

Aplicación del modelo 5E para aprender mecánica a través de la indagación en educación secundaria

Application of 5E model for learning Mechanics through inquiry in secondary education

**Ana González Bértoa
y Beatriz Crujeiras-Pérez**

Departamento de Didácticas Aplicadas.
Facultad de Ciencias de la Educación
Universidade de Santiago de Compostela

Resumen: En este trabajo se examina el proceso de resolución de una actividad de indagación sobre las leyes de Newton que consiste en diseñar un montaje con el cuál averiguar qué superficie es la más adecuada para arrastrar cajas de ropa en un almacén. Los participantes son 23 estudiantes de 4º de ESO. Para la toma de datos se recogen sus respuestas escritas relativas al diseño del dispositivo, a la toma de datos, interpretación de resultados y establecimiento de conclusiones. Para el análisis se examinan utilizando como herramienta el modelo de instrucción 5E. Los resultados principales apuntan a ciertas dificultades en los desempeños del alumnado relativos a la elaboración del montaje y a la explicación de su utilización.

Palabras clave: leyes de Newton; fuerza de rozamiento; indagación; laboratorio; educación secundaria.

Abstract: This paper examines the process of solving an inquiry task about Newton's laws that consists of designing a montage for investigating which surface would be the most appropriate to drag boxes of clothes in a warehouse. The participants are 23 9th-grade students. Data collection consists of students' written responses related to the process of design, interpreting results and drawing conclusions were collected. For data analysis, we used the instruction model 5E. The main results highlight certain difficulties in students' performances related to the process of design and to the explanation of how to use it.

Keywords: laws of Newton; friction force; inquiry; laboratory; secondary education.

(Fecha de recepción: octubre, 2017, y de aceptación: diciembre, 2017)

DOI: 10.7203/DCES.33.11037

1. *Introducción*

La enseñanza y aprendizaje de la física, y de la mecánica en particular, se caracteriza por presentar numerosas dificultades para el alumnado, debido principalmente a la naturaleza del conocimiento físico, motivadas en parte por el carácter abstracto que ésta adquiere cuando se imparte siguiendo una metodología tradicional, basada en la realización de actividades de cálculo matemático o en la comprobación de principios y leyes de forma experimental siguiendo una serie de pasos pre-establecidos. Actualmente, a pesar de los nuevos enfoques de enseñanza basados en el aprendizaje a través del desarrollo de competencias (OCDE, 2013, 2016) o de la participación en prácticas científicas (NRC, 2012), los cuales sugieren un aprendizaje centrado en los procesos de razonamiento del alumnado, todavía sigue siendo frecuente la enseñanza de la física bajo un modelo tradicional. Muchos docentes justifican este hecho en base a su falta de familiarización con las nuevas metodologías (Artigue, Dillon, Harlen y Léna, 2012) o a la falta de tiempo y falta de formación (Capps, Crawford, y Conostas, 2012). Para minimizar estos inconvenientes, existen determinadas herramientas que ayudan a estructurar el proceso de enseñanza y aprendizaje en el que el alumnado es el protagonista. En este trabajo utilizamos el modelo de instrucción 5E (Bybee, Taylor, Gardner, Van Scotter, Powell, Westbrook y Landes, 2006) para ayudar al alumnado a resolver un problema de la vida cotidiana a través de la indagación científica. La utilidad de

este modelo ha sido ampliamente reconocida en la literatura ya que permite al alumnado aplicar el conocimiento de forma autónoma (e.g. Açılsı, Yarçın y Turgut, 2011, Ergin, 2012), ayuda a reducir sus concepciones alternativas (Artum y Costu, 2013), y promueve el cambio conceptual (Çepni y Sahim, 2012), entre otros aspectos.

El objetivo de esta investigación consiste en analizar los desempeños del alumnado relativos a la resolución de una actividad de indagación en el laboratorio sobre la fuerza de rozamiento a través del modelo de instrucción 5E.

Este trabajo se fundamenta en el enfoque del aprendizaje de las ciencias a través de las prácticas científicas, es decir una serie de prácticas utilizadas por los científicos para establecer, extender y refinar el conocimiento (NRC, 2012). Estas prácticas, basadas en la actividad de los científicos profesionales, se agrupan en tres grandes categorías: investigación, evaluación y elaboración de explicaciones. A su vez cada categoría incluye distintas operaciones que en algunos casos se solapan entre sí y que se describen a continuación (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras-Pérez, 2017):

- La investigación incluye operaciones como formular preguntas, identificar problemas, planificar y poner en práctica investigaciones y analizar o interpretar datos.
- La evaluación requiere seleccionar pruebas adecuadas, contrastar explicaciones con pruebas disponibles, comparar explicaciones alternativas y criticarlas o elaborar argumentos a partir de pruebas.

- La elaboración de explicaciones implica formular hipótesis, interpretar fenómenos, elaborar predicciones, así como construir y elaborar teorías y modelos.

Estas tres prácticas se asocian a menudo con tres grandes cuerpos de conocimiento en didáctica de las ciencias experimentales: la indagación, argumentación y modelización respectivamente (Jiménez Aleixandre, 2012). El laboratorio escolar es un buen lugar para llevarlas a cabo ya que ayuda al alumnado a que participe en ellas, comprendiendo mejor el funcionamiento de la ciencia y contribuyendo tanto a lograr los objetivos del currículo de ciencias como a la adquisición de las competencias científicas (Crujeiras y Jiménez, 2012a). Este trabajo se enmarca en el contexto de laboratorio y se centra en la práctica de la indagación, que se discute a continuación.

2. Aprendizaje de las ciencias a través de la indagación

Actualmente la práctica científica de indagación se considera una herramienta muy beneficiosa para el aprendizaje del alumnado, tanto sobre contenidos y destrezas científicas como para la ciencia en general (González Rodríguez y Crujeiras Pérez, 2016). En las últimas décadas la enseñanza de las ciencias a través de la indagación ha ocupado un lugar central en los debates llevados a cabo en diversos seminarios internacionales de didáctica de las ciencias (Abd-El-Khalick et al., 2004; Duschl y Grandy, 2008; Osborne y Dillon, 2008). Todos estos autores señalan la

necesidad de promover la indagación como medio y como fin, es decir, la indagación como un método de enseñanza y como un resultado de aprendizaje.

El aprendizaje basado en la indagación es una estrategia educativa en la que los estudiantes siguen métodos y prácticas similares a la de los científicos profesionales para construir el conocimiento (Keselman, 2003). Puede definirse como un proceso de descubrimiento de nuevas relaciones causales en las que los estudiantes formulan hipótesis y las comprueban realizando experimentos y / o realizando observaciones (Pedaste, Mäeots, Leijen, y Sarapuu, 2012). El aprendizaje basado en la indagación hace hincapié en la participación activa y en la responsabilidad del alumnado por descubrir conocimientos nuevos (de Jong y van Joolingen, 1998) implicando la aplicación de varias habilidades de resolución de problemas (Pedaste y Sarapuu, 2006). En este proceso, los estudiantes a menudo llevan a cabo un proceso de aprendizaje autodirigido, parcialmente inductivo y parcialmente deductivo haciendo experimentos para investigar las relaciones de al menos un conjunto de variables dependientes e independientes (Wilhelm y Beishuizen, 2003).

Dentro del proceso de indagación, existen distintos tipos de actividades, lo que se conoce como el continuum de la indagación que parte de la más guiada a la más autónoma (Windschitl, 2003). El primer tipo se denominan experiencias de confirmación, que responden a las tradicionales “recetas”, que son actividades totalmente guiadas, en la que los estudiantes deben seguir un

procedimiento establecido. En segundo lugar, se sitúa la indagación estructurada, en la que el profesorado proporciona un procedimiento al alumnado para resolver un problema del que se desconoce la respuesta. En el siguiente nivel se encuentra la indagación guiada, en la que el profesorado proporciona los estudiantes un problema a resolver, pero les da autonomía para escoger el método y procedimiento de investigación. Por último, en el nivel más elevado de autonomía se encuentra la indagación abierta, en la cual los estudiantes tienen total independencia para desarrollar sus propias preguntas y diseñar sus propias investigaciones. De los cuatro tipos, este trabajo se enmarca en la indagación guiada, en la cual el alumnado sigue una serie de orientaciones para resolver una investigación propuesta por la docente, pero en la cual tienen que proponer el procedimiento a seguir para resolver la investigación planteada.

Existen diferentes formas de introducir la indagación en el aula. En este estudio diseñamos un trabajo práctico de carácter indagativo (Caamaño, 2012) a realizar en el laboratorio escolar, diseñado para familiarizar al alumnado con el trabajo y metodología científica, es decir, para aprender física a través de la práctica científica de indagación.

3. Enseñanza y aprendizaje de las fuerzas en la educación secundaria

El aprendizaje de las fuerzas representa una parte amplia del currículo en la asignatura de física y química que

se trata a lo largo de toda la educación secundaria. A la hora de aplicar los conocimientos relativos a las fuerzas y movimiento en el aula, los estudiantes presentan determinadas dificultades, tal y como se ha identificado en la literatura. Además, como señalan Carrascosa y Gil (1992), la mecánica es el campo de la física en el que más ideas alternativas se identifican y en el que más cuesta modificarlas. Entre las ideas más comunes en la educación secundaria se encuentran el asignar carácter antropomórfico a la fuerza, asociar la dirección de la fuerza con la dirección del movimiento o no considerar que existe rozamiento en las situaciones de reposo (Minstrell, 1982; de Pro, 2003). Además, también es frecuente identificar la fuerza de un objeto en movimiento como proporcional a dicho movimiento (Driver et al., 1994), o que todo movimiento implica una causa, la fuerza o la gravedad, siendo la fuerza la que inicia el movimiento (Mora y Herrera, 2009). Otra idea alternativa a resaltar es la de que, en ausencia de fuerza, todo objeto permanece en reposo o que cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, ésta lo único que hace es sostener el objeto, evitando a éste se mueva (Halloun y Hestenes, 1985).

Debido a la prevalencia de estas ideas, como señalan Mora y Herrera (2009), los alumnos terminan sus cursos sin lograr una apropiada comprensión y manejo de los principios y conceptos fundamentales de la física. Por ello, el estudio de las ideas previas que tiene el alumnado es muy importante para diseñar estrategias de enseñanza – aprendizaje con las que los estudiantes realmente com-

prendan los conceptos de la física y que los usen de manera adecuada. Debido a esto, Carrascosa y Gil (1992) recomiendan plantear situaciones problemáticas para construir los conocimientos sobre las ideas centrales de la mecánica newtoniana. Otros autores proponen utilizar problemas abiertos para investigar una vez introducidas las cuestiones teóricas (Schecker y Niedderer, 1996) o abordar la enseñanza cuantitativa de la mecánica con un enfoque investigativo (Herrada-González, 2014).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos encontrados en la literatura, en este trabajo se diseña una actividad de indagación guiada sobre fuerzas y movimiento a realizar en el laboratorio, con el propósito de analizar los desempeños del alumnado a lo largo de las distintas fases del proceso de indagación.

4. Metodología

Este trabajo se enmarca en la investigación cualitativa, en particular en la estrategia del estudio de caso, entendido como “una indagación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo dentro de un contexto de la vida real” (Yin, 2003). Esta estrategia se utiliza para conocer el significado de las acciones realizadas por un individuo o grupo de individuos, en este caso un grupo de estudiantes.

Participantes y contexto

La investigación se realiza en un instituto de educación secundaria público situado en un entorno urbano. Los participantes son 23 estudiantes que cur-

san la asignatura de física y química en 4º de ESO y no están muy familiarizados con el trabajo en el laboratorio escolar ni tampoco con las actividades de indagación guiada, de manera que éstos se enfrentan a la resolución de una actividad y la puesta en práctica de determinadas destrezas a las cuales no están acostumbrados.

Diseño de la investigación

La investigación se lleva a cabo una vez abordado el tema de las fuerzas, de modo que el alumnado ya ha trabajado los contenidos a aplicar en la tarea de indagación. Cabe señalar que la fase de instrucción se ha realizado de forma tradicional, en la que el profesor explica los contenidos a trabajar y complementa sus explicaciones con la resolución de problemas numéricos.

La tarea objeto de análisis consiste en averiguar si el rozamiento es una fuerza, para lo cual deberán diseñar un dispositivo con el que poder comprobarlo. Ésta se enmarca en un contexto familiar para el alumnado del centro, en el cual se supone que son los responsables de mantenimiento de los almacenes de una empresa textil situada cercana al centro educativo y les encargan comprar un material con el que recubrir los suelos del almacén para facilitar el trabajo de los empleados ya que arrastran muchos contenedores de ropa cada día. Para ello disponen de distintos materiales y se les pide que diseñen un montaje que represente su investigación antes de comprobarlo. El guion completo de la tarea junto con las preguntas asociadas se recoge en el anexo.

La actividad se divide en tres partes: la primera se lleva a cabo de forma individual y consiste en el diseño de la indagación con el propósito de analizarlo posteriormente. Seguidamente se hará una puesta en común para establecer entre todos un diseño final.

La segunda parte se lleva a cabo de manera grupal (cinco grupos de entre tres y cuatro integrantes por grupo) y consiste en la puesta en práctica del diseño elaborado en la fase anterior, aunque cada estudiante debe tomar sus propios datos.

Por último, la tercera fase combina el trabajo en grupo que consiste en elaborar una presentación de los resultados obtenidos en la fase anterior y el trabajo individual, que consiste en establecer la conclusión de la investigación. Cabe señalar que en este artículo se examinan únicamente las producciones individuales de los estudiantes.

Instrumentos para la toma de datos y análisis

Los instrumentos para la recogida de datos se basan en las producciones escritas de los estudiantes y en la observación de las acciones y conversaciones del alumnado durante la indagación por parte de la docente (autora 1), tanto en el diseño de la misma como en la puesta en práctica.

Para el análisis de datos se utiliza el modelo de instrucción 5E (Bybee, et al., 2006), que agrupa el proceso de indagación en cinco fases: motivación (engagement), exploración, explicación, elaboración y evaluación.

Motivación: esta fase se utiliza para despertar el interés del alumnado involucrándolo en la tarea de aprendizaje. Consiste en la realización de un dibujo de la situación real que se corresponde con el problema e identificar las fuerzas que intervienen en la misma.

Exploración: está diseñada para que los estudiantes exploren cómo trasladar la situación real al contexto de laboratorio y lo plasmen en un dibujo que represente el montaje de la investigación para llevar a cabo en el laboratorio escolar, es decir, para determinar que material es el adecuado para recubrir los suelos del almacén

Explicación: se centra la atención en la explicación del procedimiento a seguir para utilizar el diseño del montaje en el contexto de laboratorio. En esta fase, los estudiantes tienen que exponer cómo van a utilizar el montaje realizado en la fase anterior, detallando lo que hacen y por qué lo hacen.

Elaboración: consiste en la realización del montaje del dispositivo de laboratorio con el cuál resolver el problema, con la correspondiente toma de datos y los cálculos, es decir el valor de la aceleración que presenta la caja, la fuerza de rozamiento y el correspondiente coeficiente de rozamiento.

Evaluación: En esta fase se evalúa el proceso realizado a través del análisis de las propuestas de solución del alumnado al problema.

5. Resultados

A continuación, se discuten los resultados relativos a los desempeños del alumnado correspondientes a la

Cuadro I

Resultados correspondientes a los desempeños del alumnado en la primera fase del Modelo de instrucción 5E

Categoría	Alumnado	Ntotal
a. Realiza un dibujo adecuado de la situación real explicando las fuerzas que actúan	A1, A2, A3, A9, A19, A21	6
b. Realiza un dibujo adecuado de la situación real sin explicar las fuerzas que actúan o sin explicarlas correctamente	A6, A13, A14, A15, A16, A17, A18	7
c. Realiza un dibujo inadecuado de la situación real	A5, A8, A10, A12, A20, A22, A23	7
d. No realiza la tarea	A4, A11	2

actividad de indagación descrita en el apartado anterior. Éstos se analizan por separado en función de cada una de las fases del modelo de instrucción 5E (Bybee et al., 2006).

Fase de motivación

En esta fase se espera que los participantes representen en sus dibujos las cuatro fuerzas que actúan en la situación objeto de estudio: la fuerza normal (N), la fuerza peso (P), la fuerza motriz realizada por el empleado al empujar la caja (F_m) y la fuerza de rozamiento en sentido contrario al movimiento (F_r). Los desempeños del alumnado se resumen en el cuadro I.

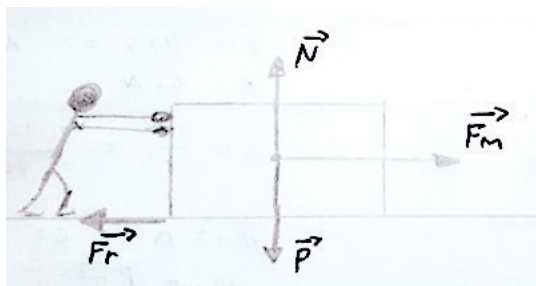
Como se describe en el cuadro I, en la categoría más adecuada (a) sólo se sitúan seis alumnos, siendo los únicos capaces de realizar un dibujo adecuado de la situación real en el que identifican las fuerzas que actúan. En la categoría b, se sitúan siete alumnos, los cuáles a pesar de haber elaborado un dibujo similar al esperado, no indican las

fuerzas que intervienen en la situación representada. Respecto a las categorías restantes, en la c se sitúan siete estudiantes, los cuales a pesar de elaborar un dibujo de la situación no lo hacen de forma adecuada, es decir la situación que describen no se ajusta con el contexto en el que se enmarca la tarea, por ejemplo, representando el montaje que se utilizaría en la situación de laboratorio y no en la real. Mientras que los dos estudiantes restantes no realizan ningún dibujo, dejando la pregunta en blanco.

A continuación, se muestran ejemplos de dibujos correspondientes a las categorías A y B.

Como se representa en la figura 1, este dibujo se considera en la categoría más elevada, en la que se representa de forma adecuada la situación real del enunciado, explicando las fuerzas que actúan y mostrando que han entendido el contexto en el que se enmarca la indagación. En ella se representa un empleado empujando una caja y se muestran las fuerzas que actúan sobre ella, colocadas y expresadas de manera

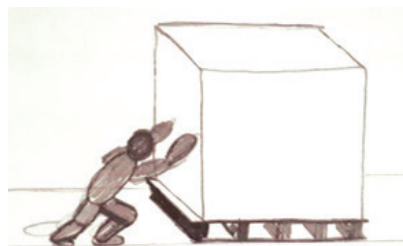
Figura 1
Dibujo categoría a



correcta. Las fuerzas que actúan son, en horizontal, la fuerza motriz a favor del movimiento realizada por el empleado que empuja la caja (F_m) y la fuerza de rozamiento (F_r) en contra del movimiento; en vertical, tenemos la fuerza normal (N), que es la fuerza que ejercen la superficie sobre la caja colocada en ella y la fuerza peso (P), que es la fuerza con la que la Tierra atrae a la caja. En la figura 2 se representa un dibujo similar a la situación anterior, pero sin identificar las fuerzas que intervienen en la misma.

En resumen, de los resultados se extrae que la mayoría de los alumnos (catorce) no realizan un dibujo de la situación real indicando las fuerzas que actúan o realizan un dibujo inadecuado, mientras que dos dejan la pregunta en blanco. Sólo cinco estudiantes de veintitrés logran realizar un dibujo adecuado de la situación real indicando las fuerzas que actúan. Esto es indicativo de las dificultades que presenta el alumnado a la hora de entender un problema situado en un contexto real identificando y representando las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento en un plano horizontal.

Figura 2
Dibujo categoría b



Fase de exploración

En esta fase los estudiantes tienen que representar mediante un dibujo el montaje que se utilizará en el laboratorio para averiguar qué superficie es la más adecuada, por ejemplo, un bloque representando la caja, arrastrado sobre la superficie objeto de estudio por una polea en la cual se cuelgan pesas de distintas masas.

Los desempeños del alumnado en esta fase se resumen en el cuadro II.

Cómo se resume en el cuadro II, sólo uno de los 23 estudiantes se sitúa en la categoría a, es decir, sólo un alumno es capaz de realizar un dibujo adecuado del montaje de la investigación que llevará a cabo, explicando cada una de las partes que lo forman, su producción se representa en la figura 3.

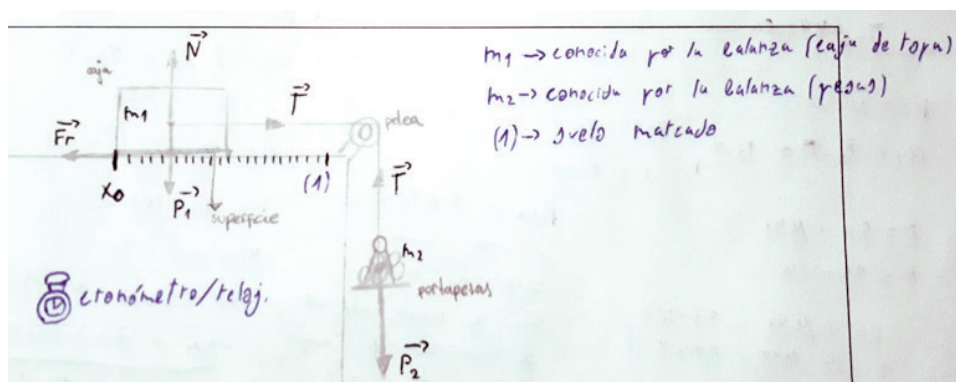
Como se describe en la figura 3, el dibujo incluye todas las variables a tener en cuenta, los datos y las fuerzas que actúan, además de los materiales necesarios como la caja, cronómetro, polea y el porta pesas. Además, el alumno incluye una leyenda explicativa de algunos de los códigos utilizados en el

Cuadro II

Resultados correspondientes a los desempeños del alumnado en la fase de exploración

Categoría	Alumnado	Ntotal
a. Realiza un dibujo adecuado del montaje de la investigación para llevar a cabo en el laboratorio, explicando cada una de las partes	A1	1
b. Realiza un dibujo adecuado del montaje de la investigación para llevar a cabo en el laboratorio, sin explicar sus partes	A2, A8, A9, A11, A15, A16, A18, A19, A21	9
c. Realiza un dibujo inadecuado del montaje de la investigación para llevar a cabo en el laboratorio	A3, A5, A6, A10, A12, A14, A17, A20, A22, A23	10
d. No realiza la tarea	A4, A7, A13	3

Figura 3
Montaje adecuado de la investigación



dibujo, como el significado de las masas m_1 y m_2 .

El resto del alumnado realiza un dibujo adecuado del montaje de la investigación, pero sin explicar cada una de sus partes ($N=9$), o bien sus dibujos no representan un montaje adecuado a la investigación propuesta ($N=10$). Además, tres alumnos no realizan el dibujo.

En resumen, más de la mitad de la clase ofrece un dibujo inadecuado o

incompleto del montaje de la investigación, siendo solo un alumno capaz de realizarlo adecuadamente explicando cada una de las partes.

Fase de explicación

En esta fase se espera que el alumnado elabore una explicación del procedimiento a seguir para averiguar el material más adecuado con el que recu-

brir los suelos del almacén. La respuesta ideal teniendo en cuenta el material y el contexto proporcionado sería: “Se debe medir la fuerza de rozamiento de un bloque al deslizarlo sobre una superficie horizontal, observar qué factores influyen en dicho movimiento y hallar el coeficiente de rozamiento. Este último depende de los tipos de superficie que estén en contacto durante el movimiento. Para ello se pesará con la balanza la masa del bloque y se medirá la distancia que este va a recorrer en las diferentes superficies. Seguidamente se colocarán pesas en el porta pesas hasta que el objeto comience a moverse por la superficie horizontal. En este momento se pone el cronometro en marcha y se mide el tiempo t que tarda en recorrer la distancia x . Se repite el proceso con las diferentes superficies. A partir de la distancia recorrida y el tiempo invertido se calcula la aceleración mediante la ecuación del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado. Una vez realizado esto, se calcula la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento en cada superficie”.

Los desempeños del alumnado en esta fase se resumen en el cuadro III.

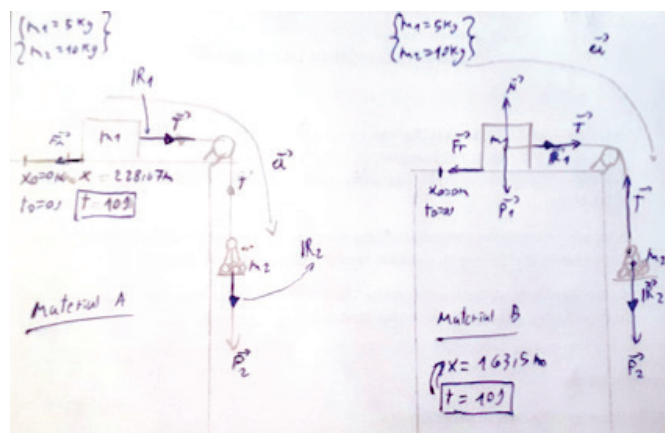
En general, ésta es una de las fases más complicadas para el alumnado, ya que un número bastante elevado de alumnos (siete) no proponen ninguna explicación sobre cómo averiguar cuál sería el mejor el mejor material, aunque tuviesen el montaje realizado. Y otros siete proponen una explicación no adecuada.

En la categoría a, se sitúan tres alumnos, los cuales explican de forma breve pero correcta como llevarían a cabo el montaje realizado en la fase anterior. Un ejemplo es el proporcionado por A9 que indica: “*Se hacen pruebas poniendo los mismos pesos en el porta pesas y poniendo como base un tipo de material. Se marca una distancia para que el objeto recorra en horizontal y se calcula el tiempo y la resistencia que oponen los materiales*”. Esta respuesta se considera como una explicación breve pero correcta porque identifica las variables a investigar. Podría ser más extensa, explicando que después de medir el tiempo que tarda en reco-

Cuadro III
Desempeños del alumnado en la fase de explicación

Categoría	Alumnado	Ntotal
a. Explica correctamente cómo va a utilizar el montaje de la investigación para seleccionar el mejor material	A9, A15, A16	3
b. Explica correctamente cómo va a utilizar el montaje de la investigación de una forma esquemática	A1, A2, A3, A8, A21, A23	6
c. No realiza una correcta explicación de cómo va a utilizar el montaje de la investigación para seleccionar el mejor material	A4, A7, A10, A12, A18, A20, A22	7
d. No propone ninguna explicación	A5, A6, A11, A13, A14, A17, A19	7

Figura 4
Explicación correspondiente a la categoría b



rrer la distancia x tendría que calcular la aceleración mediante la ecuación del movimiento del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) y que una vez se tenga calculada la aceleración tendría que calcular la fuerza de rozamiento y el coeficiente de rozamiento en la superficie.

En cuanto a la categoría b, seis alumnos explican correctamente cómo van a realizar el montaje, pero de forma más esquemática, como se ilustra en la figura 4.

En la explicación descrita en la figura 4 se observa cómo el estudiante entiende lo que tiene que realizar, dando un valor aleatorio a la distancia a recorrer y al tiempo que tardará en recorrerla, pero sin argumentarlo de forma adecuada. Del dibujo se observa que este alumno está habituado a representar situaciones físicas de forma adecuada y a realizar cálculos, pero no está acostumbrado a explicar detalladamente

por escrito el significado de la simbología utilizada.

Del resto de estudiantes, siete proporcionan una explicación inadecuada y otros siete no responden a la pregunta.

En definitiva, ésta es una fase complicada para los estudiantes por falta de práctica en actividades de este estilo. Sólo ocho alumnos de veintitrés, unos en mejor medida que otros, han logrado explicar cómo podrían obtener el valor del coeficiente de rozamiento de cada superficie. Este resultado poco satisfactorio puede estar motivado por la dificultad del contenido científico a trabajar y el carácter abstracto del mismo para los estudiantes, así como su falta de experiencia en aplicar el conocimiento científico de forma práctica, ya que para poder elaborar una explicación adecuada es necesario tener buen conocimiento del tema y en este caso los estudiantes se enfrentaban a estos contenidos por primera vez al igual que a la resolución de una actividad de indagación.

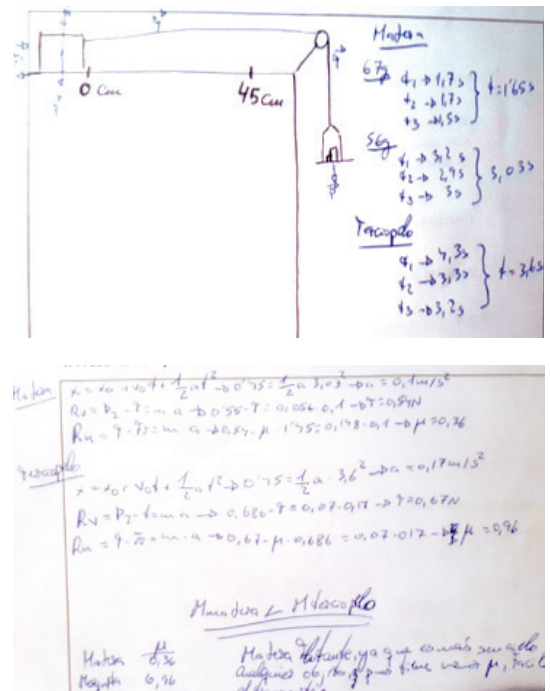
Fase de elaboración

En esta fase el alumnado debe poner en práctica el montaje diseñado para tomar los datos correspondientes a la masa del bloque utilizado para simular la caja de ropa, la distancia a recorrer por el bloque y el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia. A partir de esos datos deben realizar los cálculos correspondientes para determinar la fuerza y los coeficientes de rozamiento de todos los materiales objeto de estudio. Los desempeños relativos a esta fase se resumen en el cuadro IV.

En la categoría a se sitúan nueve alumnos, los cuáles han realizado adecuadamente la toma de datos, es decir, han pesado la caja con la que se lleva a cabo el montaje, han medido la distancia que va a recorrer dicho bloque y han medido el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia, realizando correctamente los cálculos para determinar qué material es el adecuado.

En la categoría b se sitúan siete alumnos, los cuales han realizado bien la ejecución del montaje en el laboratorio y la

Figura 5
Toma de datos y cálculos en la fase de elaboración



Cuadro IV
Desempeños del alumnado en la fase de elaboración

Categoría	Alumnado	Ntotal
a. Ejecuta de forma adecuada el modelo de la investigación en el laboratorio, realizando correctamente la toma de datos y cálculos correspondientes	A1, A2, A4, A6, A10, A11, A13, A15, A18	9
b. Ejecuta de forma adecuada el modelo de la investigación en el laboratorio, realizando correctamente la toma de datos sin realizar los cálculos correspondientes	A3, A5, A9, A12, A14, A19, A21	7
c. Ejecuta de forma adecuada el modelo de la investigación en el laboratorio, pero no realiza la toma de datos	A7, A8, A16, A17, A20, A22, A23	7

toma de datos correspondiente, pero no han sabido llegar al cálculo de la fuerza de rozamiento. Por último en la categoría c se sitúan también siete alumnos, los cuales solamente realizan el montaje y llevan a cabo la práctica en el laboratorio, pero no toman datos de lo que iban realizando. Un ejemplo correspondiente a la categoría a se ilustra en la figura 5.

Como se describe en la figura 5, este estudiante utiliza la ecuación del MRUA para calcular la aceleración que lleva el bloque y posteriormente halla fuerza y coeficiente de rozamiento.

En esta fase, a diferencia de las anteriores, todos los estudiantes realizan la tarea, es decir, no se identifican alumnos o alumnas que no hayan ejecutado el modelo de la investigación, aun cuando no lo representan, en las fases anteriores. Por ejemplo, A13, ejecuta el modelo de forma adecuada y realiza los cálculos correspondientes, pero no elabora el dibujo del montaje ni la explicación de cómo utilizarlo (procedimiento). Este hecho podría explicarse en base al conocimiento o experiencia en la resolución de actividades experimentales que

implican cálculos, pero no a la representación y diseño de investigaciones previo a la experimentación.

Fase de evaluación

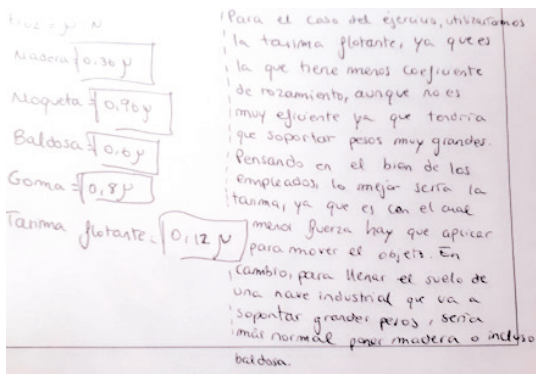
En esta fase los estudiantes tienen que interpretar los datos obtenidos y establecer una conclusión justificada para dar respuesta a la cuestión investigada. Un ejemplo de conclusión bien justificada en base a los datos empíricos sería: “El mejor material para recubrir los suelos del almacén es la tarima flotante ya que presenta un menor coeficiente de rozamiento que el resto de materiales evaluados y por tanto permite el deslizamiento de las cajas de forma más fácil”. Los desempeños del alumnado en esta fase se resumen en el cuadro V.

Como se describe en el cuadro V, son 16 los alumnos que se incluyen dentro de la categoría más adecuada (a), los cuales explican justificadamente qué superficie es la más adecuada en base a los datos empíricos recogidos en la fase de elaboración. Un ejemplo de respuesta para esta categoría se ilustra en la figura 6.

Cuadro V
Desempeños del alumnado
en la fase de evaluación

Categoría	Alumnado	Ntotal
a. Comunica los resultados explicando de forma justificada qué superficie es la adecuada	A1, A2, A3, A4, A9, A10, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A18, A20, A22, A23	16
b. Comunica los resultados, pero sin justificarlos de forma adecuada	A5, A6, A8	3
c. No comunica correctamente los resultados	A7, A14, A19, A21	4

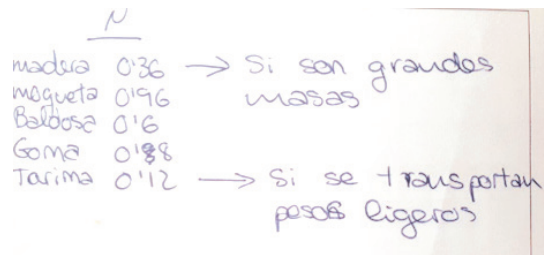
Figura 6
Respuesta correspondiente
a la categoría a



Como se ilustra en la figura 6, la respuesta incluye los coeficientes de rozamiento puestos en común previamente en el aula por cada grupo, justificando de forma adecuada qué material usarían para recubrir el suelo del almacén. Además, este alumno indica que el material más adecuado sería la tarima flotante, justificándolo en base a su menor coeficiente de rozamiento. Además, tiene también en cuenta la influencia de la masa en la eficiencia del material, aunque la confunde con el peso.

En la categoría b se sitúan tres alumnos, en cuyas respuestas también proporcionan los coeficientes de rozamiento, pero la explicación es muy sencilla con escasa argumentación sobre la selección de un material y otro, siendo poco comprensible. Un ejemplo de respuesta se recoge en la figura 7, en la cual solo se incluye los coeficientes de rozamiento de cada superficie indicando cual sería el mejor material en función de la masa pero elaborar una conclusión justificada.

Figura 7
Respuesta correspondiente a la
categoría b



Por último, en la categoría c se sitúan cuatro alumnos, los cuales no han explicado correctamente la justificación a qué material sería el adecuado. “Emplearía la madera porque tiene menos fuerza de rozamiento. Por lo tanto, es más fácil mover el objeto y no se rompe tan fácilmente”. Como se puede observar, esta explicación no es adecuada, ya que la madera, como se indica en los datos que proporciona, no es el material que menos fuerza de rozamiento ejerce.

En resumen, la mayoría de los alumnos logran dar una explicación correcta al problema que se les plantea en la actividad siendo capaces de interpretar los datos obtenidos. Son sólo tres los alumnos que no dan una explicación coherente al problema los cuáles se incluyen en la categoría d.

A nivel general, analizando los resultados obtenidos, puede observarse como la tercera fase del modelo 5E, la fase de explicación, es la que más les ha costado a los estudiantes y por ello puede ser un indicador de la falta de experiencia en realizar actividades en las que deben elaborar una conclusión argumentada en base a pruebas empíricas o diseñar

el procedimiento a seguir en una investigación.

Esto coincide con los resultados obtenidos por Herrada-González (2014) quienes señalan las dificultades que presenta el alumnado a la hora de realizar actividades experimentales, en particular para identificar qué medir y cómo medirlo, o también para seguir un procedimiento secuencial, sin tener un guion explícito de qué hacer y cuándo hacerlo.

En la cuarta y quinta fase del modelo, se identifican los mejores desempeños del alumnado, probablemente porque están más habituados a realizarlas. Mientras que la segunda fase, de exploración, es la más complicada para ellos, siendo mayor el número de alumnos que no realizan adecuadamente el dibujo o dejan la pregunta en blanco que aquéllos que son capaces de dibujar el montaje adecuado (14 frente a 9). Estos resultados ponen de manifiesto que el alumnado presenta dificultades para resolver actividades de indagación si no está acostumbrado a realizar este tipo de tareas. Para ello este modelo de instrucción permite estructurar el proceso de indagación, facilitando la resolución de este tipo de tareas al alumnado, especialmente cuando no están habituados a realizarlas.

6. Conclusiones e implicaciones educativas

La enseñanza y aprendizaje de las fuerzas es un contenido fundamental de la física y se aborda en todos los cursos de la educación secundaria. Debido a las dificultades que implica su apren-

dizaje para el alumnado, una forma de facilitar su comprensión es a través de la experimentación. Para ello, las actividades de indagación constituyen un recurso idóneo, ya que permiten poner en práctica el conocimiento teórico para resolver un problema práctico.

En este trabajo se examina el proceso de familiarización del alumnado de secundaria con la resolución de una actividad de indagación sobre la fuerza de rozamiento en el laboratorio a través del modelo de instrucción 5E (Bybee et al., 2006).

Los resultados obtenidos apuntan a las dificultades de los estudiantes en ciertas operaciones de la práctica científica de indagación. Por ello, analizando los resultados por separado, se observa que el alumnado presenta más dificultades en algunas fases que en otras. Es el caso de las fases de exploración y explicación, en las cuáles el número de estudiantes que no resuelven la tarea de forma adecuada o no realizan la tarea es elevado. Esto coincide en parte con otros estudios realizados como el de Enugu y Hokayen (2017) quienes identifican la fase de explicación como una de las más complicadas.

En cuanto, a las fases de motivación, elaboración y evaluación los resultados, aunque mejorables, son más satisfactorios, ya que el 60% de los desempeños del alumnado se sitúan en categorías adecuadas o intermedias.

Estas dificultades que presentan los estudiantes podrían mejorarse realizando la actividad con más tiempo, utilizando más recursos y con más experiencia en realizar actividades de indagación por parte de la docente. También,

es muy importante realizar habitualmente actividades experimentales en el laboratorio escolar y actividades de este estilo, ya que, en este caso, es la primera vez que acuden al laboratorio de física, lo cual se hace patente en algunos de los resultados discutidos.

En general, el problema de muchas actividades de indagación es que no se relacionan con el conocimiento teórico necesario para llevar a cabo la indagación y se centran solamente en las destrezas (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2015), por tanto, se sugiere combinar ambas cuestiones, como se ha propuesto en este estudio. Al igual que señalan otros autores (e. g. Mora y Herrera, 2009; Herrada-González, 2014) el aprendizaje de las fuerzas a través de actividades de indagación en el laboratorio escolar, permite la aplicación de los contenidos en situaciones de la vida cotidiana, lo cual contribuye a superar algunas de las dificultades señaladas en la literatura.

Para concluir, como implicaciones educativas más relevantes de esta investigación, se considera que la realización de tareas de este estilo, que requieren la aplicación del conocimiento para resolver un problema práctico, se deben ir incorporando poco a poco a la enseñanza y sustituyéndolas por las actividades de tipo receta. Para ello el modelo de instrucción utilizado es una buena herramienta, ya que permite estructurar el proceso de indagación de forma ordenada, especialmente cuando los participantes (profesorado y alumnado) no tienen experiencia en realizar este tipo de tareas en el aula, lo cual constituye un puente entre las activida-

des receta totalmente dirigidas y las de indagación más abiertas.

Además, cabe señalar que los estudiantes nunca se habían enfrentado en toda su etapa de secundaria a la resolución de una actividad de este estilo, por lo que, para ellos resultó una actividad compleja, lo cual pone de manifiesto la necesidad de utilizar el enfoque de indagación en el aula de forma más habitual, con el propósito de conseguir que al final de la educación secundaria obligatoria el alumnado esté familiarizado con esta práctica y se obtengan resultados de aprendizaje más adecuados.

7. Referencias bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F., BOUJAOUDE, S., DUSCHL, R., LEDERMAN, N. G., MAMLOK-NAAMAN, R., HOFSTEIN, A., NIAZ, M., TREAGUST, D., y TUAN, H-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science education*, 88(3), 397-419. DOI: 10.1002/sc.10118

ALÇISI, S., YALÇIN, S. A., y TURGUT, U. (2011). Effects of the 5E learning model on students' academic achievements in movement and force issues. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2459-2462. DOI:10.1016/j.sbspro.2011.04.128

ARTIGUE, M., DILLON, J., HARLEN, W., y LÉNA, P. (2012). *Learning through Inquiry: Background Resources for implementing Inquiry in Science and Mathematics at School*. Francia: Proyecto Fibonacci

ARTUM, H., y ÇOSTU, B. (2013). Effect of the 5E Model on Prospective

Teachers' Conceptual Understanding of Diffusion and Osmosis: A Mixed Method Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 1-10. DOI: 10.1007/s10956-012-9371-2.

BYBEE, R. W., TAYLOR, J. A., GARDNER, A., VAN SCOTTER, P., POWELL, J. C., WESTBROOK, A., y LANDES, N. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. *Colorado Springs, Co: BSCS*.

CAAMAÑO ROS, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula?: los trabajos prácticos investigativos. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 18(70), 83-91.

CAPPS, D. K., CRAWFORD, B. A., y CONSTAS, M. A. (2012). A review of empirical literature on inquiry professional development: alignment with best practices and a critique of the findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 291-318. DOI: 10.1007/s10972-012-9275-2.

CARRASCOSA, J., y GIL PÉREZ, D. (1992), Concepciones alternativas en Mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 314-328.

CEPNI, S., y SAHIN, Ç. (2012). Effect of Different Teaching Methods and Techniques Embedded in the 5E Instructional Model on Students' Learning about Buoyancy Force. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 4(2), 97-127.

CRUJEIRAS, B. y JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2012a). Competencia como aplicación de conocimientos científicos en el laboratorio: ¿cómo evitar que se oscurezcan las manzanas? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (70), 19-26.

CRUJEIRAS, B. y JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2012b). Participar en las prácticas científicas: aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pastas de dientes. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, (72), 12-19.

CRUJEIRAS PÉREZ, B. y JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33 (1), 63-84.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, L. y CRUJEIRAS PÉREZ, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 143-160.

DE JONG, T., y VAN JOOLINGEN, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. DOI: 10.3102/00346543068002179

DE PRO BUENO, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la física. En M. P. Jiménez Aleixandre (coord.). *Enseñar Ciencias*. Barcelona: Graó. (pp.175-202).

DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P., y WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary science-research into children's ideas*. London: Routledge.

DUSCHL, R. A., y GRANDY, R. E. (Eds.) (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research*

and Implementation. Rotterdam: Sense Publishers.

ENUGU, R., y HOKAYEM, H. (2017). Challenges pre-service teachers face when implementing a 5E inquiry model of instruction. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 178-209.

ERGIN, I. (2012). Constructivist approach based 5E model and usability instructional physics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 14-20.

HALLOUN, I. A., y HESTENES, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065. DOI: 10.1119/1.14031

HERRADA-GONZÁLEZ, F. (2014) Propuesta didáctica para la enseñanza aprendizaje de los

conceptos de fuerza y movimiento para los estudiantes de grado décimo del IPARM. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. y CRUJEIRAS-PÉREZ, B. (2017). Epistemic practices and Scientific practices in Science Education. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.). *Science Education-an International Course Companion* (pp. 69-80). The Netherlands: Sense Publishers.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2012). Las prácticas científicas en la investigación y en la clase de ciencias. Conferencia plenaria en los XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Santiago de Compostela, 5-7 de septiembre de 2012.

KESELMAN, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normati-

ve understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 898-921. DOI: 10.1002/tea.10115

MINSTRELL, J. (1982). Explaining the at rest condition of an object. *Physics Teacher*, 20, 10-23.

MORA, C., y HERRERA, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Revista Latinoamericana de Física Educativa*, 3(1), 72-86.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.

OSBORNE, J., y DILLON, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. London: The Nuffield Foundation. <http://www.nuffieldfoundation.org/science-education-europe>

PEDASTE, M., MÄEOTS, M., LEIJEN, Ä., y SARAPUU, T. (2012). Improving Students' Inquiry Skills through Reflection and Self-Regulation Scaffolds. *Technology, Instruction, Cognition & Learning*, 9

PEDASTE, M., y SARAPUU, T. (2006). Developing an effective support system for inquiry learning in a Web-based environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(1), 47-62. DOI: 10.1111/j.1365-2729.2006.00159.x

SCHECKER, H., y NIEDDERER, H. (1996). Contrastive teaching: A strategy to promote qualitative conceptual understanding of Science. En D. Treagust, R. Duit y B. Fraser (Eds.). *Improving teaching and learning in Science and Mathematics* (pp. 141-151). New York: Teachers College Press.

WILHELM, P., y BEISHUIZEN, J. J. (2003). Content effects in self-directed inductive learning. *Learning and Instruction*, 13(4), 381-402. DOI: 10.1016/S0959-4752(02)00013-0

WINDSCHITL, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science education*, 87(1), 112-143. DOI: 10.1002/sce.10044

YIN, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods* (3ª Edición). California: Sage Publications.

Anexo.

Contexto de la tarea proporcionado a los estudiantes

Imagina que trabajas para una empresa como responsable de mantenimiento de sus almacenes y te encargan comprar un material con el que recubrir los suelos para facilitar el trabajo a sus empleados de almacén, quienes arrastran muchas cajas de ropa al día.

Para ello te pones en contacto con un proveedor y te ofrece los siguientes materiales: baldosa, madera, moqueta, goma, tarima flotante.

OJO: Como punto de partida para realizar la investigación cuentas con una polea, varias pesas de masas conocidas y una balanza.

Para investigar la cuestión tienes que:

1. Realizar un dibujo de la situación real
2. Realizar un dibujo del montaje de la investigación para llevar a cabo en el laboratorio
3. Explicar cómo vas a utilizar ese montaje (dibujo) para seleccionar el mejor material
4. Poner en práctica el montaje.
5. Presentar y comunicar los resultados.

