



Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias

José María Oliva

Departamento de Didáctica. Universidad de Cádiz

[Recibido el 24 de marzo de 2021, aceptado el 5 de mayo de 2021]

Modelo y modelización son términos empleados habitualmente con distintas acepciones en la enseñanza de las ciencias. En este artículo se analiza la dimensión instrumental de la modelización, identificándose distintos recursos y actividades de este tipo, como analogías, metáforas, personificaciones, maquetas, experimentos mentales, simulaciones, etc. Además, se revisan algunas aportaciones procedentes de la literatura sobre investigación en este ámbito, proporcionando ejemplos de estudios realizados y del tipo de metodología de investigación usada a lo largo de los mismos. Finalmente se formulan distintas conclusiones obtenidas en el conjunto de publicaciones realizadas y se sugieren algunos interrogantes y líneas de trabajo que quedan por cubrir en este marco.

Palabras clave: analogías; experimentos mentales; maquetas; modelo; modelización; recursos para la modelización; personificaciones; simulaciones.

Lines and results of research on the instrumental dimension of modelling in science education

The terms model and modelling are commonly used with different meanings in science education. This paper analyses the instrumental dimension of modelling and identifies different modelling resources and activities, such as analogies, metaphors, embodiments, mock-ups, thought experiments, simulations, etc. The paper also reviews contributions from the literature in this area, including the different kinds of studies conducted, research methodologies used and conclusions obtained. The paper concludes by identifying a series of questions and new lines of research that remain to be explored.

Keywords: analogies; embodiments; mock-ups; model; modelling; modelling resources; simulations; thought experiments.

Introducción

El término modelo se usa con distintos significados (Harrison y Treagust, 2000; Gutiérrez, 2005; Chamizo, 2010). Entre ellos, empleamos el de modelo como representación de un sistema o fenómeno, con objeto de explicar o predecir situaciones y hechos (Adúriz-Bravo, 2012; Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). Unido a ello, los modelos también permiten representar ideas abstractas, por lo que pueden considerarse mediadores entre las teorías y el mundo real (Morrison, y Morgan, 1999; Acevedo, García-Carmona, Aragón, y Oliva, 2017).

Tanto si representa a un sistema real, como si lo que evoca es una teoría abstracta, cualquier modelo es parcial, incompleto y limitado, pues expresa solo una porción de aquello que es representado. En el primer caso, porque el modelo conforma una visión idealizada que centra su atención solo en una parte de la realidad que representa, abstrayendo y reformulando de otra manera la esencia de la entidad que evoca (Concari, 2001; Justi, 2006; Morrison y Morgan, 1999). En el segundo, porque el modelo supone una concreción que incluye también suposiciones, simplificaciones y aproximaciones, que son las que permiten expresar y contextualizar la entidad teórica de referencia, lo que da sentido a que se le considere como teoría específica (Bunge, 1983), o si se prefiere, como teoría contextualizada o en acción.

En un contexto didáctico la idea de modelo tiene asimismo diferentes acepciones, jugando todas ellas un papel esencial en la enseñanza de las ciencias. Así, de una parte, los modelos enseñados proporcionan una representación externa adaptada a la edad del modelo científico de referencia, fruto de su transposición didáctica. Pero, de otra, los modelos han de ser contruidos internamente por los propios alumnos, mediante procesos de andamiaje que apelan, entre otros, a recursos externos, muchos de los cuales pueden ubicarse dentro de la categoría de modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000).

Si la noción de modelo tiene distintos significados, la de modelización también las posee (Oliva, 2019). En esta ocasión nos centramos en la modelización como implementación de recursos instrumentales que permiten representar y manejar modelos. Para ello se presenta una tipificación de recursos para la modelización, discutiendo la utilidad de cada uno, y examinando las características y resultados de la investigación desarrollada en este ámbito. En concreto, los objetivos del estudio son los siguientes:

- 1º) Identificar algunos recursos instrumentales empleados en los procesos de modelización en la enseñanza de las ciencias.
- 2º) Caracterizar los problemas investigados en la literatura en torno a estos recursos, así como la metodología de investigación usada para abordarlos: objeto de estudio, contexto, diseño, técnicas empleadas, etc.
- 3º) Sintetizar algunas de las conclusiones principales que aportan estos estudios, incidiendo en aquellas que proporcionan criterios que optimizan la potencialidad de los mismos.

La modelización en su dimensión instrumental

La elaboración y evolución de los modelos mentales en el alumno no es el producto de un proceso de transmisión de significados, sino consecuencia de la evolución cognitiva que resulta de la interacción entre sus modelos mentales y las representaciones didácticas de los modelos científicos y la propia realidad (Clement, 2000; Vosniadou, 1994). Para ello resulta esencial el uso de recursos instrumentales que auxilien los procesos de andamiaje que han de guiar los procesos de enseñanza, ante tareas como conceptualizar, reflexionar, visualizar, ilustrar, representar, etc. Es aquí donde situamos los recursos para la modelización, como instrumentos que permiten al alumno construir modelos en un dominio dado a partir de la comprensión que emerge del manejo guiado de los mismos.

A continuación, se presenta una tipología de algunos de los recursos didácticos para la modelización (Tabla 1) propuestos en la bibliografía. Para cada uno de ellos se ofrece una breve descripción y ejemplificaciones concretas que ilustran en qué consiste cada uno y casos concretos de estudios realizados en torno a ellos.

Tabla 1. Algunos recursos de interés para la modelización

Recurso	Descripción	Ejemplificaciones	Casos de estudios
Analogías	Relaciones de similitud entre dos dominios establecidos, uno mejor conocido y más familiar, y otro peor conocido y más alejado de la experiencia.	Símil entre la fotosíntesis y el proceso de elaboración de pan.	Aragón, Oliva y Navarrete (2013); Çalik, Ayas y Coll (2009); Duit (1991); García-Carmona (2020); Orgill y Bodner (2006); Raviolo (2009).
Metáforas	Son analogías no explícitas, sino que subyacen al lenguaje en forma de expresiones y giros lingüísticos.	Expresiones del tipo “nube de carga”, “tren de ondas”, “el corazón bombea”.	Aubusson, Harrison, Ritchie (2006); Duit (1991); Muscari (1988); Raviolo (2009).
Personificaciones	Son un tipo de acciones corpóreas o “embodiments”, en las que los estudiantes usan su propio cuerpo como análogo del sistema representado.	El alumnado hace el papel de molécula para simular el comportamiento de un gas.	Close y Scherr (2015); Johnson-Glenberg <i>et al.</i> (2012); Niebert, Marsch, Treagust (2012); Tuzón y Solbes (2014).
Modelos físicos: maquetas, modelos a escala, modelos mecánicos, dispositivos analógicos	Objetos materiales contruidos para representar un objeto real, normalmente para visualizar, a tamaño diferente, la estructura de un sistema.	Maqueta de un cuerpo humano. Modelos moleculares. Sistema solar en miniatura contruido con plastilina.	Carretero (2010); Couso <i>et al.</i> (2013); Harrison y Treagust (1998); Gómez, Pujol y Sanmartí (2006); Jiménez-Tenorio, Aragón y Oliva (2016); Mendonça y Justi (2013).
Experimentos mentales	Experimentos realizados mentalmente sin necesidad de que se ejecuten realmente	Imaginar qué sucedería al dejar caer un objeto en un ascensor que se desploma.	Clement (2009); Chang <i>et al.</i> , (2009); Gilbert y Reiner (2000); Reiner (1998); Reiner y Gilbert (2000).
Simulaciones y otros recursos digitales dinámicos	Representación dinámica en formato digital del comportamiento de un fenómeno o de un sistema	Animaciones Simulaciones por ordenador, realidad virtual, laboratorios virtuales, realidad aumentada.	Barak y Hussein-Farraj (2013); Cañizares y Pro (2006); Clement, Zietsman, y Monaghan (2005); Merino <i>et al.</i> (2015); Louca y Zacharia (2008); Rutten, Joolingen y Veen (2012).

Por ejemplo, las analogías, metáforas, e incluso las personificaciones (“embodiment”), aproximan el modelo objeto de aprendizaje a otros más concretos y familiares. Por ello, se consideran herramientas útiles en la construcción del conocimiento científico en la escuela (Duit, 1991, Dagher, 1994; Aubusson, Harrison y Ritchie Mozzer y Justi, 2006). Por su parte, las maquetas y modelos a escala, guardan una relación analógica con el mundo

real y facilitan oportunidades de visualizar sistemas abstractos, e incluso en muchos casos posibilitan su manipulación en el aula.

Además, los experimentos mentales constituyen piezas claves que vinculan la intuición con las experiencias sensoriales, aportando una lógica útil a la hora de poner a prueba, en primera aproximación, los modelos elaborados sin tener que recurrir a un experimento real (Gilbert y Reiner, 2000; Reiner y Gilbert, 2000). Funcionan a partir de unas condiciones de contorno, un escenario ficticio y una pregunta que dirige su razonamiento en una situación de incertidumbre; todo ello a partir de la lógica del individuo fraguada sobre sus experiencias cotidianas y los conocimientos que posee.

Finalmente, las simulaciones, animaciones y laboratorios virtuales presentan un mundo virtual que es análogo al mundo real, recurriendo con frecuencia a representaciones icónicas de objetos abstractos, como cargas, átomos, moléculas, sistemas astronómicos, células, órganos, etc. Hacen así posible su visualización en un contexto dinámico, permitiendo ir más allá de la mera representación de sistemas mediante imágenes estáticas (Barak y Hussein-Farraj, 2013; Gilbert, 2004; Merino, Pino, Meyer, Garrido y Gallardo, 2015; Rutten, Joolingen y Veen, 2012).

En esencia, todos estos recursos han sido empleados por los científicos a lo largo de la historia, tanto en la construcción del conocimiento, como a la hora de argumentar y comunicar los resultados de sus investigaciones (Einstein e Infeld, 1939; Nersessian, 1992). En nuestro caso, se plantean como recursos didácticos, pudiéndose considerar todos ellos como modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000). Son “escolares” al constituir modelos para la enseñanza (Justi, 2006), creados con el propósito de ayudar al alumnado en su aproximación al modelo científico (García-Carmona, 2020; González, 2005). Y podemos hablar de “analógicos” ya que suelen basarse en analogías (Chamizo, 2010).

Problemas planteados y metodologías de investigación usadas

Son diversos los problemas que han servido de motivo para la investigación sobre recursos instrumentales empleados en la modelización en ciencias, desde aquellos dirigidos a analizar el efecto de estos recursos en la progresión en los modelos del alumnado, hasta otros que valoran su incidencia en prácticas de indagación o argumentación, en la comprensión sobre la naturaleza de los modelos en ciencias o en las percepciones de los estudiantes acerca de estos recursos y su utilidad en el aprendizaje. También conviene mencionar el papel de estos recursos en la investigación basada en diseño, en concreto de la mano de estudios que contemplan su integración en secuencias de enseñanza-aprendizaje que se implementan, evalúan y se modifican a lo largo de varios ciclos.

la tabla 2 ofrece algunos ejemplos de estudios encontrados en la literatura, desgranando los distintos elementos de la investigación: objeto de estudio, contexto del estudio, diseño de investigación, instrumentos de recogida de datos y tipo de análisis efectuado.

Desde el punto de vista metodológico, los diseños e instrumentos de recogida de información son en estos estudios los habituales en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, particularmente de aquellos relacionados con la modelización en ciencias. Encontramos estudios que se realizan desde una óptica cualitativa, otros que son de corte cuantitativo y otros que son de naturaleza mixta, al combinar ambos enfoques. En cada caso, la situación depende de la clase de instrumento de recogida de datos empleado. Éste suele consistir en cuestionarios abiertos, entrevistas semiestructuradas, observaciones en el aula, el portfolio del alumno, grabaciones de aula o el diario del docente, si bien en ocasiones se recurre también a cuestionarios cerrados de opción múltiple o en escalas tipo Likert.

Tabla 2. Detalles metodológicos en torno a algunos ejemplos de investigaciones en este ámbito

Autores	Objeto del estudio	Contexto	Diseño propuesto	Técnicas usadas	Tipo de análisis
Briggs y Bodner (2005)	Modelo mental construido a partir de un modelo de bolas y barras.	Una sesión. Alumnos de grado Química Orgánica (N=5).	Estudio interpretativo en contexto de laboratorio.	Entrevistas grabadas con recogida de dibujos realizados.	Cualitativo: procesos mentales implicados en la rotación mental de una molécula.
Clement (1993)	Efectos de analogías mediante anclas y puentes (analogías, experimentos mentales y experimentos reales).	Tres sesiones, una por cada uno de los tres tópicos implicados sobre mecánica. 1er curso de "high school" (N=200).	Cuasi-experimental, con diseño Pretest-Postest con grupo de control.	Cuestionario de opción múltiple.	Cuantitativo: comparación de aciertos entre ambos grupos, en el pretest y en el postest.
Dori y Barak (2001)	Efecto del uso combinado de modelos virtuales y físicos sobre la comprensión en química orgánica.	Una sesión sobre estructura espacial de moléculas. Estudiantes de High School (N=276).	Cuasi-experimental, con diseño Pretest-Postest con grupo de control.	Cuestionario escrito sobre comprensión y aplicación de modelos.	Cuantitativo: Comparación de resultados del cuestionario.
Park (2019)	Efecto de una simulación sobre las concepciones de los estudiantes en física.	Tres tareas. Alumnos de grado de ciencias y de ingeniería (N=70).	Evaluación en contexto formativo.	Cuestionario cerrado en dos niveles (respuesta y explicación).	Mixto: análisis mediante rúbricas y análisis con el modelo de Rasch.
Raviolo, Siracusa, Gennari, y Corso (2004)	Evaluación de una analogía para las disoluciones.	Una sesión. Estudiantes de Ingeniería. (N=32).	Evaluación formativa. Análisis final de percepciones.	Actividades de aula. Cuestionario final de opiniones.	Mixto: grado de acierto en actividades y ejemplos de opiniones
Rubio, Sánchez y Valcárcel (2018)	Opiniones de alumnos y docentes en torno a analogías sobre estados de la materia.	Ocho sesiones de clase. Profesores (N=5) y estudiantes de 3º ESO (N=218).	Evaluación en contexto formativo y análisis final de percepciones.	Cuestionario semiabierto	Mixto: escalas Likert y análisis de la naturaleza de las respuestas abiertas.
Velentzas y Halkia, (2013)	Utilidad de los experimentos mentales en torno al movimiento relativo.	Sesiones de dos horas. 11 grupos de 4 alumnos de 16 años.	Estudio interpretativo en contexto de laboratorio.	Entrevistas grupales.	Cualitativo: análisis del discurso en los diálogos durante las entrevistas.

Desde la perspectiva de los diseños empleados, algunos estudios evalúan el efecto de los recursos empleados en los aprendizajes conseguidos, ya sea a través de estudios descriptivos sobre el desempeño o las percepciones de los estudiantes después del tratamiento didáctico, o mediante estudios cuasi-experimentales, de tipo pretest-postest, con o sin grupo de control. En otros casos, la contrastación del efecto sobre el aprendizaje se lleva a cabo "in situ", estudiando el desempeño de los estudiantes en las actividades de aula. Por otro lado, algunos estudios implican situaciones de laboratorio, ya que no se desenvuelven en un contexto natural de aula.

Finalmente, mientras en unos casos los diseños usados se reducen a sesiones puntuales, en otros se refieren a secuencias didácticas que incorporan varias sesiones.

Algunos resultados derivados de la investigación

No es sencillo resumir en pocas líneas las conclusiones de la investigación desarrollada sobre recursos instrumentales para la modelización en ciencias y, por otro lado, siempre es arriesgado intentar generalizar, sobre todo en casos, como éste, donde concurren recursos diversos. No obstante, todo parece apuntar a ciertas regularidades que se repiten a lo largo de las conclusiones de muchos de estos estudios y que nos permiten escribir estas líneas.

En efecto, todo parece indicar que los recursos señalados (tabla 1) son instrumentos con potencialidad para desencadenar procesos de modelización en ciencias, existiendo suficientes evidencias para sostener que, bajo ciertas circunstancias y en determinados contextos, suponen aportaciones significativas a la construcción, uso y evaluación de modelos, como se demuestra a través de las revisiones realizadas por diferentes autores: Duit (1991) y Dagher (1995) con analogías; Velentzas y Halkia (2013) y Oliva et al. (2021a) con experimentos mentales; Develaky (2017), Ribeiro y Greca (2003), Rutten, van Joolingen y van der Veen (2012), Smetana y Bell (2012) con las simulaciones por ordenador; etc. De este modo, ayudan en la visualización y en el acercamiento de ideas abstractas, hacen más cercano y manipulable aquello que es lejano e inaccesible, permiten la reflexión en torno a situaciones y eventos que son complejos y difíciles de imaginar, posibilitan cambios en la magnitud de escalas de dimensiones y acontecimientos reales a otras más manejables, e incluso hacen posible la experimentación virtual con los sistemas estudiados. Por otro lado, no sólo hacen viable la construcción de modelos por parte de los estudiantes, sino también aportan a la realización de prácticas modelización, al desarrollo del razonamiento científico y a la progresión hacia visiones más ajustadas sobre la naturaleza de la ciencia. En particular, Develaki (2017), por ejemplo, resalta el interés de las simulaciones por ordenador a la hora de apoyar el razonamiento basado en modelos de los estudiantes. Así mismo, Oliva Aragón y Cuesta (2015), han resaltado el interés de las analogías como recurso dirigido al desarrollo de la competencia de modelización en ciencias. Finalmente, hemos de citar los estudios de Justi y Gilbert (2002), quienes sitúan los experimentos mentales como parte de los procesos de modelización y, por consiguiente, como ingredientes también que vertebran el pensamiento científico.

Pero la utilidad concreta de una analogía, de un experimento mental o de una simulación digital depende de cada recurso concreto y de la manera en la que se emplea en el aula. Como señala Kozma (1994), el medio y la metodología usada van juntas. Los medios no influyen en el aprendizaje bajo cualquier circunstancia, ya que los medios y los métodos que los emplean interactúan con los procesos cognitivos y sociales mediante los cuales se construye el conocimiento. Por ejemplo, existen mejores o peores analogías, pero una misma analogía puede ser buena y mala, en función de cómo se emplee (Dagher, 1995). Por otro lado, se requiere que el uso de "softwares" educativos y simulaciones se realice

de forma fundamentada, por cuanto se requieren métodos apropiados basados en la investigación educativa (Ribeiro y Greca, 2003).

Todo ello ha ido conduciendo a un desplazamiento del perfil de estos estudios, desde aquellos orientados a mostrar la utilidad de estos recursos, a otros más preocupados por dilucidar cuáles son las condiciones bajo las cuales se puede optimizar la potencialidad de los mismos. En este sentido, la investigación realizada ha mostrado algunos criterios que ayudan en dicha optimización, como ocurre por ejemplo con la revisión realizada por Rutten *et al.* (2012) en el campo de las simulaciones. A continuación, se analizan algunos de esos criterios.

Los estudiantes han de ser parte activa

Una de las conclusiones más generalizadas ante estos recursos incide en la necesidad de un papel activo por parte de los estudiantes. Así, no basta con que el profesor o el libro de texto presente a los estudiantes una analogía o un experimento mental. Los estudiantes deberían implicarse de un modo activo en la construcción y/o manejo de ambos. Por ejemplo, las analogías deben integrarse en actividades (Oliva, 2006), y los experimentos mentales dirigidos a los estudiantes deberían presentarse de una forma narrativa para fomentar la participación activa de los mismos (Klassen, 2006). Del mismo modo, si los alumnos trabajan con simulaciones, deben participar en tareas de indagación, manipulando variables y viendo el efecto que los cambios introducidos generan. En este sentido, el uso de simulaciones también debe acompañarse con actividades que promuevan la reflexión de los estudiantes y la vinculación entre las acciones realizadas con el simulador y los conceptos que se pretenden enseñar (Occelli y García Romano, 2018; Pontes, 2005). Incluso es posible implicar a los estudiantes en el proceso de construcción de las simulaciones usadas, como se va visto en un estudio reciente de Domènech-Casal (2020).

Necesidad de monitorizar su uso

Otro aspecto esencial es la labor continua de monitorización que ha de realizar el profesor. En este sentido, no debemos dejar que los estudiantes construyan cualquier experimento mental o analogía, o que indaguen de una forma totalmente autónoma cuando emplean una simulación. De hecho, como señalan Trundle y Bell (2010), el uso de simulaciones debe venir acompañado de acciones de apoyo, que pueden estar integradas en la propia simulación o pueden ser proporcionadas por el profesor. Pero siempre debe haber una orientación externa y un seguimiento estrecho de las producciones del alumnado y de lo que éste va aprendiendo, ayudándole a caminar en la dirección que se considera adecuada. Para ello, ha de evaluarse constantemente qué van aprendiendo los alumnos, prestarles ayudas, proporcionarles pistas y, en definitiva, ofrecer la ayuda que éstos necesitan. Es decir, el uso de este tipo de recursos debe ir acompañado de un continuo proceso de andamiaje y retroalimentación (Gómez-Galindo, 2013; Park, 2019; Park, Liu, Smith, y Waight, 2017; Quellmalz, Timms, Silbergliitt, y Buckley, 2012; Srisawasdi, y Panjaburee, 2015).

Aprovechar contextos de aprendizaje cooperativo

Según los resultados que se derivan de la investigación, los efectos positivos de la participación guiada de los estudiantes en aprendizaje con estos recursos se ven amplificados cuando los alumnos trabajan de una manera colectiva. Como señala Seel (2017), la conversación crea un contexto mental compartido que posibilita el intercambio de modelos personales entre los miembros de un grupo, y ello da ocasión a que se genere un modelo

compartido, que suele ser más rico y coherente. Así, por ejemplo, esto es lo que ocurre cuando los estudiantes se sitúan ante la tarea de elaborar un experimento mental (Reiner, 1998; Reiner y Gilbert, 2000). De hecho, los citados autores observaron en sus estudios de aula, que las producciones individuales sobre experimentos mentales eran bastante pobres y desestructuradas, pero que, sin embargo, mejoraban de forma sustancial cuando se generaban de forma colectiva (Reiner y Gilbert, 2000). A resultados similares llegaron otros autores (Bancong y Song, 2020; Velentzas y Halkia, 2013), quienes apreciaron que el trabajo en grupo desempeña un papel valioso en este contexto, porque la interacción entre los estudiantes y la argumentación desarrollada por determinados miembros, ayudan a otros con dificultades. A conclusiones similares se llegan también respecto al trabajo con analogías, donde se puede apreciar que, entre los distintos factores que parecen contribuir a su efectividad en el aula, se encuentran algunos referidos al aprendizaje en grupos colaborativos y al debate entre pares (Aragón *et al.*, 2013; Coll *et al.*, 2005). Por su parte, Trundle y Bell (2010) sugieren que las actividades de instrucción utilizando simulaciones por ordenador deberían aportar un clima de colaboración entre los estudiantes para un aprendizaje exitoso.

Contextualizar estos recursos dentro del marco de un plan más general

Todo parece indicar que las mejores prácticas con estos recursos no proceden de un uso puntual, aislado y descontextualizado de los mismos, sino de su inserción y empleo dentro de un plan más general; esto es, en el marco de una estrategia didáctica. Por ejemplo, Harrison y Treagust (1993) reconocían el papel de las analogías en el aprendizaje de las ciencias, pero reclamaban la necesidad de un uso sistemático de las mismas. Por otro lado, Pontes (2005) y Trundle y Bell (2010) señalaban la necesidad de fundamentar teóricamente el uso de software educativo en la enseñanza de las ciencias y situarlo dentro de una estrategia, y en una línea similar, Ribeiro y Greca (2003) apuntaban a la necesidad de proporcionar sustento teórico a los profesores quienes desean usar simulaciones computacionales en la educación científica. Unido a ello, parece que es preciso la inserción de las actividades de este tipo dentro de una secuencia de enseñanza-aprendizaje. Es el caso, por ejemplo, del estudio llevado a cabo por Solbes y Tuzón (2014), quienes emplearon personificaciones para modelizar el núcleo atómico siguiendo el hilo conductor de una secuencia de actividades. También podemos situar en este marco el trabajo de Felipe, Gallarreta y Merino (2005), en el que usaron modelos tridimensionales para la enseñanza de la biología, empleando una guía para su uso, inserta además dentro de una secuencia de actividades más amplia.

No pretender sustituir al modelo ni al fenómeno representado

El uso de estos recursos no debe considerarse un sustituto del modelo estudiado ni del fenómeno analizado. Así, las analogías, los símiles y las metáforas han de entenderse como caminos para llegar al modelo, así como una forma de aprender a usarlo y valorarlo, pero no constituyen el modelo en sí mismo (Duit, 1991; Oliva, 2004). Esto mismo puede hacerse extensivo a otros recursos, como las personificaciones o las maquetas. Por otro lado, las simulaciones y los experimentos mentales no deberían considerarse un sustituto de la observación ni de la experimentación de fenómenos reales, a menos que el contacto directo con el fenómeno estudiado resulte imposible o desaconsejado. En su lugar, deberían considerarse un instrumento estratégico que permite añadir una nueva dimensión válida para la indagación y la comprensión de la ciencia (Garófalo, Chemes, y Alonso, 2016). Por ejemplo, ha existido cierta controversia en torno a la efectividad relativa de los experimentos reales o en laboratorios virtuales con vistas al aprendizaje de

los estudiantes. Para autores como Ma y Nickerson (2006), éste es realmente un falso debate, por cuanto laboratorios reales y virtuales no serían opciones antagónicas sino complementarias. De hecho, como muestra dicho estudio, si bien los laboratorios virtuales ayudan a focalizar el aprendizaje de los estudiantes en el ámbito conceptual, los laboratorios reales son insustituibles ya que tienen una aportación decisiva en el desarrollo de destrezas de investigación.

Plantear un uso combinado y complementario de varios de estos recursos

En sintonía con el punto anterior, cada vez son más los autores que recomiendan un uso combinado de estos recursos, y su complementación con actividades de experimentación real. De este modo, suelen aconsejar el empleo de actividades y secuencias de actividades que combinen de manera estratégica esta tipología de recursos. De este modo, Donati y Andrade-Gamboa (2004) usaron experimentos mentales a partir de modelos analógicos para estudiar algunas propiedades de las disoluciones. En concreto, la base del experimento mental consistía en imaginar un recipiente dispuesto con un ventilador que permitía agitar pequeñas esferas de un material liviano que interactuaban a través de una fuerza (por ejemplo, magnética). Con estos recursos, los autores pretendían servir de apoyo al pensamiento del estudiante ante fenómenos como la vaporización, la presión de vapor o las diferencias entre disoluciones ideales y reales, entre otras. Por otro lado, en una serie de trabajos, Reiner y Gilbert proponían la combinación de experimentos mentales, ya sean con simulaciones (Reiner, 1998) o con simulaciones digitales y experimentos reales o experiencias sensoriales (Gilbert y Reiner, 2000; Reiner y Gilbert, 2004). Además, Clement (1993) combinó analogías, experimentos mentales y reales como una forma de otorgar verosimilitud a las comparaciones realizadas mediante estrategias con anclas y puentes, mientras Montejo-Bernardo (2018) combinó modelos analógicos y personificaciones. Finalmente, Garófalo *et al.* (2016) recomiendan integrar simulaciones y analogías, Dori y Barak (2001) sugieren la combinación de modelos moleculares concretos y herramientas de modelado por ordenador como forma de moverse más fácilmente entre representaciones 2D y 3D, y Wong, Chen y Chang (2020) proponen la combinación de laboratorios virtuales y el laboratorio basado en microordenadores en los procesos de modelización en ciencias.

Reflexiones finales

En este trabajo hemos presentado una síntesis de aportaciones provenientes de la investigación en torno a recursos de modelización, como analogías, simulaciones, experimentos mentales, etc. Estos, de una parte, están siendo usados como vehículos metodológicos para implementar la enseñanza-aprendizaje basado en modelos y en modelización; pero también, de otra, están viéndose beneficiados por el marco de la modelización, el cual está aportando un fundamento y una nueva mirada para estos instrumentos, que durante tiempo han estado huérfanos de una verdadera base teórica aglutinadora dentro de la didáctica de las ciencias.

Como se ha apuntado en la revisión, el uso de estos recursos no puede ser esporádico, ni ocasional, ni tampoco debe estar desconectado del resto de una propuesta didáctica. Más bien, han de emplearse en sintonía con un esquema más general, en línea con el que proporciona el ciclo de modelización, y más concretamente dentro de una propuesta integral o desde un enfoque didáctico, que permita dar sentido a las secuencias de enseñanza-aprendizaje en las que se insertan. En este marco, las circunstancias que acabamos de comentar, aplicables a la mayoría de recursos de modelización, podrían ampliar su potencialidad.

A modo de epílogo, proponemos algunos problemas e interrogantes que quedan pendientes y abren horizontes de futuro:

1. ¿Son capaces los estudiantes de aportar ideas en este tipo de actividades que contribuyan a la elaboración, aplicación o revisión de modelos?
2. ¿Qué dinámicas de trabajo se generan en el aula ante actividades de esta naturaleza y en qué medida sirven como escenario de prácticas de modelización en ciencias? ¿Qué papel juegan las interacciones en el aula?
3. ¿Qué destrezas y habilidades relacionadas con la modelización se trabajan durante esas prácticas?
4. ¿Cómo percibe el alumnado este tipo de actividades y qué papel le asignan en su aprendizaje?
5. ¿Cómo interaccionan recursos distintos de este tipo cuando se combinan en una misma secuencia didáctica: analogías y experimentos mentales; analogías y simulaciones; experimentos mentales y simulaciones; etc.?
6. ¿Hasta qué punto dicha integración amplía las potenciales de cada uno por separado?
7. ¿En qué medida las SEA (Secuencia de Enseñanza y Aprendizaje) desarrolladas desde este enfoque contribuirán a una progresión de los modelos de los estudiantes en los dominios de conocimiento implicados, o en la comprensión sobre la naturaleza de los modelos en ciencias?
8. ¿En qué medida las SEA desarrolladas desde este enfoque contribuirán a una progresión en los modelos de los estudiantes?

En torno a algunos de estos interrogantes hemos empezado ya a dar algunos pasos, aportando incluso algunos resultados que se derivan de nuestra investigación (Oliva et al., 2021; Armario, Jiménez-Tenorio y Oliva, 2021). Esperamos que estas aportaciones continúen en el futuro y sirvan para generar implicaciones útiles para la enseñanza de las ciencias.

Agradecimientos

Financiado por: FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades-Agencia Estatal de Investigación/_Proyecto EDU2017-82518-P

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23, 1-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Acevedo-Díaz, J.A, García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M, M. y Oliva-Martínez, J.M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30 (3), 155-166. DOI: <http://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Aragón, M^aM; Oliva, J.M. y Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9-30.
- Armario, M., Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J.M. (2021) La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica en formación inicial de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(3), 3802. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3802

- Aubusson, P.J., Harrison, A.G. y Ritchie, S. (2006). Metaphor and analogy: serious thought in science education. En: Aubusson, P.J.; Harrison, A.G.; Ritchie, S.M. (Orgs.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp.1-9). Dordrecht: Springer.
- Bancong, H. y Song, J. (2020). Exploring How Students Construct Collaborative Thought Experiments During Physics Problem-Solving Activities. *Science & Education*, 29, 617-645. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00129-3>
- Barak, M. y Hussein-Farraj, R. (2013). Integrating model-based learning and animations for enhancing students' understanding of proteins structure and function. *Research in Science Education*, 43(2), 619-636.
- Briggs, M. y Bodner, G. (2005). A model of molecular visualization. En J.K. Gilbert (Ed.) *Visualization in Science Education* (pp. 61-72). Springer. Dordrecht.
- Çalik, M., Ayas, A. y Coll, R. K. (2009). Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(4), 651-676.
- Cañizares Millán, M. y Pro Bueno, A. D. (2006). El uso de simulaciones en la enseñanza de la física. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 13(50), 66-75.
- Carretero, B. (2010). Nuestro centro como espacio divulgador de ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 127-136.
- Clement, J.J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J.J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- Clement, J.J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 686-710.
- Clement, J.J., Zietsman, A. y Monaghan, J. (2005). Imagery in science learning in students and experts. En J.K. Gilbert (Ed.) *Visualization in science education* (pp. 169-184). Springer Netherlands.
- Close, H. G. y Scherr, R. E. (2015). Enacting conceptual metaphor through blending: Learning activities embodying the substance metaphor for energy. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 839-866.
- Coll, R.K., France B. y Taylo, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27, (2), 183-198.
- Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(1), 85-94.
- Couso, D., Blanco, M. L. H. y Olivella, J. (2013). Una propuesta de trabajo práctico para la física moderna. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (75), 18-27.
- Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26-41. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.02
- Chang, H, Quintana, C. y Krajcik, J. S. (2009). The Impact of Designing and Evaluating Molecular Animations on How Well Middle School Students Understand the Particulate Nature of Matter. *Science Education*, 94, 73-94.

- Develaki, M. (2017). Using Computer Simulations for Promoting Model-based Reasoning Epistemological and Educational Dimensions. *Science & Education*, 26, 1001-1027. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9944-9>
- Dagher, Z.R. (1995). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), 295-312.
- Domènech-Casal, J. (2020). Diseñando un simulador de ecosistemas. Una experiencia STEM de enseñanza de dinámica de los ecosistemas, funciones matemáticas y programación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3202. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3202
- Donati, E.R. y Andrade-Gamboa, J.J. (2004). Las propiedades de las disoluciones a través de experimentos mentales. *Educación Química*, 15(4), 432-435.
- Dori, Y.J. y Barak, M. (2001). Virtual and physical molecular modelling: Fostering model perception and spatial understanding. *Educational Technology and Society*, 4(1), 61-74.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Einstein, A. y Infeld, L. (1939). *La física aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Ed. Losada
- Felipe, A.E., Gallarreta, S.C. y Merino, G. (2005). La modelización en la enseñanza de la biología del desarrollo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(3). Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART5_Vol4_N3.pdf
- García-Carmona, A. (2020). The Use of Analogies in Science Communication: Effectiveness of an Activity in Initial Primary Science Teacher Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10125-2>
- Garófalo, S.J., Chemes, L.B. y Alonso, M. (2016). Propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones para estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 359-372. DOI: http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i2.09
- Gilbert, J.K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130
- Gilbert, J., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J.K. Gilbert y C.J. Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J. K. y Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Gómez-Galindo, A.A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28.
- Gómez, A., Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (2006). Pensar, actuar y hablar sobre los seres vivos alrededor de una maqueta. *Alambique*, 47, 48-55.
- González, B. (2005). El modelo analógico como recurso didáctico en ciencias experimentales. *Revista Iberoamericana de Educación*, 37(2), 1-15.
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto “modelo mental”: Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.

- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (1993). Teaching with analogies: A case study in grade-10 Optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (1998). Modelling in science lessons: Are there better ways to learn with models? *School Science and Mathematics*, 98(8), 420-429.
- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000). A tipology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Jiménez-Tenorio, N., Aragón-Núñez, L. y Oliva-Martínez, J. M. (2016). Percepciones de estudiantes para maestros de educación primaria sobre los modelos analógicos como recurso didáctico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 91-112.
- Johnson-Laird, P.N. (1996). Images, models, and propositional representations. In De Vega et al (Ed.), *Models of visuospatial cognition (pp. 90-107)*. New York: Oxford University Press.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. y Gilbert, J.K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Klassen, S. (2006). The science thought experiments: How might it be used profitably in the classroom? *Interchange*, 37(1-2), 77-96.
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 7-19.
- Louca, L. y Zacharia, Z. (2008). The Use of Computer-based Programming Environments as Computer Modelling Tools in Early Science Education: The cases of textual and graphical program languages. *International Journal of Science Education*, 30(3), 287-323.
- Ma, J. y Nickerson, J.V. (2006). Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), Article 7
- Mendonça, P. C. y Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, J. M. y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94-99.
- Montejo Bernardo, J.M (2018). Piezas de construcción y globos: propuesta didáctica para trabajar contenidos de química con futuros Maestros de Educación Primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 69-79. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.3438>
- Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En M.S. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as mediators (pp. 10-37)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Muscari, P. G. (1988). The metaphor in science and in the science classroom. *Science Education*, 72(4), 423-431.

- Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. En R.N. Giere (Ed.): *Cognitive Models of Science*, (pp. 3-45). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press. Recuperado de: <http://www.cc.gatech.edu/aimosaic/faculty/nersessian/papers/how-do-scientists-think.pdf>
- Niebert, K., Marsch, S. y Treagust, D. F. (2012). Understanding needs embodiment: A theory-guided reanalysis of the role of metaphors and analogies in understanding science. *Science Education*, 96(5), 849-877.
- Occelli, M. y García Romano, L. (2018). Las Simulaciones en la Enseñanza de la Biología. *Docentes conectados*, 1(1), 1-14. Disponible en: DOI: <https://www.evirtual.unsl.edu.ar/revistas/index.php/dc/article/view/15>
- Oliva, J.M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), 363-384. Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen3/REEC_3_3_7.pdf
- Oliva, J.M. (2006). Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 359-372.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/enciencias.2648>
- Oliva, J.M. et al. (2021). ¿Varía la masa de la Tierra? Modelizando vía experimento mental. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 25-46.
- Oliva, J.M., Aragón, M.M. y Cuesta, J. (2015). The competence of modelling in learning chemical change: a study with secondary school students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 751-791. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10763-014-9583-4>
- Orgill, M. y Bodner, G. M. (2006). An analysis of the effectiveness of analogy use in college-level biochemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(10), 1040-1060.
- Park, M. (2019). Effects of Simulation-based Formative Assessments on Students' Conceptions in Physics. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(7), em1722. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/103586>
- Park, M., Liu, X., Smith, E., y Waight, N. (2017). The effect of computer models as formative assessment on student understanding of the nature of models. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 572-581. DOI: <https://doi.org/10.1039/c7rp00018a>
- Pontes, A. (2005). Aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información en la educación científica. 2^a Parte: Aspectos metodológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 330-343.
- Quellmalz, E. S., Timms, M. J., Silberglitt, M. D. y Buckley, B. C. (2012). Science assessments for all: Integrating science simulations into balanced state science assessment systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 363-393. DOI: <https://doi.org/10.1002/tea.21005>
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 20(1), 55-60.

- Raviolo, A., Siracusa, P., Gennari, F. y Corso, H. (2004). Utilización de un modelo analógico para facilitar la comprensión del proceso de preparación de disoluciones. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 379-388.
- Reiner, M. (1998). Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-1058.
- Reiner, M. y Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- Reiner, M. y Gilbert, J. K. (2004). The symbiotic roles of empirical experimentation and thought experimentation in the learning of physics. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1819-1834. DOI: <https://doi.org/10.1080/0950069042000205440>
- Ribeiro, A.A. y Greca, I.M. (2003). Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. *Química Nova*, 26(4), 542-549.
- Rubio J., Sánchez G. y Valcárcel M.V. (2018). Percepción de profesores y estudiantes de 3º ESO sobre el uso de analogías en el estudio de los estados de agregación de la materia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2104. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2104
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R. y Van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Seel, N. M. (2017). Model-based learning: A synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 931-966. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9507-9>
- Solbes, J. y Tuzón, P. (2014). Indagación y modelización del núcleo atómico y sus interacciones. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 78, 34-42.
- Smetana, L. y Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Srisawasdi, N. y Panjaburee, P. (2015) Exploring effectiveness of simulation-based inquiry learning in science with integration of formative assessment. *Journal of Computers in Education*, 2(3), 323-352. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0037-y>
- Tuzón M., P. y Solbes, J. (2014). Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (28), 175-195.
- Trundle, K. C. y Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.10.012>
- Velentzas, A. y Halkia, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.682182>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69. DOI: [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)

Wong, W. K., Chen, K. P. y Chang, H. M. (2020). A comparison of a virtual lab and a microcomputer-based lab for scientific modeling by collegestudents. *Journal of Baltic Science Education*, 19(1), 157-173. DOI: <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.157>