

Enseñanza de la física mediante fislets que incorporan mapas conceptuales híbridos

Teaching physics using physlets that incorporate hybrid conceptual maps

Nehemías Moreno Martínez* | Rita Guadalupe Angulo Villanueva** | Isnardo Reducindo Ruiz*** | Ruth Mariela Aguilar Ponce****

Recepción del artículo: 30/9/2017 | Aceptación para publicación: 21/2/2018 | Publicación: 30/9/2018

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de la primera etapa de una investigación cuyo objetivo es desarrollar un *fislet*, que consiste en la animación de una situación física problematizada activada mediante los elementos de un mapa conceptual híbrido. La metodología considera la selección de situaciones físicas problematizadas en las que participa la noción física a ser enseñada, la resolución de esos problemas por parte de un grupo de profesores, la elaboración de los mapas conceptuales híbridos y los fislets mediante el software Java y MATLAB, y el apoyo del enfoque ontosemiótico. Los resultados sugieren que los alumnos consideran el *fislet* como una herramienta didáctica que les permite explorar el proceso de resolución de los problemas físicos, reflexionar sobre los supuestos y procedimientos, y analizar las interpretaciones de las representaciones, entre otros aspectos. La investigación contribuye a la tecnología educativa con la propuesta del diseño de un *fislet* novedoso que se apoya en la noción de representación y la interpretación ontosemiótica de los mapas conceptuales híbridos. Concluye que el *fislet* contribuye a que los estudiantes visualicen los objetos físico-matemáticos que participan en la práctica de resolución de un problema físico.

Abstract

The aim in this paper is to present the results of the first stage of an investigation that has the objective of developing a fislet that consists of the animation of a problematized physical situation activated through the elements of a hybrid conceptual map. The methodology considers the selection of problematized physical situations where the physical notion to be taught is involved, the resolution of such problems by a group of teachers, the elaboration of hybrid conceptual maps and fislets through Java and MATLAB software and the support of the on-tosemiotic approach. The results suggest that students consider the fislet as a didactic tool that allows them to explore the process of solving physical problems, reflect on assumptions and procedures, and analyze interpretations of representations, among other aspects. The research contributes to educational technology through the proposal of the design of a novel fislet that is based on the notion of representation and on-tosemiotic interpretation of hybrid conceptual maps. It is concluded that the fislet allows the students to visualize the physical-mathematical objects that participate in the practice of solving a physical problem.



Palabras clave

Física, mapas conceptuales híbridos, tecnología educativa, ontosemiótica



Keywords

Physics, hybrid conceptual maps, educational technology, ontosemiotic

* Doctor en Ciencias con especialidad en Matemática Educativa. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://orcid.org/0000-0002-5919-612X>

** Doctora en Pedagogía. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://orcid.org/0000-0003-2694-3501> | *** Doctor en Ingeniería

Electrónica. Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://orcid.org/0000-0001-7489-1211> | **** Doctora en Ingeniería

Computacional. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://orcid.org/0000-0003-3277-3107>



INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la física plantea una serie de dificultades a los estudiantes de los distintos niveles educativos. Es posible encontrar trabajos que sugieren el empleo de los *applets* o *fislets* (del inglés *physlet*, palabra con referencia a *physics* y *applets*) como herramientas para favorecer el aprendizaje de la física. Los *fislets* son aplicaciones interactivas, visuales, flexibles (en el sentido de que pueden ser empleadas para abordar cualquier tema de mecánica), por mencionar algunos atributos, que los convierten en una herramienta de gran valor para la educación en ciencias (Belloni & Christian, 2003).

Los *fislets* se han desarrollado para apoyar la enseñanza en distintos campos de la física escolar. Cox, Belloni, Dancy y Christian (2003) los han utilizado para el aprendizaje de la termodinámica y motivar la resolución de problemas a

través de una aproximación conceptual. Otros investigadores (Dartnall & Reizes, 2011; Roldán, Perales, Ruiz, Moral y De la Torre, 2018) han señalado las ventajas de que los estudiantes lleven a cabo la programación de *fislets* para la asimilación de los contenidos de la mecánica newtoniana y la termodinámica.

Wee Kang (2012) propone el empleo de un *fislet* que muestra la animación de la colisión de dos móviles, en combinación con expresiones algebraicas, para motivar a los estudiantes a realizar predicciones y elaborar tablas de datos para analizar la dependencia temporal del momento y la energía. Singh (2008) presenta tutoriales interactivos que se apoyan en gráficos y simulaciones para promover un aprendizaje activo de contenidos de mecánica cuántica, mientras que Parra y Ávila (2017) señalan que la respuesta a cuestionarios basada en la reflexión sobre la experimentación llevada a cabo mediante una simulación del

fenómeno del efecto fotoeléctrico permite a los estudiantes reorganizar sus conocimientos acerca de este contenido.

Belloni y Christian (2003) plantean la aproximación pedagógica JiTT (*just in time teaching*), que atiende las necesidades educativas de los estudiantes a partir del análisis de tareas apoyadas en el empleo de los *fislets*. También se han hecho propuestas para el desarrollo de animaciones sin la necesidad de conocimientos avanzados de programación mediante el empleo del software Interactive Physics para el aprendizaje de la velocidad y la aceleración (Jimoyiannis & Komis, 2001) o Modellus para la enseñanza de las leyes de la radiación del cuerpo negro o el movimiento de fluidos (Neves, Neves & Teodoro, 2013).

Asimismo, se han descrito las características de algunos *fislets* para la enseñanza de la física; sin embargo, su diseño no se apoya en alguna teoría educativa o en los resultados de investigaciones sobre el aprendizaje de la física; por ejemplo, no se han tomado en cuenta los distintos objetos físico-matemáticos que intervienen en la práctica de resolución de los problemas (Moreno, Font y Ramírez, 2016) ni tampoco se ha considerado la ontología que los estudiantes pudiesen atribuir a los conceptos físicos (Chi & Slotta, 1993) que se representan en las animaciones, ni las dificultades que plantea el trabajo con distintos registros

También se han hecho propuestas para el desarrollo de animaciones sin la necesidad de conocimientos avanzados de programación mediante el empleo del software Interactive Physics

semióticos y diferentes representaciones (Oviedo, Kanashiro, Bnzaquen y Gorrochategui, 2011). Más bien, la mayoría de los *fislets* han sido desarrollados con base en las creencias y el conocimiento disciplinar de sus autores; no obstante, como se ha apuntado en varios estudios, esos saberes no son suficientes para que los estudiantes logren los aprendizajes y adquieran las competencias adecuadas.

En este trabajo describimos la primera parte de una investigación cuyo objetivo es desarrollar un *fislet*, al que hemos nombrado *fislet-MCH* (*fislet* apoyado en la técnica del mapa conceptual híbrido), para la enseñanza de las nociones de la física escolar. En esta parte de la investigación consideramos el diseño del *fislet-MCH* –para el caso particular de la enseñanza de la noción de fuerza de fricción– y la prueba piloto de este. El *fislet-MCH* consiste en la animación de una situación física problematizada, en la cual la fuerza de fricción es relevante para su resolución, sincronizada y controlada mediante los elementos del mapa conceptual híbrido (MCH). El desarrollo del *fislet-MCH* se sustenta en la teoría del enfoque ontosemiótico (EOS), que permite interpretar el MCH y la animación como la práctica de resolución de la situación física problematizada desde una perspectiva visual.

Algunos elementos teóricos del enfoque ontosemiótico

La elaboración del *fislet-MCH* se basa en el EOS (Godino, Batanero y Font, 2007), teoría desarrollada en el campo de la matemática educativa y que, recientemente, ha sido adaptada al contexto de la física escolar (Moreno *et al.*, 2016) para la interpretación de los fenómenos didácticos relacionados con la enseñanza y la comprensión de las nociones físicas.

Desde la perspectiva del EOS, dado un problema de la física escolar, se entiende por práctica la realización de una secuencia de acciones sujetas a reglas físicas y matemáticas, que llevan a

la solución de la tarea propuesta (Moreno *et al.*, 2016). En esa práctica interviene un conjunto de objetos físico-matemáticos primarios: lenguaje, símbolos, expresiones algebraicas, representaciones pictóricas, entre otros; conceptos, tanto físicos como matemáticos; propiedades, que relacionan los conceptos, y pueden ser físicas y matemáticas; procedimiento, que se vincula con la serie de pasos para la resolución del problema; y argumentos, aquellas proposiciones empleadas para justificar el procedimiento de solución empleado. Desde la perspectiva del EOS, los objetos físico-matemáticos primarios pueden ser visualizados, es decir, además de ser observados, también pueden ser interpretados, manipulados (operaciones visuales) y relacionados a través de la práctica (Godino, Gonzato, Cajaraville & Fernández, 2012).

Según el EOS, en la práctica se llevan a cabo ciertos procesos cognitivos, como idealización, que hace que el sujeto vaya de lo concreto a lo abstracto, por ejemplo, un cuerpo físico considerado como una partícula (el proceso de materialización puede ser entendido como proceso inverso a la idealización); generalización, que permite considerar al sistema en estudio como un sistema ideal cualquiera que puede ser resuelto con base en las leyes newtonianas; significación, se establecen relaciones semánticas entre las representaciones observables (símbolos, expresiones algebraicas, representaciones pictóricas, entre otras) y los objetos físico-matemáticos; y argumentación, mediante la cual se enuncian propiedades o proposiciones que justifican el procedimiento de solución empleado, por citar algunos.

Por otra parte, el significado en el EOS es entendido como función semiótica, a través de la correspondencia entre un antecedente (expresión) y un consecuente (significado o contenido) establecidos por un sujeto (persona o institución) de acuerdo con ciertos criterios (convenios, reglas físico-matemáticas). El rol de antecedente o consecuente puede asumirse por algún par de objetos físico-matemáticos primarios.

El mapa conceptual (Novak, Gowin & Johansen, 1983) es una red de conceptos ordenados jerárquicamente e interconectados mediante ligas o líneas y a través de “frases de enlace”, que al ser leídas producen una proposición

La representación gráfica de la práctica de resolución de un problema físico

El mapa conceptual (Novak, Gowin & Johansen, 1983) es una red de conceptos ordenados jerárquicamente e interconectados mediante ligas o líneas y a través de “frases de enlace”, que al ser leídas producen una proposición. En su conjunto, estas relaciones son una red de estructuras proposicionales, de manera que el significado de una proposición no solo se encuentra en la relación entre concepto y concepto, sino que depende de las relaciones que estos tienen, a su vez, con otros conceptos. La implementación del mapa conceptual en otros campos de conocimiento ha dado lugar a otros desarrollos, como el de los MCH que resultan de la “fusión” de la red jerárquica de conceptos (característica del mapa conceptual) con la representación gráfica de procesos (característica de un diagrama de flujo).

Desde la perspectiva del EOS, el MCH puede ser interpretado como una representación gráfica de la práctica de resolución de una situación física problematizada (Moreno, 2017) o, de manera equivalente, como una representación gráfica de la configuración de objetos físico-matemáticos primarios, ya que considera: lenguaje, que permite

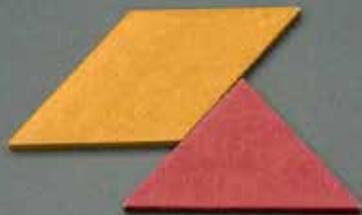
representar de manera ostensiva objetos no ostensivos (conceptos a través de nombres o símbolos, propiedades mediante expresiones matemáticas, etcétera); conceptos, que se organizan jerárquicamente en el MCH; propiedades, que se expresan con rutas de lectura que conforman enunciados sobre conceptos (propiedades algebraicas o geométricas); procedimiento, representado por medio de la componente procedimental del diagrama de flujo en el mapa conceptual; y argumentos, obtenidos de las diferentes rutas de lectura que constituyen enunciados que validan o explican las proposiciones y procedimientos deductivos o de otro tipo.

El fislet-MCH desde la perspectiva del enfoque ontosemiótico

El *fislet* que describimos en este trabajo muestra al estudiante una animación que consta de dos partes: una presenta el MCH y la otra representa la situación física animada en la parte inferior o junto al MCH.

Desde la perspectiva del EOS, el *fislet*-MCH representa una organización de objetos físico-matemáticos de tipo visual. El *fislet*-MCH muestra simultáneamente el objeto físico-matemático tanto en el MCH como en la animación de la situación física, lo que permite establecer en forma explícita una función semiótica o relación semántica entre ambos tipos de registro de representación.

Un concepto en el MCH puede aparecer como símbolo (\vec{F} , m , \vec{a} , entre otros) o como expresión algebraica a través de iconos (Fillooy, Puig & Rojano, 2008), los cuales resultan de la imbricación de índices (letras) y símbolos (+, -, >, por señalar algunos). Aunque las inscripciones simbólicas no son consideradas de tipo visual, pues son signos en los que la relación entre el objeto representante y lo representado es convencional, en el *fislet*-MCH estas funcionan como índices (y también como botones en el MCH que activan elementos de la animación) al señalar posiciones u objetos en la situación física evocada en la animación. Por otra parte, en la situación física animada, el mismo



concepto puede aparecer como un tipo de representación material (representación pictórica animada) o como concepto figural mediante lenguaje visual (por ejemplo, el sistema de representación cartesiana) que incluye, a su vez, conceptos de naturaleza visual y espacial (arriba, abajo, derecha, izquierda, entre otros).

Las propiedades, que expresan las relaciones entre conceptos, se presentan por medio de proposiciones (que no son de tipo justificativo) y pueden ser leídas en algunas rutas de lectura del MCH. En este último aparecen a través de lenguaje visual de tipo icónico representadas con expresiones algebraicas ($f = \mu N$, $\vec{F} = m\vec{a}$) y, al igual que los conceptos, también se desempeñan como índices en el sentido de que se muestran como propiedades de los procedimientos visuales en la animación, por ejemplo, la conservación de la dirección de la acción de ciertas fuerzas a lo largo del desplazamiento de un cuerpo en la animación, o bien, el crecimiento simultáneo de dos flechas que tienen la misma dirección, pero de sentido opuesto (que representan el equilibrio mecánico de fuerzas).

De igual modo, en el *fislet*-MCH se tienen procedimientos u operaciones visuales que son presentados, por un lado, en el MCH mediante iconos representados por expresiones algebraicas a lo largo del proceso de tratamiento matemático (componente de diagrama de flujo en el MCH) y, por otro, se visualizan en la animación al trasladar los cuerpos o deslizarlos a lo largo de una dirección, al transformar representaciones visuales en otras representaciones (por ejemplo, al transformar una representación pictórica en un punto) o por medio de la descomposición (por ejemplo, un vector representado como una flecha se proyecta en la dirección x e y). El procedimiento visual motiva la realización de los procesos de idealización y argumentación.

También se cuentan con argumentos o justificaciones visuales y pueden ser vistos a través de algunas rutas de lectura en el MCH que tienen que ver con la justificación del procedimiento empleado. En la animación, se trata de justifi-

caciones visuales de las propiedades y los procedimientos, por ejemplo, el movimiento (caída o deslizamiento) de un cuerpo como resultado de cumplirse alguna condición física.

El paso de una jerarquía a otra en el *fislet*-MCH sugiere la realización de algunos procesos señalados por el EOS; por ejemplo, el de idealización es motivado cuando en la animación aparece un punto que representa el cuerpo en estudio, y en el MCH, la idealización es sugerida cuando se conecta el concepto “cuerpo bajo estudio” con el concepto de partícula. El proceso de generalización se advierte en el MCH al emplearse la segunda ley de Newton para representar la condición de equilibrio mecánico o de movimiento, mientras que en la animación aparece con la acción conjunta de fuerzas sobre una partícula que experimenta movimiento, o bien, reposo. El proceso de materialización se manifiesta en la representación ostensiva (observable) de los conceptos físico-matemáticos, por ejemplo, la representación de las fuerzas mediante flechas. El proceso de argumentación es sugerido a través de las diferentes rutas de lectura que se pueden seguir en el MCH.

DISEÑO

Diseño de la investigación

La metodología de la investigación prevé dos etapas: la primera (que ahora reportamos) implicó el diseño y la prueba del *fislet*-MCH; posteriormente, una vez hechos los ajustes y otros desarrollos necesarios, probaremos el *fislet* y su impacto en el aprendizaje de los estudiantes mediante la aplicación de pretest y postest para la comparación entre grupos de control y experimental.

Elaboración del fislet-MCH

El desarrollo de los *fislets*-MCH se llevó a cabo en cuatro fases: selección de las situaciones físicas

problematizadas a partir de un libro de texto empleado comúnmente por profesores y estudiantes; resolución de las situaciones físicas por parte de un grupo de docentes; elaboración de los MCH que representan de manera gráfica la práctica de resolución de los problemas por parte de los docentes; y elaboración de los *fislets*-MCH mediante Java y MATLAB. Estas etapas se describen a continuación.

a) Selección de las situaciones físicas problematizadas

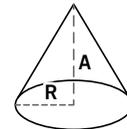
Elegimos un conjunto de tres problemas de física en los que la noción de fuerza de fricción juega un rol importante para su resolución (ver figura 1). Estos fueron seleccionados de una serie de problemas que se proponen en un libro de texto de física empleado de manera regular en la institución donde llevamos a cabo la investigación (Resnick, Halliday & Krane, 1999, pp. 139-140). Se trata de situaciones cotidianas que fueron nombradas como el problema del cono, el problema del corredor y el problema del bloque. La situación del cono y del corredor se problematizaron en relación con la optimización del volumen y la aceleración, respectivamente, mientras que la situación del bloque se problematizó en referencia a la predicción del movimiento del cuerpo a partir de ciertas condiciones iniciales.

La resolución de estos problemas plantea un gran reto para los estudiantes; por ejemplo, para la resolución del problema del corredor, es fundamental el proceso de idealización (Moreno *et al.*, 2016) para pensar al corredor como una partícula situada en el punto de contacto entre la suela del zapato y el piso, y sobre la cual actúa el peso, la fuerza normal y la fuerza de reacción al empuje del corredor; sin embargo, el proceso de idealización es sugerido explícitamente a través de las representaciones gráficas y la animación que se muestran en el *fislet*-MCH.

b) Resolución de las situaciones físicas problematizadas

La resolución de los tres problemas descritos fue propuesto a tres profesores de física que han impartido la asignatura de Estática y dinámica en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Cada profesor resolvió un problema distinto con el empleo de una pluma electrónica Smartpen (Livescribe Echo) que digitaliza audio y escritura de manera sincronizada. La figura 2 ilustra la producción oral y escrita del docente que resolvió el problema del bloque; la producción escrita del docente se presenta en color naranja, y el texto en los recuadros representa la producción oral enumerada para señalar el orden discursivo.

El cono de arena. Una persona desea apilar arena sobre un área circular en su patio. El radio del círculo es R . No debe apilarse arena en la parte de alrededor del círculo. Demuestre que el mayor volumen de arena que puede ser apilado de esta manera es $\pi \mu_s R^3/3$, donde μ_s es el coeficiente de fricción estática de arena contra arena. (El volumen del cono es $Ah/3$, donde A es el área de la base h es la altura)



El corredor. ¿Cuál es la mayor aceleración a la que puede llegar un corredor si el coeficiente de fricción estática entre los zapatos y el camino es de 0.95?

El bloque. Una fuerza horizontal F de $12/b$ empuja a un bloque que pesa $51/b$ contra una pared vertical. El coeficiente de fricción estática entre la pared y el bloque es de 0.60 y el coeficiente de fricción cinética es de 0.40. Suponga que el bloque no se está moviendo inicialmente. a) ¿Comenzará a moverse el bloque? b) ¿Cuál es la fuerza ejercida sobre el bloque por la pared?

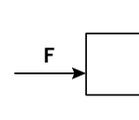


Figura 1. Situaciones físicas problematizadas.
Fuente: Resnick *et al.* pp. 139-140.

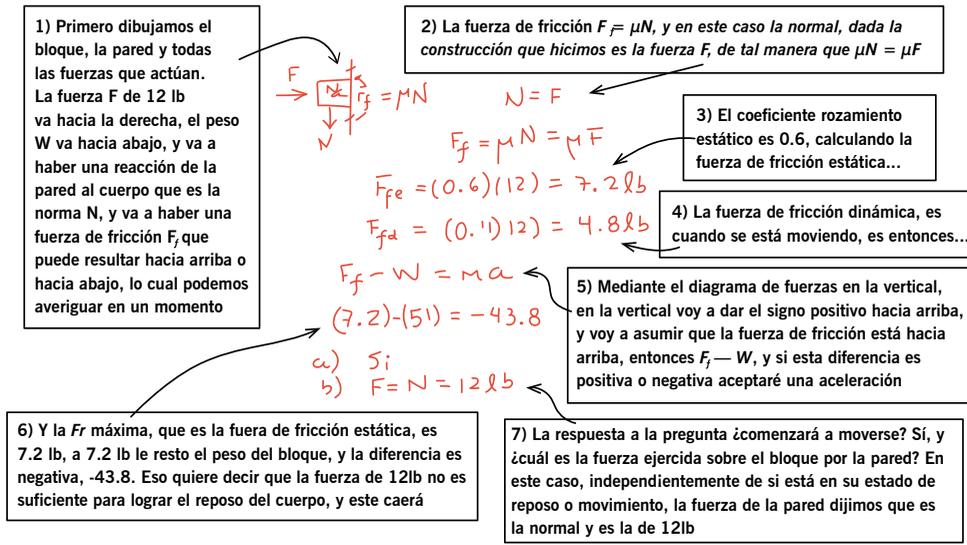


Figura 2. Producción de un docente en la resolución del problema del bloque.

c) Elaboración de los MCH

El MCH se elaboró a través del proceso reportado en Moreno (2017). Para ello, se diseña una tabla de objetos físico-matemáticos primarios para clasificar los elementos de la producción oral y escrita en alguna de las categorías señaladas por el EOS, según se trate de conceptos, propiedades, argumentos o procedimientos.

A partir de la tabla, la elaboración del MCH se inicia con el concepto de situación-problema como pregunta de enfoque. En la segunda jerarquía aparecen conceptos materiales que se refieren a los cuerpos que se encuentran en interacción. Posteriormente, en la segunda jerarquía se conectan conceptos que describen los atributos de los cuerpos interactuantes (masa, volumen densidad, entre otros), conceptos que dan cuenta del modo en que el docente modela dichos cuerpos (cuerpos considerados como partículas, movimiento en una dimensión) y cómo interactúan (la acción de las fuerzas sobre el cuerpo en estudio).

En la siguiente jerarquía aparecen las propiedades, que se enuncian mediante proposiciones representadas con rutas de lectura en el MCH

en las que no se justifica el procedimiento de solución, pero sí se establece una relación físico-matemática entre conceptos; por ejemplo, una de las propiedades empleadas en los *fislets* es la segunda ley de Newton, la cual relaciona los conceptos de masa de un cuerpo, aceleración y distintos conceptos que se agrupan con el nombre de fuerza (fuerza de gravedad, fuerza de fricción y fuerza normal). Esta propiedad es la que desencadena el tratamiento matemático, objeto primario del procedimiento.

El procedimiento efectuado por el sujeto en la resolución del problema es incorporado en el MCH a través de la componente del diagrama de flujo, el cual muestra la aplicación de una serie de propiedades tanto físicas (leyes de newtonianas, propiedades de tipo empírico como) como matemáticas (propiedades algebraicas, sustituciones, despejes, leyes de signos, etcétera) que guían al sujeto hacia la resolución del problema.

La argumentación oral proporciona la componente justificativa del procedimiento empleado, representado mediante la trama de rutas de lectura del mapa.

MATLAB no está diseñado para generar *applets*, de manera que, para representar a los MCH y las animaciones de las situaciones físicas, se debe efectuar mediante renderizado con ayuda de funciones matemáticas

d) Elaboración de los *fislets*-MCH

El *fislet*-MCH muestra la animación de la situación física problematizada que se sincroniza con el MCH elaborado. Algunos de los elementos del MCH funcionan como botones que activan determinadas partes de la animación. En general, se elaboraron tres *fislets*-MCH para la enseñanza de la fuerza de fricción; el problema del cono de arena se desarrolló en lenguaje Java, mientras que los otros dos, en el software MATLAB. Cabe señalar que el *fislet* en Java permite cambiar la velocidad de evolución de la animación, reproducir hacia adelante o hacia atrás o congelar la reproducción. El *fislet* en MATLAB se presenta por etapas y facilita estudiar en detalle cada etapa del proceso de resolución del problema; sin embargo, no permite regresar o adelantar la reproducción hasta que haya mostrado todos los desarrollos. Los *fislets*-MCH que se reportan en este trabajo pueden ser consultados en línea en formato de video (UASLP, 2017).

En la elaboración del *fislet*-MCH para el problema del cono de arena se empleó *Processing*, cuyas instrucciones se basan en lenguaje Java. Recurrimos al software *Processing* por la facilidad de manejo de gráficos y animaciones, además de que cuenta con una herramienta para convertir los programas desarrollados (llamados *sketchbook*) en *applets*. El software MATLAB es un lenguaje de programación orientado a la investigación que

cuenta con funciones avanzadas que ayudan a realizar cálculos complejos y la graficación de funciones multivariables. MATLAB no está diseñado para generar *applets*, de manera que, para representar a los MCH y las animaciones de las situaciones físicas, se debe efectuar mediante renderizado con ayuda de funciones matemáticas que indiquen qué y dónde dibujar con píxeles en la pantalla, lo que representa una desventaja en tiempo de desarrollo.

Pese a la desventaja en el tiempo de desarrollo del *fislet*-MCH en MATLAB respecto a Java, podemos destacar dos aspectos importantes de los *fislets*-MCH: las características del software empleado y el sustento teórico. En cuanto al primero, al ser MATLAB un software científico, ofrece la ventaja de hacer cálculos complejos de forma sencilla que podrían requerirse en el desarrollo de otros *fislets*-MCH, y mediante Java, al ser un lenguaje más popular para el desarrollo de apps, tiene la ventaja de ser más portable, ya que el *fislet*-MCH podría ser ejecutado desde una página web o un celular.

Con referencia al segundo aspecto, el sustento teórico es el que guía el desarrollo del *fislet*-MCH, ya que señala los objetos físico-matemáticos que participan en la práctica de resolución de la situación física problematizada, y considera una perspectiva visual de esos objetos que permite visualizar la animación de la situación y el MCH de manera conjunta.

Características de los *fislets*-MCH

a) El *fislet*-MCH del cono de arena

La figura 3 ilustra el *fislet*-MCH desarrollado en Java, correspondiente al problema del cono. Junto al *fislet*, presentamos un esquema de sus componentes principales.

Al ejecutarse el *fislet*-MCH, en la parte superior de la pantalla aparece la primera jerarquía del MCH y muestra conceptos materiales de la situación física (tierra, cono de arena, grano de arena) que fungen como símbolos/índices que señalan su componente visual en la animación que aparece en

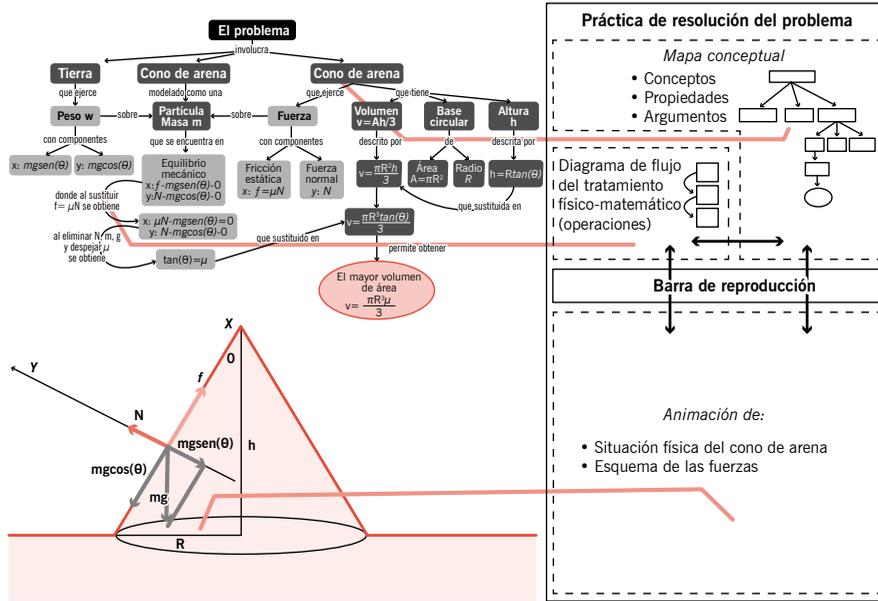


Figura 3. Fislet-MCH que describe la práctica de resolución del problema del cono.

la parte inferior de la pantalla mediante la representación icónica de estos conceptos (visuales).

En la segunda jerarquía del MCH se presentan conceptos que señalan atributos geométricos del cono (volumen, área de la base y altura) y el concepto de partícula, que se refiere a la manera en que el grano de arena, es interpretado lo que sugiere al usuario la realización del proceso de idealización. Enseguida, al pulsar el concepto “tierra”, se despliegan otros conceptos que indican la acción de la fuerza de gravedad y del cono sobre la “partícula”, que apuntan la realización del proceso de argumentación a través de las distintas rutas de lectura. Al presionar el botón “procedimiento”, surge la tercera jerarquía del MCH, que revela la descomposición de las fuerzas en componentes (operación visual) y, en la animación, estas fuerzas representadas mediante flechas de colores (proceso de materialización). En la animación también aparecen expresiones algebraicas que figuran como íconos/índices que relacionan estos objetos con la tercera jerarquía del MCH.

Posteriormente, al activar la barra de reproducción (ver figura 3) o presionar el concepto de “partícula”, se sugiere el proceso de generalización y aparecen otros conceptos de la tercera jerarquía: concepto de equilibrio mecánico (funge como símbolo/índice/ícono), referido mediante la segunda ley de Newton, y expresiones matemáticas de los atributos. De modo simultáneo, el tamaño de las flechas en la animación se incrementa (operación visual) y mantiene perpendicularidad y sentido (propiedad visual). A través del proceso de tratamiento, se expresa el coeficiente de fricción en función del ángulo formado por el radio de la base y la generatriz y, por último, cuando las flechas adquieren su tamaño máximo, se presenta el volumen máximo del cono que resuelve el problema.

b) El fislet-MCH del problema del corredor

El fislet-MCH del corredor se ilustra en la figura 4. El fislet fue programado en MATLAB. En su parte superior se despliega el MCH y en la inferior,

la animación. La animación muestra flechas que representan las fuerzas y una extremidad del corredor apoyada sobre el piso.

En el *fislet* del corredor, la animación se controla desde un conjunto de botones (botones pasos 1 a 4 en la figura 4) ubicados en una barra vertical situada a la izquierda de la animación. Los elementos en la animación aparecen según si estos se encuentran en una misma jerarquía del MCH. La animación presenta en forma explícita la relación semiótica entre los conceptos del MCH y la componente visual de esos objetos en la animación. En particular, la animación destaca el procedimiento visual, que consiste en el crecimiento de las flechas que representan la fuerza de empuje del corredor y la fuerza de reacción del piso.

c) El *fislet*-MCH del problema del bloque

Este *fislet* también se desarrolló en MATLAB y cuenta con el mismo mecanismo (conjunto de botones localizados en la barra vertical izquierda del *fislet*-MCH) del *fislet* del corredor que permite describir en detalle los conceptos que aparecen en cada jerarquía del MCH. Puesto que la situación problema requiere la realización de más operaciones matemáticas, el MCH cubre tanto la parte superior como la inferior de la pantalla, y deja en el costado derecho un espacio para la animación (ver figura 5).

Al ejecutar el *fislet*-MCH del problema del bloque, presionando el botón “Paso 1”, aparecen en la primera jerarquía del MCH conceptos materiales símbolos/índices (tierra, pared, bloque

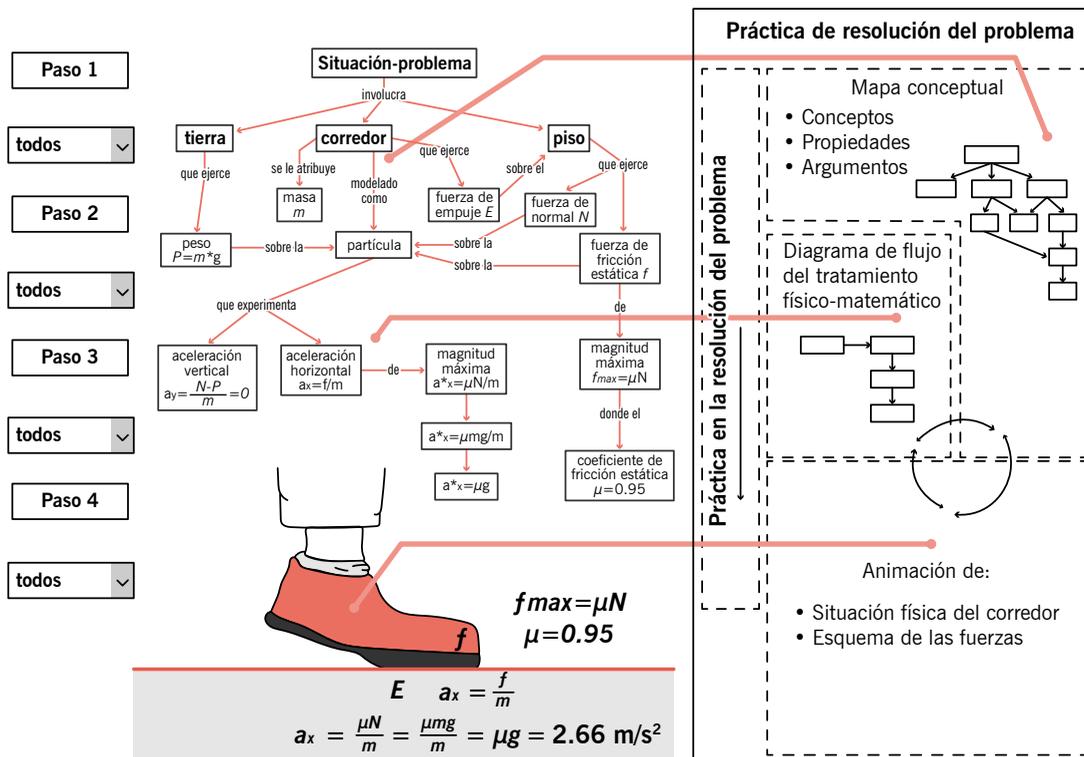


Figura 4. Fislet-MCH que describe la práctica de resolución del problema del corredor.

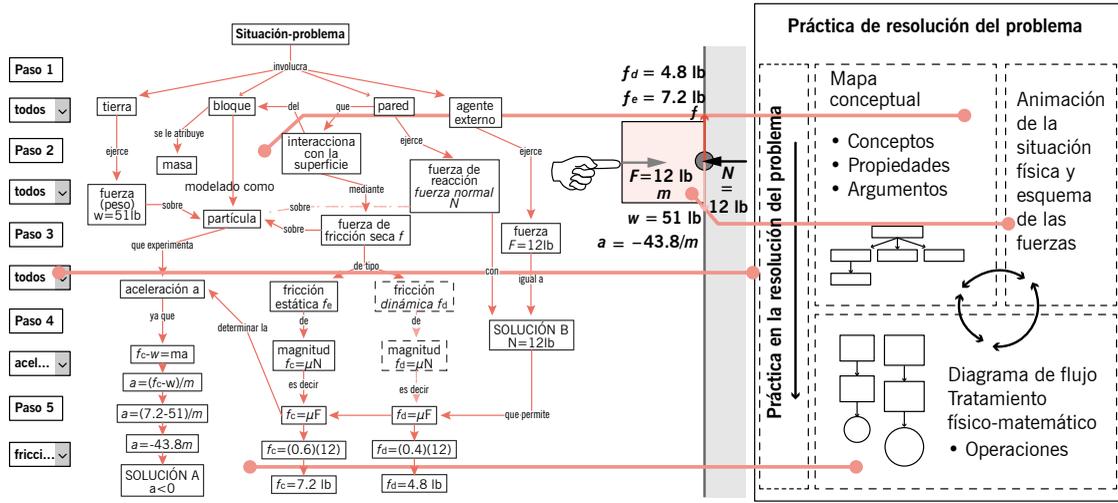


Figura 5. Fislet-MCH que describe la práctica de resolución del problema del bloque.

y agente externo) al mismo tiempo que su componente visual mediante iconos en la animación. En la animación, el agente externo empuja el bloque (caja de color rosado) hacia la derecha contra la pared representada como una barra vertical de color gris.

El botón “Paso 2” muestra la segunda jerarquía del MCH y también sugiere la realización del proceso de idealización. Se presentan conceptos (íconos/índice) que señalan la interpretación del bloque como partícula (operación visual) y las fuerzas que actúan sobre la partícula (peso, fuerza de fricción, fuerza normal, fuerza del agente externo) representadas de forma visual en la animación mediante flechas (proceso de materialización). El botón “Paso 3” indica el tratamiento físico-matemático que se apoya en la tercera ley de Newton (propiedad que sugiere el proceso de generalización); se resuelve el inciso b) del problema. El botón “Paso 4”, que resuelve el inciso a), sugiere el proceso de generalización mediante el empleo de la segunda ley de Newton. Por último, aunque no fue empleada para resolver el problema, el botón “Paso 5” determina la fuerza de fricción dinámica. Los resultados de los cálculos anteriores fungen como

índices que señalan su correspondiente componente visual en la animación.

d) Implementación del fislet-MCH

Los *fislets*-MCH fueron puestos a prueba con un grupo de estudiantes universitarios con el objeto de indagar las opiniones de los alumnos acerca de la utilidad, ventajas y desventajas del *fislet*. La implementación se llevó a cabo en un taller que consistió en cinco sesiones con duración de una hora cada una y que tuvo lugar en el centro de cómputo de la facultad con el propósito de que los estudiantes pudiesen manipular el *fislet*-MCH de manera individual. En la primera sesión se evaluaron los conocimientos previos de los alumnos a través de cinco preguntas y la resolución de un problema (Resnick *et al.*, 1999, p. 140) relacionado con la fuerza de fricción (ver figura 6).

En las tres sesiones posteriores se abordó cada situación física problematizada mediante el apoyo del *fislet*-MCH correspondiente y una secuencia de actividades que consistían en resolver el problema de manera individual con lápiz y papel, discutir en parejas la solución del problema, ejecutar el *fislet*-MCH y analizar el proceso de solución, verificar si la solución que se obtuvo coincidía con la del

fislet-MCH y la discusión entre los estudiantes y el investigador sobre los hallazgos. En la quinta sesión se aplicó de nuevo la prueba de la primera sesión y se indagó de modo grupal las opiniones de los estudiantes acerca del trabajo con los *fislets*-MCH.

Preguntas:

1. ¿Qué es la fuerza de fricción?
2. ¿Qué es el coeficiente de fricción estática μ_s ?
3. ¿Qué es el coeficiente de fricción cinética μ_k ?

Problema. Un bloque de 7.96 kg descansa sobre un plano inclinado a 22° respecto a la horizontal, como se muestra en la figura de abajo. El coeficiente de fricción estática es de 0.25, mientras que el coeficiente de fricción cinética es de 0.15. i) ¿Cuál es la fuerza mínima F , paralela al plano, que impedirá que el bloque se deslice por el plano hacia abajo? ii) ¿Cuál es la fuerza F necesaria para mover el bloque hacia arriba a velocidad constante?

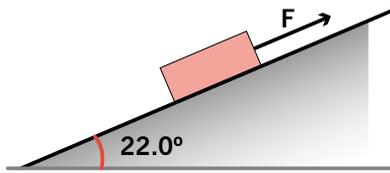


Figura 6. Preguntas y problema para evaluar el conocimiento previo de los alumnos.

Al taller asistieron de manera voluntaria ocho estudiantes de entre 18 y 20 años de edad de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Los estudiantes cursaban la asignatura de Estática y dinámica (principios de la mecánica newtoniana y la noción de fuerza de fricción).

RESULTADOS

Las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en la primera sesión (ver figura 6) mostraron que tienen una concepción inadecuada de la fuerza de fricción y del coeficiente de fricción. Algunos alumnos consideraron que la fuerza

y los coeficientes de fricción son propiedades de los cuerpos. Otros argumentaron que la fricción es “la capacidad de resistencia que tiene un objeto a ser desplazado por una fuerza o la capacidad que posee un objeto para impedir que otro se deslice sobre este”, y para los coeficientes μ_s y μ_k señalaron que “es el valor de resistencia que tiene un objeto para ser detenido” o “es la resistencia o fuerza de reacción de un cuerpo en reposo”. Otros alumnos comentaron que la fricción es una fuerza que se opone al movimiento de los cuerpos, lo cual no es válido en diversas situaciones físicas. Por otro lado, ningún estudiante resolvió de manera correcta el problema planteado.

En la última sesión, las respuestas de los estudiantes a las preguntas fueron en esencia las mismas; sin embargo, los estudiantes mejoraron en la resolución del problema. Tres estudiantes resolvieron en forma correcta y los demás mostraron avance. En la figura 7 se presenta el caso de un alumno que resolvió correctamente el problema. En la primera sesión, el alumno formula un planteamiento de tipo “sustituye y resuelve” (ver figura 7[a]), pero se equivoca al igualar la componente horizontal del peso $w \sin \theta$ con la fuerza normal “ n ” y confunde el empleo de μ_s y μ_k . En la última sesión, el alumno resuelve con acierto el problema (ver figura 7[b]) a través de un planteamiento de tipo conceptual que le permite describir el estado mecánico del bloque (de reposo o de velocidad constante) mediante la segunda ley de Newton. A diferencia de la primera sesión, la explicación del estudiante en la última sesión acerca de la solución propuesta revela un conocimiento más estructurado apoyado en un proceso interpretativo del problema.

Los resultados anteriores señalan que las concepciones de los alumnos sobre la fuerza de fricción no cambiaron durante el trabajo con los *fislets*-MCH; sin embargo, sí se logró observar una mejoría en la resolución del problema.

Por otra parte, las opiniones y sugerencias de los estudiantes acerca del trabajo con los *fislets*-MCH fueron las siguientes:

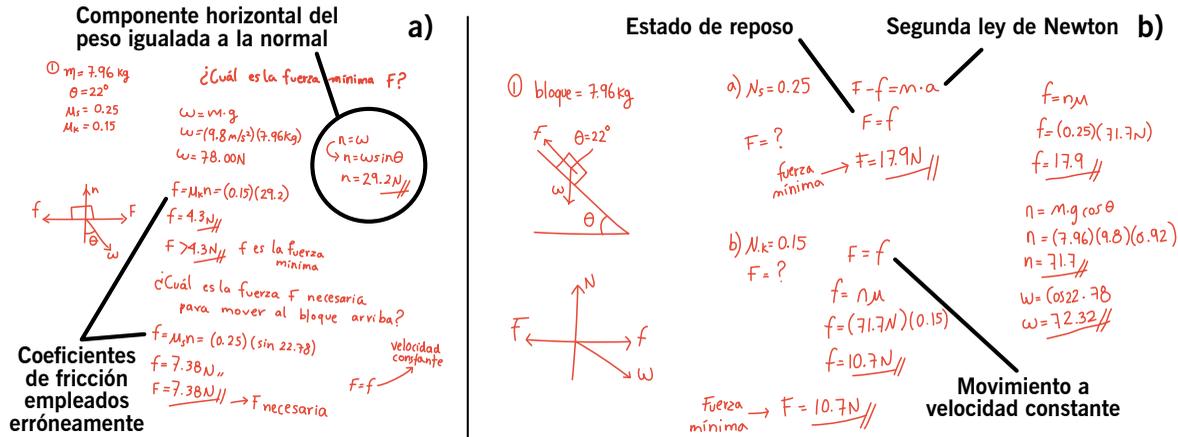


Figura 7. La resolución del problema del bloque sobre la cuña de inclinación 22° , a) resolución al principio del taller y b) resolución al final del taller.

Sincronización del MCH con la animación:

Me gustó mucho la manera en que el mapa muestra la solución de un problema y que este programa muestre el resultado. Es muy práctico. Solo que el *fislet* del cono de arena al reproducir simultáneamente el mapa con la animación, hace difícil tratar de ver lo que ocurre en la animación, es decir, o prestas atención al mapa o prestas atención a la animación. Esto no ocurre con las otras animaciones, porque ahí sí es por pasos y deja ver uno a uno a los objetos.

Empleo de colores en el MCH:

Interesante, ya que particularmente me hizo reflexionar sobre cómo atacar los problemas. Las animaciones dejan más claras las ideas. Sería bueno que se usaran colores en el mapa para observar mejor.

El *fislet*-MCH para aprender a resolver problemas:

Es una explicación muy didáctica de la solución de los problemas, la forma en que se redacta la información permite identificar los elementos del problema fácilmente y ordenarlos para resolverlo al conocer de dónde salen las ecuaciones y resultados. También nos sirve para visualizar con precisión la situación que genera el problema.

DISCUSIÓN

Según los resultados, el *fislet*-MCH contribuyó a una mejora de la práctica de resolución del problema planteado, pero no así a un cambio en las concepciones de los alumnos sobre la fuerza de fricción. Este aspecto, que en esencia es el foco de la segunda etapa de la investigación, va más allá del proceso de elaboración del *fislet*-MCH. Se tiene la hipótesis de que una comprensión más adecuada de la noción física podría lograrse a través del planteamiento de tareas en un conjunto de situaciones físicas prototípicas que permitan al alumno lograr una perspectiva holística de la noción física a ser aprendida. Algunas situaciones físicas hacen evidentes propiedades de la noción física a ser aprendida, pero no otras. Una manera de considerar este eje epistemológico podría ser a través de una selección más pertinente de situaciones físicas en la primera fase del desarrollo del *fislet*-MCH.

El *fislet*-MCH sustentado en la teoría del EOS plantea una alternativa científica al escenario en el cual el profesor-programador desarrolla el *fislet* apoyado en sus creencias o experiencias. Con esto, no pretendemos soslayar la experiencia del docente, sino destacar la importancia del sustento

teórico para el desarrollo sistemático del *fislet*-MCH y su uso como marco teórico interpretativo para analizar los aprendizajes logrados mediante esta herramienta.

Por otra parte, las observaciones de los alumnos muestran áreas de oportunidad para realizar mejoras en el *fislet*-MCH a un nivel técnico. Por un lado, se trata de resaltar, con el uso de colores, los distintos objetos físico-matemáticos que aparecen en el MCH y en la animación a fin de lograr una visualización más adecuada de la organización de estos objetos. Por otro, sincronizar el MCH con la animación de la situación física de tal modo que el estudiante perciba el efecto, sobre la situación animada, que causó la activación de algún botón en los controles.

CONCLUSIONES

El *fislet*-MCH permite a los alumnos la visualización del conjunto de objetos físico-matemáticos primarios (lenguaje, conceptos, propiedades, procedimiento y argumentos) que intervienen en la resolución de una situación física problematizada. Desde la perspectiva del EOS, los objetos primarios que se representan en la animación y en el MCH del *fislet* aparecen como iconos, símbolos o esquemas, y al desempeñarse también como índices, permiten establecer relaciones semánticas entre los elementos del MCH y sus respectivas componentes visuales en la situación física animada.

La propuesta de emplear el EOS para diseñar el *fislet*-MCH es de gran importancia para el campo de la tecnología educativa. El sustento teórico del *fislet* permite tomar en cuenta la componente visual de los objetos físico-matemáticos que participan en la práctica de resolución de un problema, los cuales también pueden ser empleados como marco interpretativo para indagar el aprendizaje de los alumnos mediante el trabajo con los *fislets*-MCH.

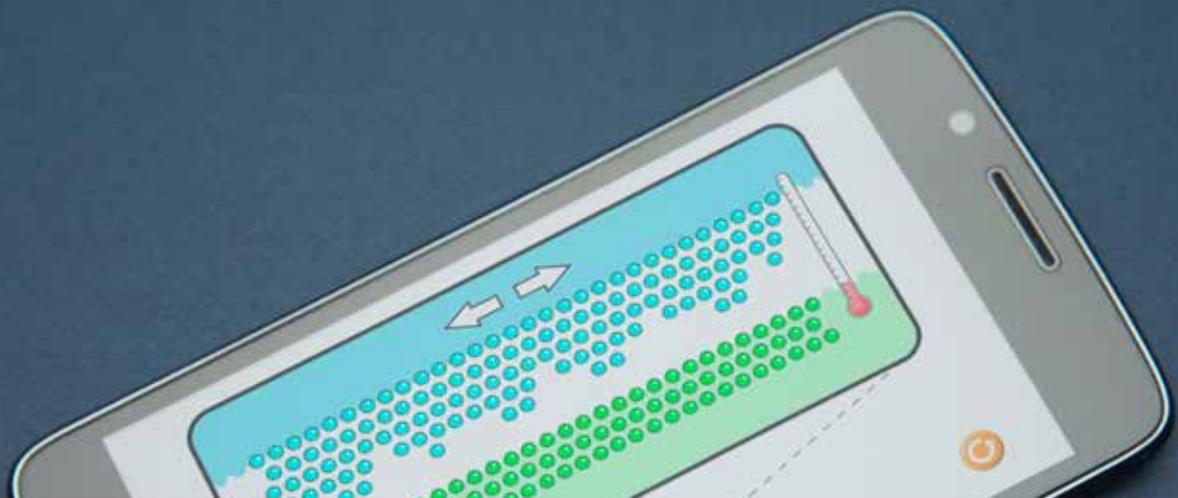
El *fislet*-MCH podría ser empleado como recurso para la enseñanza en la modalidad virtual

o como apoyo para los cursos presenciales. Al tomar en cuenta que el sustento teórico del *fislet*-MCH es una teoría proveniente de la matemática educativa, el *fislet* podría, de igual modo, implementarse para la enseñanza de la matemática, por ejemplo, en el aprendizaje mediante la modelación matemática. **a**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belloni, Mario & Christian, Wolfgang. (2003). Physlets for quantum mechanics. *Computing in Science & Engineering*, vol. 5, núm. 1, pp. 90-97. <https://doi.org/10.1109/MCISE.2003.1166558>
- Chi, Michelene & Slotta, James. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, vol. 10, núms. 2-3, pp. 249-260. <https://doi.org/10.1080/07370008.1985.9649011>
- Cox, Anne; Belloni, Mario; Dancy, Melissa & Christian, Wolfgang. (2003). Teaching thermodynamics with Physlets® in introductory physics. *Physics Education*, vol. 38, núm. 5, pp. 433-440. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/38/5/309>
- Dartnall, John & Reizes, John. (2011). Molecular Dynamic Computer Simulation Models for Teaching Thermodynamic Principles. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition: Engineering Education and Professional Development*, vol. 5, pp. 259-268. <https://doi.org/10.1115/imece2011-64892>
- Filloy, Eugenio; Puig, Luis & Rojano, Teresa. (2008). *Educational algebra. A theoretical and empirical approach*. Berlín: Springer.
- Godino Díaz, Juan; Gonzato, Margherita; Cajaraville Pegito, José Antonio y Fernández Blanco, Teresa. (2012). Una aproximación ontosemiótica a la visualización en educación matemática. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, vol. 30, núm. 2, pp. 109-130. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2012m6v30n2/edlc_a2012m6v30n2p109.pdf
- Godino Díaz, Juan; Batanero, Carmen & Font Moll, Vicenç. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, vol. 39, núms. 1-2, pp. 127-135. <https://doi.org/10.1007/s11858-006-0004-1>
- Jimoyiannis, Athanassios & Komis, Vassilis. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: A case study on students'

- understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, vol. 36, núm. 2, pp. 183-204. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00059-2)
- Moreno Martínez, Nehemías. (2017). Una representación gráfica de la práctica de resolución de problemas en cálculo diferencial. *Investigación en la Escuela*, núm. 92, pp. 60-75. Recuperado de <https://goo.gl/4pzAm7>
- Moreno Martínez, Nehemías; Font Moll, Vicenç y Ramírez Maciel, Juan Carlos. (2016). La importancia de los diagramas en la resolución de problemas de cuerpos deformables en mecánica: el caso de la fuerza de fricción. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 24, núm. 1, pp. 158-172. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000100015>
- Neves Mendonça, Rui Gomes; Neves, Maria & Teodoro Duarte, Vitor. (2013). Modellus: Interactive computational modelling to improve teaching of physics in the geosciences. *Computers & Geosciences*, vol. 56, pp. 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.03.010>
- Novak, Joseph; Gowin, Bob & Johansen, Gerard. (1983). The use of concept mapping and knowledge view mapping with junior high school science students. *Science Education*, vol. 67, núm. 5, pp. 625-645. <https://doi.org/10.1002/sce.3730670511>
- Oviedo, Mónica; Kanashiro, Ana María; Bnzaquen, Mónica y Gorrochategui, Mónica. (2011). Los registros semióticos de representación en matemática. *Aula Universitaria*, vol. 1, núm. 13, pp. 29-36. <https://doi.org/10.14409/au.v1i13.4112>
- Parra Bermúdez, Francisco Javier y Ávila Godoy, Ramiro. (2017). Las tecnologías digitales como herramientas mediadoras en el conocimiento de la física. *Latin American Journal of Physics Education*, vol. 11, núm. 2. Recuperado de <https://goo.gl/byPDLJ>
- Resnick, Robert; Halliday, David & Krane, Kenneth. (1999). *Física* (3ª ed., vol. 1). México: Compañía Editorial Continental, SA de CV.
- Roldán, Cristina; Perales, Francisco Javier; Ruiz, Beatriz; Moral, Cristina y De la Torre, Ángel. (2018). Enseñando a programar por ordenador en la resolución de problemas de física de bachillerato. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 15, núm. 1, pp. 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1301
- Singh, Chandralekha. (2008). Interactive learning tutorial son quantum mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 76, núm. 4, pp. 400-405. <https://doi.org/10.1119/1.2837812>
- UASLP (2017). *Productividad académica*. San Luis Potosí, México: Licenciatura en Matemática Educativa. Recuperado de <http://goo.gl/ojIXos>
- Wee Kang, Loo. (2012). One-dimensional collision carts computer model and its design ideas for productive experiential learning. *Physics Education*, vol. 47, núm. 3, pp. 301-308. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/3/301>



“Este artículo es de acceso abierto. Los usuarios pueden leer, descargar, distribuir, imprimir y enlazar al texto completo, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente.”

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Moreno Martínez, Nehemías; Angulo Villanueva, Rita Guadalupe; Reducindo Ruiz, Isnardo y Aguilar Ponce, Ruth Mariela. (2018). Enseñanza de la física mediante *fislets* que incorporan mapas conceptuales híbridos. *Apertura*, 10 (2), pp. 20-35. <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v10n2.1335>