, como un artefacto o material tangible, más bien los objetos físicos “son vistos como abstracciones o idealizaciones de los hechos, objetos concretos o entidades físicas, los cuales están vinculados a los resultados experimentales o la experiencia” (Moreno, Hernández y Briceño, 2021, p. 159).

Los objetos físicos o netamente físicos, intervienen de manera importante en la construcción de conocimiento físico, pero no se vinculan directamente con la matemática (p. ej. coche, edificio, resorte, péndulo físico, laser, lente, refracción de la luz, por mencionar algunos). Por otra parte, también hay objetos físicos que se pueden relacionar directamente con los objetos matemáticos, dando lugar estos últimos a los objetos físico-matemáticos (p. ej. fuerza, posición, velocidad, aceleración, energía, inercia de rotación). Los objetos antes mencionados pueden pertenecer a alguna de las siguientes categorías: conceptos, propiedades, procedimiento y argumentos. En Moreno, Hernández y Briceño (2021) se profundiza más acerca de los objetos pertenecientes a estas categorías.

Según la adaptación del EOS a la física escolar, cuando un sujeto resuelve una situación física problematizada “P”, este no lo resuelve directamente, sino que lo descompone en problemas más pequeños o subproblemas P_1, P_2, \dots, P_i , ver la figura 1. El sujeto resuelve cada subproblema mediante la realización de una práctica correspondiente, T_1, T_2, \dots, T_i y, en la realización de cada práctica, emergen nuevos objetos $OE_1, OE_2, OE_3, \dots, OE_{j-1}, OE_j$, los cuales dan cuenta de la producción de conocimiento, ver la figura 1. Las prácticas, entendidas como todo lo que hace el sujeto para resolver el problema, se conectan y se coordinan entre sí y conforman un sistema de prácticas que permiten resolver el problema inicial “P”.

Figura 1

La resolución de una situación física problematizada según la adaptación del EOS a la física escolar



Fuente: elaboración propia mediante *CmapTools*.

Cabe señalar que algunos objetos emergentes de las prácticas, OE_1, OE_2 y OE_5 en la figura 1, son empleados en las prácticas subsiguientes para su realización, lo cual da cuenta de las conexiones que el sujeto establece entre los objetos de las distintas

prácticas. También hay otros objetos emergentes que son interpretados por el sujeto como las respuestas al problema inicial “P”, OE_5 y OE_j en la figura 1.

En la adaptación del EOS a la física escolar se consideran también algunos procesos cognitivos y facetas. Los procesos cognitivos permiten llevar un objeto de una faceta o perspectiva a otra y también relacionar objetos, algunos de estos son: (i) *idealización*, lleva al objeto de su faceta ostensiva u observable a su faceta no ostensiva o pensada; (ii) *materialización*, inverso a la idealización, va del objeto en su faceta no ostensiva a su perspectiva ostensiva u observable; (iii) *particularización*, lleva al objeto de la faceta intensiva o general a la faceta extensiva o particular; (iv) *significación*, va de un objeto en la faceta de significante a un objeto en la faceta de significado, puede ser el mismo objeto u objetos distintos; (v) *representación*, proceso inverso al de significación; por mencionar algunos.

Además de los procesos cognitivos anteriores, en la adaptación también se consideran otros procesos cognitivos de gran importancia para la física escolar los cuales no se encuentran catalogados dentro del conjunto de procesos indicados por el EOS. En este sentido, se considera el proceso cognitivo de *comprensión lectora*, que a su vez pone en juego al proceso de inferencia, memoria y metacognición (Moreno, Hernández y Briceño, 2021) cuando un sujeto, lleva a cabo la lectura de un texto. En el caso del presente trabajo, la lectura del texto describe la situación física problematizada.

En el presente artículo se centra la atención en el aspecto interaccional y se persigue como objetivo delinear los elementos de un procedimiento para construir un Mapa Híbrido (por brevedad, MH) para la enseñanza de la física escolar. El Mapa Híbrido es un recurso que puede ser empleado como una ayuda gráfica para el estudiante y favorecer el aprendizaje de la física, esto a partir de la representación de los objetos y sus conexiones, que intervienen y emergen de la práctica de resolución de una situación física problematizada. Cabe señalar que el MH ha sido empleado en la enseñanza de contenidos de la matemática (Moreno, Angulo y Reducindo, 2018), la física (Moreno, Hernández y Briceño, 2021) y química (Moreno y Hernández, 2020) escolar.

Materiales y métodos

Para la elaboración de la propuesta se llevó a cabo una metodología cualitativa mediante un estudio de caso de tipo descriptivo ya que, por un lado, se describe la producción (oral y escrita) y organización de la producción del sujeto (Física para todos, 2017) que resuelve una situación problematizada de caída libre y, por otro lado, dicha producción fue representada de manera gráfica mediante el MH, lo que permitió observar y analizar los distintos objetos físico-matemáticos (intervinientes y emergentes), la organización y conexión entre los objetos así como los procesos cognitivos implicados en la resolución. El estudio también fue interpretativo ya que, una vez elaborado el MH, fue analizado desde la adaptación del EOS.

Resultados

Un procedimiento para la construcción de Mapas Híbridos

El MH puede ser construido a partir de un procedimiento que considera la descripción de la resolución de una situación física problematizada, según la adaptación del EOS a la física escolar. El procedimiento consiste de dos etapas, las cuales se describen a continuación:

Primera etapa

- i. *Obtener la producción.* Para la construcción del MH se requiere información, para esto, se solicita al sujeto (estudiante, grupo de estudiantes, profesor o autor de libro de texto) que resuelva la situación física problematizada y que explique en voz alta todo el proceso de resolución al mismo tiempo que escribe sus acciones sobre el papel. El objetivo es obtener la producción oral y escrita, para lo cual el investigador o el que construye el mapa puede apoyarse de algunas herramientas para registrar la producción, por ejemplo, videograbadora, grabadora de audio, grabación por videollamada, pluma inteligente (del inglés *smartpen*), entre otras. Es importante señalar que no es suficiente contar con la producción escrita sobre el papel, pues esto implicaría prescindir de algunos objetos que posiblemente fueron pensados y enunciados verbalmente, pero no materializados.

En relación con la producción oral, se requiere realizar la transcripción de la misma y, al igual que toda transcripción, algunas veces se requiere prescindir de algunos señalamientos del resolutor cuando éstas no abonan a la resolución de la situación problematizadas.

- ii. *Organizar la producción.* A partir de la producción escrita y la transcripción del discurso oral se identifican las prácticas y los objetos que intervienen y emergen en cada una de ellas, para esto, se identifican las diferentes acciones principales que se realizan, ver T_1, T_2, \dots, T_i en la figura 1.

Es importante que en la identificación de las prácticas se considere que en algunas de éstas se lee y se interpreta el problema planteado y muchas veces el sujeto parafrasea el texto, agregando algunos elementos nuevos, sin embargo, dicha repetición muestra la realización de un proceso de metacognición sobre el texto que describe el problema, es por eso que a este tipo de prácticas se les nombra “prácticas interpretativas”. Otras prácticas son nombradas “prácticas operativas”, si solo se realizan cálculos u operaciones, y “parcialmente operativas” si se realizan cálculos y también se enuncian argumentos justificativos o validativos de los cálculos y resultados.

Como ayuda visual en la identificación de las prácticas y sus objetos, en la producción escrita es posible delimitar las prácticas mediante regiones o indicarlas mediante el empleo de índices. También estos índices, pueden ser

símbolos o flechas, son útiles para vincular temporalmente la transcripción de la producción oral con la producción escrita, en otras palabras, para que a simple vista se pueda saber qué dijo el autor al momento que realizó la escritura de algún símbolo, expresión o dibujo en la producción escrita. Esta es la manera en que se ejemplifica la construcción del MH en este trabajo.

Segunda etapa

Esta etapa se apoya en el paso (ii) de la etapa anterior, ya que esto facilita mucho la construcción del MH. La construcción del MH se puede realizar con lápiz y papel, pero también se pueden construir mediante el empleo de algún *software*.

- iii. *Captura de la situación física problematizada y de las prácticas.* La construcción del MH inicia con la escritura del texto que describe la situación física problema. Posteriormente, a este objeto se conectan y se escriben las prácticas que fueron identificadas.
- iv. *Captura de los objetos.* A partir de la producción de la primera etapa, se identifican los objetos físicos y físico-matemáticos que intervienen en cada práctica y se van escribiendo en el MH debajo de cada una de las prácticas según el orden de aparición durante la resolución del problema. Es importante señalar que algunos objetos se enuncian tanto verbalmente como de manera escrita, por lo que es necesario capturar en el MH la enunciación más compacta, esto es, conviene capturar en el MH símbolos o expresiones algebraicas en lugar de proposiciones que aluden a objetos dentro de la categoría de argumentos o propiedades.

Cabe señalar que, en la producción, los conceptos pueden representarse mediante palabras, símbolos o representaciones pictóricas y pueden ser tanto de tipo físico como físico-matemático. Los argumentos aparecen mediante la conexión de conceptos a través de palabras enlace y se identifican porque justifican las acciones realizadas en las prácticas o validan los resultados obtenidos. Las propiedades algunas veces aparecen como cadenas de conceptos, pero también pueden representarse mediante expresiones algebraicas o fórmulas.
- v. *Establecer conexiones entre los objetos.* Posteriormente, se analiza el mapa generado y se establecen conexiones entre los objetos. Las conexiones muestran las relaciones entre los objetos, las cuales fueron establecidas implícitamente por el sujeto que resolvió el problema.
- vi. *Interpretación del MH.* Se interpreta el MH a partir de los constructos del EOS que fueron adaptados a la física escolar.

Cabe señalar que este último paso es opcional, pues el MH puede construirse y emplearse aún con el desconocimiento de la teoría que lo sustenta. Este último fenómeno lo observamos con la técnica del Mapa Conceptual (MC) (Novak y Cañas,

2006), ya que en los distintos niveles educativos muchos emplean el MC, pero desconocen los constructos de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel.

Recursos tecnológicos para la construcción del MH

En la construcción del MH se sugiere emplear algún programa o recurso tecnológico. González, González y Vega (2023) exponen el uso de las TIC en la enseñanza de la Física como una tendencia en investigación. Gijón, Khaled, Matas y García (2022) refieren que los mapas conceptuales sirven para estudiar el aprendizaje desde la óptica de la representación del conocimiento mediante mapas de conceptos y sus relaciones, además promueven el aprendizaje significativo. López-Quintero, Pontes-Pedrajas y Varo-Martínez (2019) en su trabajo exponen cómo las tecnologías de la información y la comunicación se utilizan en la educación, entre sus hallazgos están que los alumnos valoran positivamente la introducción de nuevas metodologías basadas en las TIC, entre las áreas del conocimiento en la cual se aplican está la Física, y de los recursos que se utilizan para la educación se encuentra el mapa conceptual digital.

Aunque no existe un *software* especializado para la construcción del MH, es posible utilizar algún programa de paga o de acceso gratuito, por ejemplo, *CmapTools*, que Martins de Almeida, Bandeira, dos Santos y Campos (2019) describen como una herramienta metacognitiva. Si bien, el *software CmapTools* está especializado en la construcción de mapas conceptuales, por lo que muchas veces no resulta suficiente en la construcción del MH donde se requiere una escritura más sofisticada de expresiones matemáticas, sin embargo, es posible utilizarlo para desarrollar mapas híbridos. Otras aplicaciones que existen están *Draw.io*, *Lucidchart*, *Creately*, *XMind*, entre otras. La mayoría de estas aplicaciones cuentan con una versión libre con limitaciones y otra de paga. Por lo cual, se sugiere revisar lo anterior para descubrir cual se adhiere mejor a las necesidades personales, afortunadamente existe una diversidad de recursos tecnológicos que sirven para realizar mapas conceptuales, se debe reconocer aquellos que mejor se adapten para la realización de mapas híbridos.

Descripción gráfica de la resolución de un problema físico

Para ilustrar cómo se construye un MH mediante los pasos anteriores, a continuación, se describe la construcción de un MH que representa la resolución de la situación física problematizada de cinemática, a saber, “*Se deja caer una manzana desde una altura de 20.0m sobre el suelo (a) ¿Cuánto tiempo le toma en llegar al piso?; (b) ¿Qué velocidad tiene al momento de tocar el suelo?*”, en el video de *Youtube* de Física para todos (2017) el autor del vídeo explica en voz alta el proceso de resolución y, a partir de éste, se obtuvo la producción.

Como resultado de realizar el paso (i), a continuación, en la siguiente tabla 2 se presenta la transcripción del discurso oral de la resolución del problema.

Tabla 2

Transcripción del discurso oral del vídeo que describe la resolución de la situación física problematizada

Índice	Transcripción
V1	Vamos ... a esquematizar el ejercicio ... se deja caer una manzana desde la azotea de un edificio se deja caer significa ... velocidad inicial de cero
V2	... vamos a poner un punto de referencia arriba de la azotea ... a esta " y " la hemos denominado ... altura que es -20 metros es una cantidad vectorial que tiene dirección , ... que es por debajo de la azotea del edificio
V3	... tenemos una velocidad inicial de 0m/s , ...una distancia de -20m , una gravedad de 9,8m/s² ... debemos encontrar el tiempo que demora en caer y la velocidad final , ...que está justo antes de chocar con la tierra , ...
V4	... vamos a tomar la ecuación fundamental de caída libre ... la distancia en "y" es igual a una distancia inicial más la velocidad inicial en "y" por el tiempo más ½ de la gravedad por el tiempo al cuadrado .
V5	Vamos a reemplazar en esta ecuación , ... de acuerdo a mi punto de referencia "y" lo tomamos negativo , entonces sería -20 metros , la distancia inicial es cero , velocidad inicial también es cero . Entonces toda esa cantidad de acá se cancela porque es cero, más un medio de menos 9,8 m/s², la reemplazamos con negativo, y por el tiempo al cuadrado. Simplificamos ...nos queda -20 igual, y acá, ½ por -9,8 pues me da -4.9 , ...tenemos la " t ", lo que hacemos es despejar , ...pasamos esta cantidad a dividir y acá lo tenemos, 20 dividido 4.9... podemos cancelar los negativos ...y aquí se puede cancelar ... metros ... y ... segundos al cuadrado sube aquí arriba ,... y haciendo la operación de 20 dividido 4.9 pues me da 4,08s² igual a t².
V6	Este cuadrado se me va con el radical , lo mismo este t² se me va con el radical , y le saco raíz cuadrada a 4,08... y el tiempo que demora en caer la manzana desde una altura de -20 metros es de 2,02 segundos .
V7	Vamos a utilizar la ecuación fundamental que nos dice que la velocidad final es igual a la velocidad inicial más la gravedad por el tiempo ...
V8	... la velocidad inicial es cero . Menos la gravedad, 9.8m/s² y el tiempo que lo acabé de hallar en el ejercicio anterior 2,02. Haciendo los cálculos, eliminamos este cuadrado de segundo con este

segundo de acá y -9,8 por 2,02 pues me da -19,8 m/s.

esta **velocidad** es en el **instante** de que la **manzana** toque el **piso**
y este **menos** me indica que la **velocidad** va **hacia abajo**...

Fuente: Física para todos (2017).

De acuerdo con el paso (ii) la tabla 2 fue construida de doble entrada, en la primera entrada se han colocado los índices V1, V2,...,V8, los cuales aparecen también en la producción escrita del vídeo de Física para todos (2017), ver la figura 2. La segunda entrada de la tabla es la transcripción del discurso oral del autor del vídeo, de la cual se ha prescindido algunos fragmentos que no abonan al proceso de resolución.

Figura 2

Producción escrita en el vídeo que describe la resolución del problema de la caída de manzana.

Ejercicio 1: Se deja caer una manzana desde una altura de 20,0 m sobre el suelo. **(a)** ¿Cuánto tiempo le toma en llegar al piso?; **(b)** ¿Qué velocidad tiene al momento de tocar el suelo?

Datos iniciales	Incógnita	Solución
$v_0 = 0 \text{ m/s}$ $y = -20,0 \text{ m}$ $g = -9,80 \text{ m/s}^2$	$t = ?$ $v_f = ?$	(a) Ecuación fundamental

(a)

$$\textcircled{1} y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad \text{V4}$$

$$-20 \text{ m} = 0 + (0) \cdot t + \frac{1}{2} (-9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot t^2$$

$$\cancel{-20 \text{ m}} = \cancel{(4,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \cdot t^2 \rightarrow \frac{20 \text{ m}}{4,9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = t^2$$

$$\sqrt{4,08 \text{ s}^2} = \sqrt{t^2} \quad \text{V6}$$

$$t_1 = 2,02 \text{ s} \quad \text{(a)}$$

(b)

$$\textcircled{2} v_f = v_0 + g t \quad \text{V7}$$

$$v_f = 0 + (-9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \cdot (2,02 \text{ s})$$

$$v_f = -19,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{V8}$$

Fuente: Física para todos (2017).

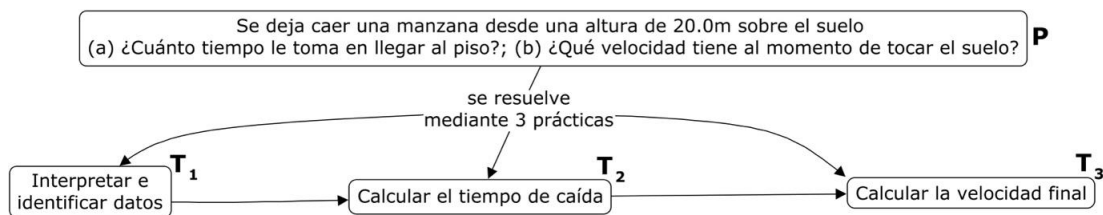
A partir de la tabla 2 y la figura 2, fue posible identificar que el autor del vídeo resolvió la situación física problematizada mediante la realización de un sistema de tres prácticas, la primera práctica T₁ nombrada "Interpretar e identificar datos" está indicada mediante

V1, V2 y V3 y es de tipo discursiva, la segunda práctica T_2 nombrada “Calcular el tiempo de caída”, indicada mediante V4, V5 y V6 es mixta, discursiva y operativa y, la tercer práctica, la práctica T_3 nombrada “Calcular la velocidad final” está indicada por V7 y V8 y también es mixta.

En la segunda etapa, paso (iii), mediante el empleo del *software CmapTools* se capturó la situación física problematizada y también los nombres de las prácticas (ver figura 3).

Figura 3

Realización del paso (iii) de la segunda etapa del proceso de construcción del MH.



Fuente: elaboración propia mediante CmapTools.

Posteriormente, en el paso (iv) se identificaron los objetos a partir de la tabla 2 y la figura 2 y éstos se capturaron debajo de la práctica correspondiente en el avance que se lleva del MH, ver la figura 3. En la tabla 2 se escribieron en negritas y fueron subrayados los objetos que se capturaron en el MH, sin embargo, cabe señalar que al capturar algunos objetos debajo de las prácticas, fue necesario escribir expresiones algebraicas de la figura 2 en lugar de su proposición equivalente registrada en la transcripción de la tabla 2, por ejemplo: en lugar de escribir la proposición V4 de la tabla 2 se prefirió escribir la expresión algebraica $T_2(7)$, expresión $T_3(2)$ en lugar de V7, entre otros objetos. En este punto puede presentarse cierto grado de subjetividad por parte del sujeto que construye el MH, pues él es quien decide qué sí, y que no, se va a representar en el MH según los objetivos que persiga en la descripción de la resolución del problema.

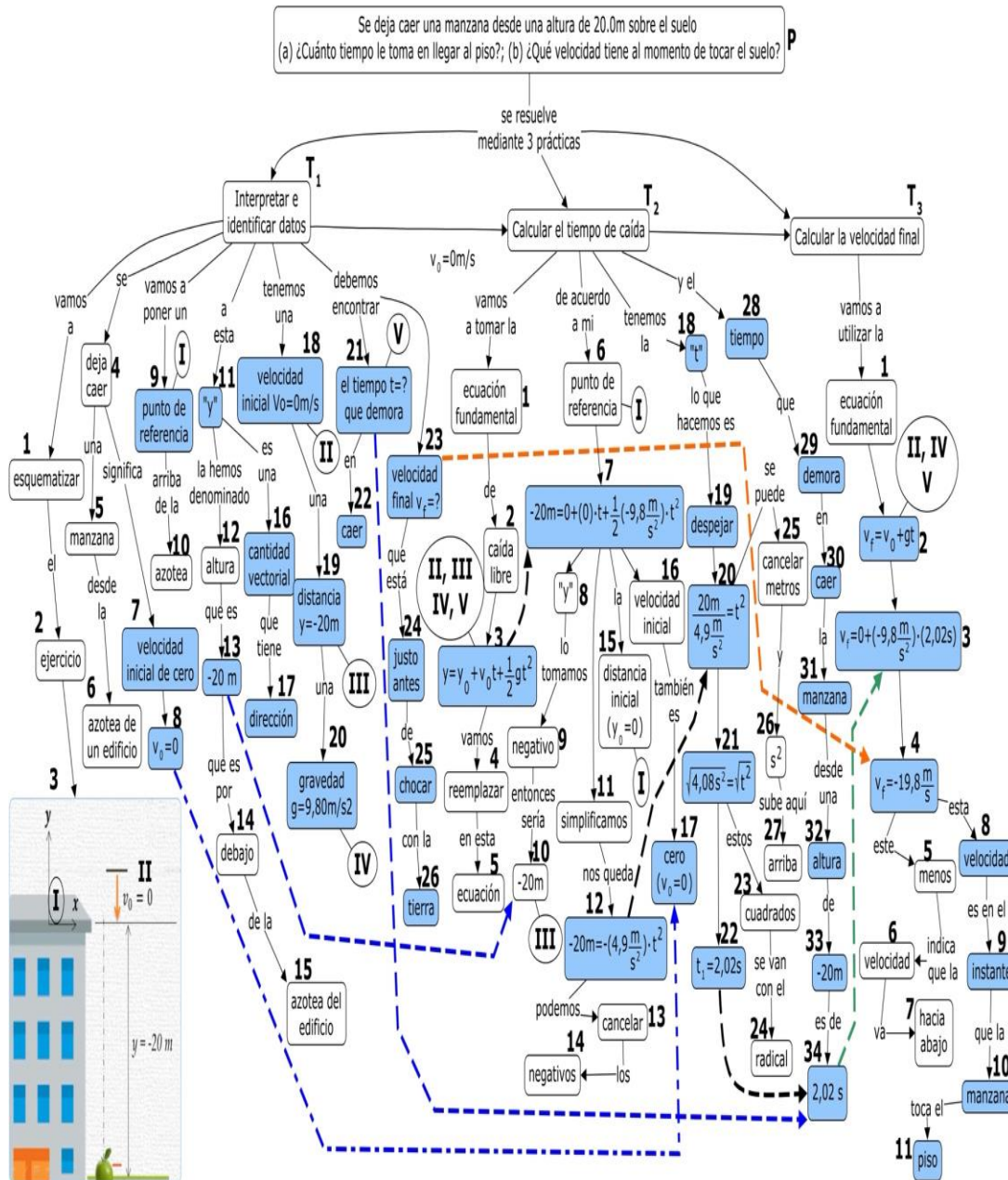
El MH resultante se muestra en la siguiente figura 4. Por cuestiones de espacio, en la figura 4 también se representaron las conexiones entre los objetos mediante flechas largas segmentadas y mediante el empleo de conectores (éstos se emplean en los diagramas de flujo cuando se tiene un diagrama grande) indicados mediante números romanos I, II, III y IV, de acuerdo con el paso (v). Las conexiones entre los objetos las establece el resolutor tanto de manera implícita como explícita, y también al interior de una misma práctica como el caso de las conexiones T_{23} - T_{27} , T_{212} - T_{220} y T_{222} - T_{234} en la segunda práctica, o bien, entre prácticas, como el caso de la conexión T_{113} - T_{210} entre la primera y segunda práctica, la conexión T_{13} - T_{118} - T_{32} mediante el conector II, la conexión T_{234} - T_{33} entre la segunda y tercera práctica.

Así mismo, en el MH se han numerado los objetos, de manera que para hacer referencia a algún objeto se puede indicar la práctica y el número de objeto, por ejemplo, el objeto de “velocidad inicial de cero” se identifica mediante T_{17} ; el objeto

“altura” en la segunda práctica mediante T_{232} ; el objeto “manzana” en la tercera práctica mediante T_{310} . Como se puede observar en la figura 4, la numeración se reinicia en cada práctica y, además, el identificador es único para cada objeto.

Figura 4

MH que describe la resolución de la situación física problematizada abordada en Física para todos (2017).



Fuente: elaboración propia mediante CmapTools.

Respecto al paso (vi), interpretación del MH desde la adaptación del EOS a la física escolar, en la figura 4 se observa que el MH describe un sistema de tres prácticas T_1 , T_2 y T_3 . En la primera “Interpretar e identificar datos”, intervienen conceptos tales como T_{13} , T_{14} , T_{15} , T_{16} y T_{110} ; y emergen otros conceptos como T_{19} , T_{111} , t_{16} , T_{119} y T_{129} , así como también argumentos T_{14} - T_{17} - T_{18} ; T_{19} - T_{110} ; T_{111} - T_{116} - T_{117} ; T_{118} - T_{119} - T_{120} ; T_{121} - T_{122} y T_{123} - T_{124} - T_{125} - T_{126} . Se llevó a cabo el proceso de materialización al esquematizar la situación física mediante T_{13} , se realizó el proceso de representación al expresar algunos conceptos mediante símbolos, por ejemplo, T_{12} mediante T_{111} , también el concepto T_{17} mediante T_{18} o T_{118} , lo mismo ocurre con los conceptos de gravedad en T_{120} , tiempo de demora en T_{121} y velocidad final T_{123} . Cabe señalar que también se realiza el proceso de significación al asociar valores numéricos a dichos símbolos, por ejemplo, T_{18} , T_{118} , T_{119} y T_{120} .

En la segunda práctica T_2 “calcular el tiempo de caída”, mediante comprensión lectora el autor del vídeo infiere que la situación se trata de un fenómeno conocido, caída libre, y accede a su memoria, luego recuerda y materializa la expresión general T_{23} . Mediante el proceso de particularización y la significación de los símbolos realizada en la práctica anterior, la expresión general T_{23} se reescribe como T_{27} , la cual mediante la realización de un procedimiento de simplificación y despeje se obtiene T_{22} . Este último objeto emergente es la respuesta al primer inciso del problema.

La tercera práctica T_3 “Calcular la velocidad final”, es similar a la práctica T_2 , ya que accede a su memoria y recuerda la expresión cinemática general T_{32} , la cual mediante el proceso de particularización y significación le permiten escribir T_{33} y mediante un procedimiento de cálculo no explícito obtiene el resultado T_{34} . En esta práctica emerge el argumento justificativo T_{34} - T_{35} - T_{36} - T_{37} y el argumento validativo T_{34} - T_{38} - T_{39} - T_{310} .

En la realización de las prácticas, son muy importantes las conexiones entre los objetos emergentes, como es el caso de las conexiones simbolizadas mediante los conectores I, II, III, IV y V que relacionan la interpretación realizada en la primera práctica con las prácticas operativas realizadas en la segunda y tercera práctica.

Discusión

A partir de la descripción de los resultados, con énfasis en la figura 4, puede decirse que el sistema de prácticas realizado por el autor es en mayor medida algorítmico, ya que no apoya la descripción del fenómeno en los principios físicos y más bien lleva a cabo una resolución superficial del problema. Por ejemplo, desde la física escolar, en primer lugar, es incorrecto representar el concepto T_{19} (más bien, marco o sistema de referencia) mediante T_{13} como un plano cartesiano “ x vs y ” en la azotea del edificio. Si bien, la representación pictórica de la situación física T_{13} es adecuada en un principio y ayuda a la visualización, es importante realizar el proceso de idealización, para pensar en un movimiento unidimensional y desprovisto de las dimensiones físicas del edificio, la manzana y el suelo donde cae la manzana; y luego realizar el proceso de materialización para esquematizar la descripción unidimensional del movimiento y así dejar de sugerir que se trata de un problema bidimensional como se advierte en T_{13} .

Por otro lado, el argumento T_{111} - T_{116} - T_{117} permite advertir que el autor no tiene claro lo que es la dirección y el sentido del vector posición de la manzana, ya que relaciona el signo negativo en la altura de edificio T_{113} con la dirección y no con el sentido del vector.

Así mismo, el autor tampoco justifica el empleo de las fórmulas T_{23} y T_{32} , esto es, el autor no argumenta el hecho de que la manzana sólo experimenta la acción constante de la fuerza de gravedad durante el movimiento, que la aceleración es constante y que por tanto la velocidad y la posición de la manzana mantienen una relación lineal y cuadrática con el tiempo. Es importante motivar la interacción entre lo conceptual y lo procedimental, es decir, motivar la argumentación para justificar el empleo de las fórmulas, de lo contrario podría caerse en un operativismo ciego (Escudero y Moreira, 1999) en la que solo se memorizan fórmulas y procedimientos en la enseñanza de la física

Es importante destacar que, tanto la adaptación del EOS a la física escolar como el MH, no dicen nada acerca de que, si el problema fue resuelto correctamente por el resolutor o sobre cómo resolver el problema, ya que estas solo son herramientas descriptivas de la práctica de resolución que lleva a cabo el sujeto. De esta manera, el sistema de prácticas realizado puede ser incorrecto desde una perspectiva institucional, sin embargo, el MH puede estar construido correctamente. En este tenor, desde un punto de vista institucional, en la figura 4 el señalamiento T_{19} no es adecuado, debido a que más bien a lo que se hace referencia es al concepto de “marco de referencia” a la luz de la primera ley de Newton; también, el argumento T_{111} - T_{116} - T_{117} no es adecuado, ya que el signo en T_{113} aparece debido al sentido del vector posición de la manzana y no debido a su dirección vertical.

Conclusiones

En los apartados anteriores es posible distinguir entre técnica y teoría, la técnica es la representación del MH tal y como se muestra en la figura 4, y la teoría son los constructos del EOS que fueron adaptados para su empleo en el contexto de la física escolar. A través de los señalamientos de la teoría fue posible delinear los elementos de un procedimiento para la construcción del MH que describe la resolución de una situación física problematizada.

De acuerdo con la teoría, una característica del MH es que los objetos pueden representarse de manera organizada y jerárquica, con las prácticas como objetos más inclusivos o más generales en la parte superior del mapa y los objetos más específicos, menos generales, debajo de las prácticas organizados jerárquicamente según el orden de aparición en la producción del sujeto que resuelve la situación problemática.

Otra característica importante del MH es la inclusión de las conexiones, tanto al interior de una práctica como entre prácticas. En el primer caso se trata de relaciones entre objetos que ayudan a ver, por un lado, cómo un objeto se relaciona con otro objeto diferente o bien consigo mismo solo que en otra faceta. En el segundo caso, se refiere

a los enlaces establecidos entre objetos, diferentes o el mismo objeto solo que indicado en otro momento, representados en diferentes prácticas. Sin embargo, independientemente del caso, en la creación de nuevo conocimiento, las conexiones entre los objetos a menudo representan saltos creativos por parte del sujeto productor de conocimiento. Esto último puede apreciarse a través del patrón observable en la figura 4 entre objetos emergentes y conexiones.

Finalmente, el MH puede ser útil en investigación para comparar el MH elaborado a partir de la producción de un estudiante con el MH correspondiente al de un docente, las diferencias y semejanzas entre los MH podrían dar luz acerca de los significados puestos en juego en la resolución del problema y lograr una aproximación sobre qué tan lejos se encuentran los conocimientos del alumno respecto al conocimiento que se desea que construya.

Así mismo, aquel docente interesado en mejorar o gestionar sus procesos de enseñanza de la física, puede emplear el MH como ayuda gráfica para reflexionar sobre su práctica. Esto es, previo al estudio de la resolución de un problema en clase, la construcción del MH por parte del docente motiva la realización de procesos metacognitivos para anticiparse a las dificultades epistemológicas a las que podrían enfrentarse el estudiante, también para tener un acercamiento a los conocimientos previos que se requieren para resolver el problema o indagar los objetos que deben emerger en cada práctica, por mencionar algunos aspectos.

Referencias

- Escudero, C. y Moreira, M. A. (1999). La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 61-68. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4105>
- Física para todos (13 de octubre de 2017). *Caída libre—Ejercicio resuelto #1* [Archivo de vídeo]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ademOI_VJMA
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, 39(1-2), 127-135. https://www.ugr.es/~jgodino/funciones-semioticas/ontosemiotic_approach.pdf
- González, S. L., González, R. R. y Vega, F. (2023). Las investigaciones en Didáctica de la Física: tendencias en revistas especializadas (2015-2022). *Opuntia Brava*, 15(4), 142-155. <https://opuntiaabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiaabrava/article/view/1972>
- Gijón, J., Khaled, M., Matas, A. y García, P. (2022). O mapa conceitual e o software CmapTools como ferramentas neurodidáticas para melhorar a aprendizagem. *Texto Livre*, 15, (sin paginación). <https://periodicos.ufmg.br/index.php/textolivres/article/view/40725>

- Guzmán, R. I. (1998). Registros de representación, el aprendizaje de nociones relativas a funciones: voces de estudiantes. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 1(1), 5-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2147917>
- López-Quintero, J. L., Pontes-Pedrajas, A. y Varo-Martínez, M. (2019). Las TIC en la enseñanza científico-técnica hispanoamericana: Una revisión bibliográfica. *Digital Education Review*, 35. <https://doi.org/10.1344/der.2019.35.229-243>
- Martins de Almeida, C. M., Bandeira, C. M., dos Santos, M. J. y Campos, P. T. (2019). Propuestas de metodologías activas utilizando tecnologías digitales y herramientas metacognitivas para auxiliar en el proceso de enseñanza y aprendizaje. *Paradigma*, 40(1), 204-220. <http://revistaparadigma.online/ojs/index.php/paradigma/article/view/748>
- Moreno, M. N., Angulo, V. R. G. y Reducindo, R. I. (2018). Mapas Conceptuales Híbridos para la enseñanza de la física y la matemática en el aula. *Innovación e Investigación en Matemática Educativa*, 3(1), 113-130. <https://revistaiime.org/index.php/IIME/article/view/23>
- Moreno, N. y Hernández, L. E. (2020). Análisis gráfico de la resolución de un problema químico de reactivo limitante. *Revista Paradigma*, 41(2), 112-138. <http://revistaparadigma.online/ojs/index.php/paradigma/article/view/952>
- Moreno, M. N., Hernández, Z. L. E. y Briceño, S. E. C. (2021). Análisis de la resolución de un problema de cinemática mediante el mapa conceptual híbrido. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 157-176. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3106>
- Novak, J. D. y Cañas, A. J. (2006). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them*. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01. Institute for Human and Machine Cognition. <http://cmap.ihmc.us/docs/pdf/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- Pecharromás, C. (2013). Naturaleza de los objetos matemáticos: representación y significado. *Enseñanza de las ciencias*, 31(3), 121-134. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.931>
- Pino-Fan, L. R. y Godino, J. D. (2015). Perspectiva ampliada del conocimiento didáctico-matemático del profesor. *Paradigma*, 36(1), 87-109. <http://revistaparadigma.online/ojs/index.php/paradigma/article/view/552>

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Los autores participaron en la búsqueda y análisis de la información para el artículo, así como en su diseño y redacción.