



MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO EN
EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y BACHI-
LLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL, ENSEÑANZAS
DE IDIOMAS Y ENSEÑANZAS ARTÍSTICAS

UNIVERSIDAD DE
MURCIA



Propuesta de actividades *Predecir, Observar y Explicar (POE)* para la reelaboración de ideas preconcebidas sobre la ley de inercia en 4.º ESO

Trabajo Fin de Máster
Convocatoria
Junio 2024

Ana María Zamora Vinaroz
DNI: 48734587-W

Tutor:
D. Rafael García Molina

Línea del TFM: Recursos prácticos
para la enseñanza-aprendizaje de la Física

Curso académico: 2023/2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL TRABAJO FIN MÁSTER

D./D.ª Ana María Zamora Vinaroz, con DNI _48734587W_, declaro que el Trabajo Fin de Máster presentado en la asignatura del mismo nombre conducente a obtener el Título de Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional, Enseñanzas de Idiomas y Enseñanzas Artísticas es un trabajo original mío, así como que su elaboración es consecuencia de mi trabajo personal.

Para que conste a efectos de la evaluación de mi Trabajo Fin de Máster, firmo el presente documento en

Murcia, a ...31... demayo de 2024...

Fdo: Ana María Zamora Vinaroz

Índice

Resumen	v
Abstract	vi
Origen y justificación de la investigación	1
Objetivos de este trabajo	2
Fundamentos teóricos y revisión de la literatura	2
Estrategia Predecir, Observar y Explicar (POE)	2
Force Concept Inventory (FCI)	3
Información sobre las dificultades de aprendizaje e ideas previas	4
Presencia en el currículo LOMLOE	5
Física y Química	5
“Proyectos de investigación: Investigación científica e innovación tecnológica”	6
Metodología de la investigación	7
Plan de actuación	7
Información sobre los participantes y el contexto	8
Diseño de las experiencias prácticas	10
Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato	10
Actividad 2. El anillo conductor de camiones	11
Actividad 3. La pelota voladora	12
Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador	12
Instrumentos de recogida de información	13
Cuestionario pretest y postest	13
Seguimiento de las actividades	15
Evaluación de la propuesta didáctica	19
Análisis de la puesta en práctica de la propuesta	19
Desarrollo de la propuesta educativa	19
Resultados de aprendizaje	21
Ítem 1: inercia en movimiento circular	24
Ítem 2: fuerzas actuando sobre un objeto en reposo	24
Ítem 3: “fuerza” debida a la inercia	25
Ítem 4.1: trayectoria según el tipo de fuerza que actúa	26
Ítem 4.2: evolución de la velocidad según el tipo de fuerza que actúa	27
Conclusiones	28
Bibliografía	30

Apéndice A. Cuestionario pretest	34
Apéndice B. Cuestionario posttest	37
Apéndice C. Tablas de datos	40
Datos del pretest	40
Datos personales.....	40
Información sobre Física y Química.....	40
Cuestionario sobre fuerzas.....	44
Datos del seguimiento de la puesta en práctica de la secuencia.....	46
Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato.....	46
Actividad 2. El anillo conductor de camiones	46
Actividad 3. La pelota voladora	47
Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador.....	48
Datos del postest.....	50
Cuestionario sobre fuerzas.....	50
Impresiones sobre la actividad.....	51

Resumen

En este trabajo se propone una secuencia de actividades basadas en la estrategia Predecir, Observar y Explicar (POE) para reelaborar ideas preconcebidas acerca de la primera ley de Newton en estudiantes de 4.º ESO. Se proponen cuatro demostraciones, diseñadas según el currículum LOMLOE para trabajar las ideas preconcebidas más comunes en la bibliografía y algunas dificultades de aprendizaje procedimentales, además de promover la motivación, la competencia digital y el aprendizaje significativo.

Dicha propuesta se aplica a un grupo de estudiantes del nivel educativo al que se dirige y se evalúa mediante un cuestionario pretest y otro posttest, que se usan para calcular la ganancia normalizada promedio de cada participante y su valor grupal. Se encuentra que la mayor parte de los estudiantes adquiere un grado de aprendizaje intermedio, siendo el promedio del grupo de un 29 %. Además, solo una de las ideas previas, la existencia de una fuerza debida a la inercia que se disipa con el movimiento, no parece haber mejorado con las demostraciones, lo que lleva a confirmar que esta secuencia de enseñanza es, en general, adecuada para el propósito que se creó.

Palabras clave: Educación secundaria, POE, inercia, aprendizaje significativo.

Abstract

In this work, a sequence of activities based on the *Predict, Observe and Explain (POE)* strategy is proposed to correct misconceptions about Newton's first law in 4th ESO students. Four demonstration activities are presented, whose design is made according to the LOMLOE curriculum. Their aim is to work on the most common misconceptions of the literature and some procedural learning difficulties, as well as to promote motivation, digital competence, and meaningful learning.

This proposal is applied to a group of students of the educational level previously mentioned and is evaluated through a pretest and a posttest questionnaire, which are used to calculate the average normalized gain, both for each student and for the whole group. It is found that most of the students acquire an intermediate level of learning, with the group average being 29%. Furthermore, only one of the misconceptions, the existence of a force which dissipates due to inertia, does not seem to have improved with the demonstrations, leading to confirm that this teaching sequence is, in general, suitable for the purpose for which it was created.

Keywords: Secondary education, POE, inertia, significant learning.

Origen y justificación de la investigación

La ciencia escolar y, específicamente, la física que se enseña en la educación secundaria, tienen un carácter profundamente fenomenológico. Esto, unido a la importancia de lograr un aprendizaje significativo por parte de los estudiantes hace que los docentes deban buscar recursos didácticos que motiven y capten la atención de los alumnos (Caamaño, 1992). Entre estos recursos están los trabajos prácticos. Si se tiene en cuenta la clasificación presentada por Caamaño (2003), los trabajos prácticos en un aula de educación secundaria pueden ser:

- Experiencias, cuya finalidad es puramente perceptiva.
- Experimentos ilustrativos, que buscan ilustrar una relación entre variables o un cierto fenómeno.
- Investigaciones, con las que el alumno puede experimentar en primera persona el trabajo científico e indagar sobre un cierto fenómeno.
- Ejercicios prácticos, que poseen un objetivo orientado. Según el propósito al que estén destinados, estos pueden ser muy diferentes: ejercicios para ilustrar de manera dirigida la teoría ya conocida o para aprender procedimientos y destrezas, ya sean prácticas, intelectuales o de comunicación.

De todas estas actividades, las más asociadas a la enseñanza de la física y la química suelen ser los ejercicios prácticos. Concretamente, aquellos relacionados con las prácticas de laboratorio. A pesar de que son utilizadas en bastantes centros educativos para la enseñanza de la química, se suele prescindir de ellas a la hora de impartir el temario de física. Esta decisión se suele justificar con la falta de tiempo para organizar estas actividades o con la falta de recursos materiales.

Como estudiante egresada del Grado en Física, considero que es de vital importancia mostrar el lado experimental de esta disciplina por diversos motivos. Por un lado, las experiencias prácticas son más motivadoras para el alumnado que otras actividades, como la resolución mecánica de ejercicios, lo que fomenta una mayor implicación por su parte y favorece el logro de mejores resultados.

Por otro lado, este tipo de experiencias son imprescindibles para desarrollar la vocación por las ciencias. Desde mi experiencia personal como estudiante de Secundaria a mediados de la década pasada, puedo decir que este tipo de actividades eran muy ocasionales, apareciendo exclusivamente en una asignatura llamada *Ampliación y profundización en Física y Química*. Dicha asignatura, junto con experiencias en campamentos de verano, fueron claves a la hora de tomar la decisión de dedicar mi vida a esta disciplina.

Es más, las experiencias prácticas pueden ser un recurso muy útil para evitar que los problemas de comprensión lectora recientemente detectados en los informes PISA 2022 (Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2023) afecten al aprendizaje de las ciencias, cuyos resultados estaban en la media de la OCDE y la Unión Europea. Pero también son de importancia por otras razones, como la mejor comprensión de los conceptos, el conocimiento vivencial de los fenómenos estudiados, el contraste de hipótesis formuladas durante el aprendizaje, el manejo de instrumentos de medida o el desarrollo de actitudes científicas, como el orden, la limpieza y el trabajo en equipo, entre otros (Caamaño, 2003).

En vista de todo lo anteriormente mencionado, es necesario incluir este tipo de actividades en el aula. Para hacer frente a las posibles dificultades relacionadas con los recursos, se puede plantear el uso de otro tipo de trabajos prácticos, como las experiencias ilustrativas o demostrativas, realizadas como experiencias de cátedra que utilicen recursos de bajo coste (Marulanda y Gómez, 2006). De esta manera, el profesor realiza el experimento mientras los alumnos observan lo que ocurre, para resolver una serie de cuestiones, lo que reduce

considerablemente la cantidad de materiales a utilizar. Sin embargo, para que este tipo de demostraciones sean efectivas de cara al aprendizaje significativo, requieren ir más allá de la demostración, fomentando la participación de los estudiantes en esta (Crouch et al., 2004). Esto implica hacer pensar a los alumnos, por ejemplo, promoviendo la formulación de hipótesis o predicciones y conclusiones tras observar un cierto fenómeno, lo que se trabaja mediante las actividades *Predecir, Observar y Explicar (POE)* (Gunstone et al., 1992). Esta es la razón por la que se escoge este tipo de estrategia para realizar este trabajo, ya que se busca que las actividades propuestas puedan ser aplicables en cualquier centro educativo con independencia de los recursos disponibles.

Por otra parte, es necesario escoger una cierta temática sobre la que diseñar la propuesta. De entre las diversas ramas de la física, las más trabajadas en la educación secundaria son el movimiento y las fuerzas. Sin embargo, y a pesar del amplio tratamiento que se realiza en torno a estos temas, los alumnos muestran ideas preconcebidas incluso a nivel universitario (Budini et al., 2019; Chrysostomou et al., 2021). Por tanto, es de vital importancia atacar esas ideas previas desde la educación secundaria. Para que la reelaboración de las ideas preconcebidas sea efectiva, se deben abordar primero aquellas que estén más arraigadas, y luego continuar con las que menos lo estén. De esta manera, se garantiza una construcción adecuada del conocimiento.

Al ser la primera ley de Newton o ley de inercia la primera de las leyes de Newton que se estudia, y al estar tan relacionada con el movimiento, se ha decidido centrar esta investigación en trabajar las ideas preconcebidas sobre este tema. Para llevar a cabo el diseño y la puesta en práctica de este trabajo se tienen en cuenta aspectos didácticos como las dificultades de aprendizaje o el desarrollo de competencias clave marcado por la LOMLOE, todo para garantizar que estas actividades sean de utilidad e interés para el alumnado.

Objetivos de este trabajo

Como se ha mencionado en la sección anterior, esta investigación está enfocada a la reelaboración de las ideas previas acerca de las fuerzas que tienen los estudiantes de educación secundaria. Entre los objetivos a abarcar en este trabajo se hallan los siguientes:

- Presentar una propuesta de enseñanza basada en la metodología *POE*, para reelaborar conocimientos acerca de la primera ley de Newton en estudiantes de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria.
- Aplicar y evaluar dicha propuesta de actividades concretas, llevándola a la práctica con alumnos del nivel educativo al que va dirigida.

Fundamentos teóricos y revisión de la literatura

Para realizar este trabajo se han consultado diversas fuentes relacionadas con los diferentes tópicos requeridos en el diseño y la puesta en práctica de la propuesta de actividades. A continuación, se presenta un resumen de la información consultada en dichas referencias.

Estrategia *Predecir, Observar y Explicar (POE)*

Esta estrategia de enseñanza proviene de la antigua *Demonstrate, Observe and Explain (DOE)*, propuesta por Champagne et al. (1980) para abordar el estudio de las ideas de los estudiantes universitarios en relación con la mecánica, esto es, a las fuerzas y el movimiento. Este tipo de secuencia consistía en que un instructor realizaba diversas demostraciones, mientras que los alumnos anotaban sus observaciones, respondiendo varias preguntas sobre el movimiento de los objetos y aportando justificaciones a sus respuestas. La secuencia anterior fue modificada por Gunstone y White (1981), distinguiendo inicialmente entre las fases

Predecir, Demostrar, Observar y Explicar, y finalmente estableciendo la versión actual de la estrategia: *Predecir, Observar y Explicar (POE)* (Gunstone et al., 1992).

La estrategia POE propone medir la comprensión de un fenómeno mediante la realización de tres tareas por parte de los estudiantes. Lo primero que deben realizar es predecir qué ocurrirá antes de presenciar un cierto fenómeno (White y Gunstone, 1992), ya que esto facilita su atención en el siguiente paso. A continuación, los estudiantes observan el fenómeno para el cual han realizado la predicción, lo describen e intentan poner en común su predicción con las observaciones realizadas. El propósito de las distintas actividades que engloban esta estrategia de enseñanza va más allá de la simple aplicación del conocimiento por parte de los estudiantes, sino que implica que ellos piensen y razonen sobre un cierto tema, al tener que responder a preguntas directas sobre el fenómeno ilustrado. Con esto, se está fomentando el espíritu crítico, sobre todo, si se tiene en cuenta que en muchas ocasiones estas actividades presentan experimentos discrepantes,¹ donde los estudiantes tienen que decidir qué razonamiento y conocimientos de la física pueden aplicar. Otros objetivos que se pueden perseguir con las actividades POE son (Joyce, 2006):

- Hacer que los alumnos tomen conciencia de sus propias ideas sobre un tema; así como que construyan nuevos conceptos a partir de la observación y de escuchar las explicaciones de otros compañeros.
- Ofrecer a los docentes una herramienta para conocer las ideas preconcebidas de los estudiantes, realizar un seguimiento constante de la evolución de su aprendizaje y orientar la explicación del tema teniendo esta información en cuenta.
- Motivar el aprendizaje de los alumnos, al generar curiosidad sobre si sus predicciones y explicaciones se corresponden con la realidad y la ciencia, respectivamente.

Estas actividades se pueden plantear como experimentos cuantitativos a realizar por los alumnos con la supervisión del profesor, o aplicarse a otras disciplinas diferentes de la física (White y Gunstone, 1992). Sin embargo, y debido al carácter secularizador de esta propuesta, las actividades diseñadas en este trabajo se enfocan desde el punto de vista de experiencias de cátedra, realizadas por el docente con la atención plena y la participación constante del alumnado (Vázquez Dorrió et al., 1994).

Por último, hay que considerar las limitaciones de esta estrategia. La mayor parte de estas aparecen al realizar este tipo de actividades con alumnos de corta edad, por su dificultad para redactar sus predicciones o para razonar su explicación. Sin embargo, hay otras que pueden afectar a cualquier grupo de estudiantes, como un intento de buscar el truco en lugar de razonar una explicación si se abusa de estas demostraciones o una mayor facilidad de aprendizaje cuando se utilizan experiencias que confirman las predicciones de los estudiantes (Joyce, 2006), y que se deben tener en cuenta para que la secuencia diseñada sea adecuada para la construcción del conocimiento de los participantes.

Force Concept Inventory (FCI)

Para evaluar la propuesta diseñada en este trabajo, se requiere el uso de algún instrumento de recogida de información. La elección más común es un cuestionario, ya que este instrumento se puede construir a partir de otros que hayan sido previamente validados por autoridades competentes. Por ello, en esta investigación se va a utilizar un cuestionario, tanto antes de realizar la actividad (pretest), como después de esta (postest).

¹ Aquellos experimentos en los que el resultado es el contrario al que cabría esperar.

Para llevar a cabo esta tarea, se pueden utilizar diversos cuestionarios validados, relacionados con los conocimientos sobre la física y, en particular, sobre la *física newtoniana* (dinámica y movimiento). Sin embargo, el padre de todos ellos es el *Force Concept Inventory* (Hestenes et al., 1992; Hestenes y Halloun, 1995), muy utilizado, tanto a nivel universitario o preuniversitario (Budini et al., 2019; Chrysostomou et al., 2021, 2024) como en la educación secundaria (Badruldin y Alias, 2022; Fulmer, 2015). Su éxito se debe a que permite conocer el grado de conocimiento de los estudiantes sobre las temáticas anteriormente mencionadas al mismo tiempo que se registran sus ideas previas.

Este cuestionario está formado por 30 preguntas de respuesta múltiple, clasificadas en seis categorías principales (Hestenes et al., 1992):

0. Cinemática.
1. Primera ley de Newton.
2. Segunda ley de Newton.
3. Tercera ley de Newton.
4. Principio de superposición.
5. Tipos de fuerzas, entre las que se encuentran la gravedad o la fuerza de rozamiento.

Cada una de las preguntas de dicho cuestionario presenta cinco posibles respuestas. De ellas, solo es correcta la denominada *respuesta de concepto newtoniano*, que aparece en la tabla I de Hestenes et al. (1992), junto con el conocimiento que trabaja. Por su parte, las respuestas incorrectas denotan diversas ideas preconcebidas, registradas en la tabla II de Hestenes et al. (1992) junto al concepto con el que se relacionan. Además, algunas de las respuestas incorrectas son respuestas señuelo, que se usan para evitar que los alumnos respondan al azar.

Además, el hecho de que este cuestionario mida el grado de entendimiento de la *física newtoniana* conlleva el hecho de que solamente aquellos participantes que entienden de verdad los conceptos sean capaces de responder adecuadamente a las preguntas, lo que puede conducir a resultados inferiores a los esperados y ser utilizado para distinguir entre estudiantes de matrícula y estudiantes de sobresaliente (Hestenes y Halloun, 1995).

Por último, hay que destacar el hecho de que este cuestionario ha sido sometido a diversas evaluaciones para valorar su fiabilidad y su sensibilidad al contexto (Stewart et al., 2007), obteniendo buenos resultados.

Información sobre las dificultades de aprendizaje e ideas previas

Existen diversos estudios acerca de las dificultades que tienen los estudiantes a la hora de aprender los conceptos relacionados con las fuerzas (Institute of Physics, 2024; Mora y Herrera, 2009; Sadanand y Kess, 1990; Stepan, 2006). Estas dificultades de aprendizaje se suelen clasificar en dificultades conceptuales y dificultades procedimentales.

Gran parte de los estudios de este campo coinciden en que las dificultades conceptuales se deben a las ideas previas de los estudiantes. A continuación, se presenta una síntesis de las ideas previas o concepciones alternativas de los estudiantes de Secundaria que están relacionadas, directa o indirectamente, con la primera ley de Newton (Institute of Physics, 2024; Mora y Herrera, 2009):

- C1. Las fuerzas son las causantes del movimiento. Esto es, si no hay fuerza no puede existir movimiento y, si hay movimiento, debe existir una fuerza actuando en la misma dirección.
- C2. Si no existe ninguna fuerza actuando sobre un objeto, este permanecerá en reposo.
- C3. El aire o la presión que este ejerce sobre los objetos es la causa de que estén en reposo.

- C4. Cuando un objeto descansa sobre una superficie, esta solo lo sujeta para que no se mueva. O lo que es lo mismo, la superficie no realiza fuerza sobre el objeto.
- C5. Los obstáculos pueden redireccionar los objetos o frenarlos, pero no ejercen fuerzas sobre ellos.
- C6. Los objetos tienden a caer libremente hacia abajo, no hay fuerzas actuando sobre ellos en ese caso. Por tanto, un objeto que se suelta y se deja caer no sufre ninguna fuerza.
- C7. La fuerza es algo propio de los cuerpos animados, que se consume y se disipa durante el movimiento.
- C8. Para mantener un cuerpo moviéndose a velocidad constante se requiere una fuerza constante.

De entre las dificultades procedimentales de los estudiantes de secundaria (de Pro, 2003), las que más influyen en el desarrollo de esta investigación son:

- P1. No reconocen las variables que pueden intervenir en un problema concreto.
- P2. No están acostumbrados a resolver problemas abiertos.
- P3. Les cuesta realizar predicciones o hipótesis.
- P4. Obtienen conclusiones mayormente descriptivas y cualitativas, no generalizadas.
- P5. No analizan de forma crítica la información escrita o audiovisual que se les aporta.

Estas dificultades de aprendizaje se han enumerado con un identificador, para poder referenciarlas durante el diseño de las actividades propuestas.

Presencia en el currículo LOMLOE

La propuesta de actividades que se presenta en este trabajo, al estar dirigida a estudiantes de Educación Secundaria, debe seguir las pautas dictadas por el currículo LOMLOE. Dado que el centro en el que se va a poner en práctica se encuentra en la Región de Murcia, se utiliza como referencia el Decreto 235/2022, de 7 de diciembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (2022). Sobre él se pueden estudiar las contribuciones de las actividades POE a las competencias y su relación con los saberes básicos. Además, como el tema de la investigación se relaciona con la asignatura de *Física y Química*, se han de tener en cuenta los elementos relacionados con dicha asignatura, pero también aquellos abarcados en la asignatura en la que se pondrá en práctica la propuesta, "*Proyectos de investigación: Investigación científica e innovación tecnológica*".

A continuación, se ha sintetizado la información relevante referente a las competencias específicas y los saberes básicos de cada una de las asignaturas anteriores.

Física y Química

Antes de tratar las competencias específicas y los saberes básicos trabajados, es interesante apreciar las orientaciones metodológicas que se sugieren en el Decreto 235/2022, de 7 de diciembre, para la asignatura de *Física y Química*, puesto que algunas de estas están en completa relación con el objetivo de esta investigación:

- Hacer preguntas al alumnado que vayan dirigidas a describir, hacer hipótesis, relacionar, concluir o explicar, entre otras.
- Emitir hipótesis para que sus ideas previas puedan ser planteadas y probadas.
- Enseñar al alumnado a pensar por sí mismo.

Es más, las “competencias específicas” de interés para la investigación están en relación con estas orientaciones metodológicas:

1. Comprender y relacionar los motivos por los que ocurren los principales fenómenos físicos del entorno, explicándolos en términos de leyes y teorías científicas adecuadas.
2. Expresar las observaciones realizadas por el alumnado en forma de preguntas, formulando hipótesis para explicarlas y demostrando dichas hipótesis a través de la experimentación científica, la indagación y la búsqueda de evidencias, para desarrollar los razonamientos propios del pensamiento científico y mejorar las destrezas en el uso de las metodologías científicas.
4. Utilizar de forma crítica, eficiente y segura plataformas digitales, para fomentar el desarrollo personal y el aprendizaje individual y social, mediante la comunicación efectiva en los diferentes entornos de aprendizaje.

Por su parte, los “saberes básicos” involucrados en este trabajo son aquellos relacionados con el *Bloque A. Las destrezas científicas básicas*:

- Las metodologías de la investigación científica, identificación y formulación de cuestiones, elaboración de hipótesis y comprobación experimental de las mismas.
- Trabajo experimental y proyectos de investigación: realización de inferencias válidas a partir de observaciones y obtención de conclusiones.

Y, por supuesto, los del *Bloque D. La interacción*. Al contrario que en el caso anterior, donde los saberes básicos eran comunes a todos los cursos, aquí se produce una evolución gradual de los conocimientos planteados. En 2.º ESO y 3.º ESO, se plantea la predicción de movimientos sencillos a partir de la cinemática, formulando hipótesis comprobables sobre valores futuros de estas magnitudes. Además, en 2.º ESO se presentan las fuerzas como agentes de cambio en el estado de movimiento o reposo de un cuerpo, mientras que en 3.º ESO se estudia la aplicación de las leyes de Newton mediante la observación de situaciones cotidianas o de laboratorio para entender el comportamiento de los sistemas materiales ante la acción de las fuerzas y predecir los efectos de estas.

En 4.º ESO, el curso en el que se va a poner en práctica la secuencia de actividades desarrollada, son de interés:

- La predicción y comprobación, mediante la experimentación y el razonamiento matemático, del movimiento de un cuerpo en situaciones cotidianas.
- La fuerza como agente de cambios en los cuerpos y presente en campos como el diseño, el deporte o la ingeniería.
- Las principales fuerzas del entorno cotidiano (fuerza normal, peso, fuerza de rozamiento, tensión o empuje) y su uso a través de la aplicación de las leyes de Newton en la explicación de fenómenos físicos en distintos escenarios.

También se trabajan el carácter vectorial de las fuerzas, la Ley de Gravitación Universal y las fuerzas y presión en los fluidos. Sin embargo, estos temas no se han impartido todavía cuando se inicia la puesta en práctica de la propuesta, por lo que no suscitan tanto interés.

“Proyectos de investigación: Investigación científica e innovación tecnológica”

Entre las “competencias específicas” de esta asignatura se encuentran la evaluación crítica de la información para resolver hipótesis o cuestiones planteadas, utilizar el razonamiento y el pensamiento computacional para resolver problemas mediante el análisis crítico de las soluciones y la incorporación de argumentos en diferentes formatos para analizar conceptos y procesos relacionados con la biología, la geología o las ciencias ambientales. Además, entre los “saberes básicos” se incluyen la formulación de hipótesis, cuestiones o conjeturas

científicas y el aprendizaje de estrategias de comunicación científica, entre las que se encuentran las herramientas digitales. Por ello, esta asignatura se complementa muy bien con la secuencia de enseñanza propuesta en esta investigación.

Nótese que, aunque la ley presenta a la asignatura de *Proyectos de Investigación* como una asignatura relacionada con la biología, la geología y las ciencias ambientales, esta asignatura está integrada dentro del *Aprendizaje Basado en Proyectos* en el centro en el que se va a desarrollar la secuencia de actividades, por lo que tiene un carácter multidisciplinar y puede englobar también a la *Física y Química*. Además, en dicho centro la programación docente da prioridad a impartir la dinámica en 2.º ESO, la cinemática en 3.º ESO y una ampliación de ambas en 4.º ESO, por lo que ambos temas pueden haber sido trabajados en menor grado que en otros institutos. A esto hay que añadir que la participación en la evaluación de la propuesta de actividades puede ayudar al desarrollo de las competencias específicas de ambas asignaturas, al trabajar los saberes básicos involucrados en las dos.

Metodología de la investigación

Según McMillan y Schumacher (2005), esta investigación se considera de tipo cuantitativo, experimental y dentro de este último tipo, semiexperimental. Esta clasificación se justifica porque es una investigación en la que se realiza el diseño de una propuesta de actividades y esta se lleva a la práctica y se evalúa, tomando datos que aportan información sobre su validez y efectividad. Pero el grupo de participantes no es aleatorio, sino que el contexto puede tener una clara influencia sobre los resultados.

A continuación, se presentan los aspectos metodológicos de la investigación, incluyendo la información sobre los participantes y su contexto, el diseño de las experiencias prácticas y el método de evaluación del aprendizaje.

Plan de actuación

Tras llevar a cabo la fase de preparación, estableciendo el tema y los objetivos a trabajar en la investigación, así como una revisión de las aportaciones realizadas sobre el tema, tocaba escoger el grupo en el que se va a llevar a cabo la investigación. Durante mi primer período de prácticas estuve hablando con mi tutor en el centro sobre las distintas posibilidades para la puesta en práctica de la propuesta. Se escogió el grupo de participantes que se describe en el siguiente apartado debido a que se trataba de una asignatura interdisciplinar, relacionada con las ciencias y en la que existía la posibilidad de realizar proyectos más innovadores.

La idea inicial era llevar a la práctica la secuencia de actividades de forma desglosada, realizando una actividad al comienzo de cada sesión. Sin embargo, al llegar al instituto se me comunicó que durante esa época la asignatura estaba integrada dentro del proyecto de *Aprendizaje Basado en Proyectos* que se desarrolla en los niveles de Educación Secundaria en ese centro. Por ello, no existía la posibilidad de emplear los minutos iniciales de cada sesión para realizar la propuesta. Entonces, mi tutor del centro y yo acordamos realizar la actividad en una única sesión, de una hora de duración, lo que implicó realizar adaptaciones sobre este plan inicial, que se explican más adelante.

Por tanto, la puesta en práctica comenzó con la realización de los cuestionarios iniciales, uno sobre datos personales y otro de tipo pretest sobre la temática a tratar. Debido a las actividades que se estaban desarrollando en el centro y la organización de la asignatura en la que se ejecutó la propuesta, la secuencia de demostraciones se desarrolló un mes más tarde, evaluando su seguimiento mediante un evento de *Wooclap* en tiempo real. El aprendizaje adquirido se registra mediante un cuestionario posttest, realizado una semana más tarde junto a una encuesta sobre las impresiones que ha generado la actividad.

Los datos recopilados mediante los distintos instrumentos de recogida de información se analizarán utilizando las técnicas aprendidas en la asignatura “*Innovación docente e iniciación a la investigación en el ámbito de la Física y la Química*”, para su posterior discusión y relación con los objetivos del trabajo.

Información sobre los participantes y el contexto

Este trabajo se ha llevado a la práctica en un instituto de la zona periférica de Murcia. A mi juicio, el nivel socioeconómico del centro es medio-alto, si bien esta variable no se va a considerar a lo largo del trabajo. Los participantes son los alumnos de “*Proyectos de investigación: Investigación científica e innovación tecnológica*” de 4.º ESO. Gran parte de los participantes pertenecen al grupo 4.º ESO A (23 alumnos), y algunos al grupo 4.º ESO B (9 estudiantes), ya que se trata de una optativa en la que están todos los grupos de 4.º ESO en la misma sala, trabajando por grupos. Se ha escogido este grupo valorando que los alumnos tengan unos conocimientos mínimos previos acerca del tema central de las actividades, así como por ser una de las asignaturas en las que imparte docencia el tutor del centro.

Sin embargo, el día seleccionado para la puesta en práctica de la propuesta coincidió con la vuelta de un viaje de inmersión lingüística en la madrugada y un gran número de los participantes no estuvo presente porque se encontraban descansando en casa. Por tanto, la evaluación de la secuencia de actividades se realiza teniendo en cuenta únicamente a los 17 participantes que estuvieron presentes en la sesión. Este nuevo subgrupo está formado por 10 mujeres y 7 hombres, siendo 10 de ellos de 4.º ESO A y los otros 7 de 4.º ESO B. Solamente un participante ha repetido curso durante esta etapa educativa (3.º ESO). La distribución de calificaciones obtenidas en *Física* y *Química* el curso pasado se presenta en la figura 1.

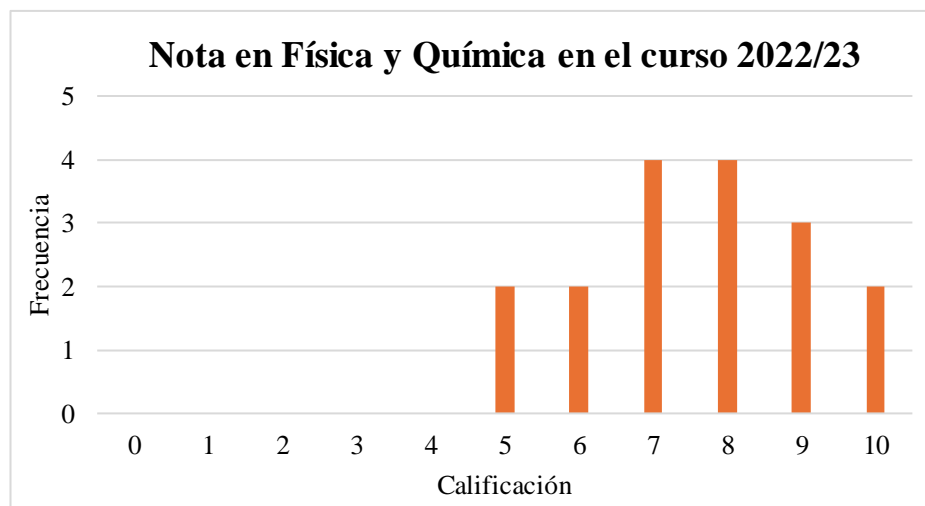


Figura 1. Calificaciones en la asignatura de *Física* y *Química* el pasado curso 2022/2023.

En la figura 1 se observa que todos los alumnos aprobaron la asignatura de *Física* y *Química*, la mayoría de ellos con notable (8 alumnos), seguidos de los estudiantes con sobresaliente (5 alumnos). La nota media del grupo de participantes es de 7.59.

De estos alumnos, solo 13 habían hecho un examen de física este año, con las calificaciones que se presentan en la figura 2.

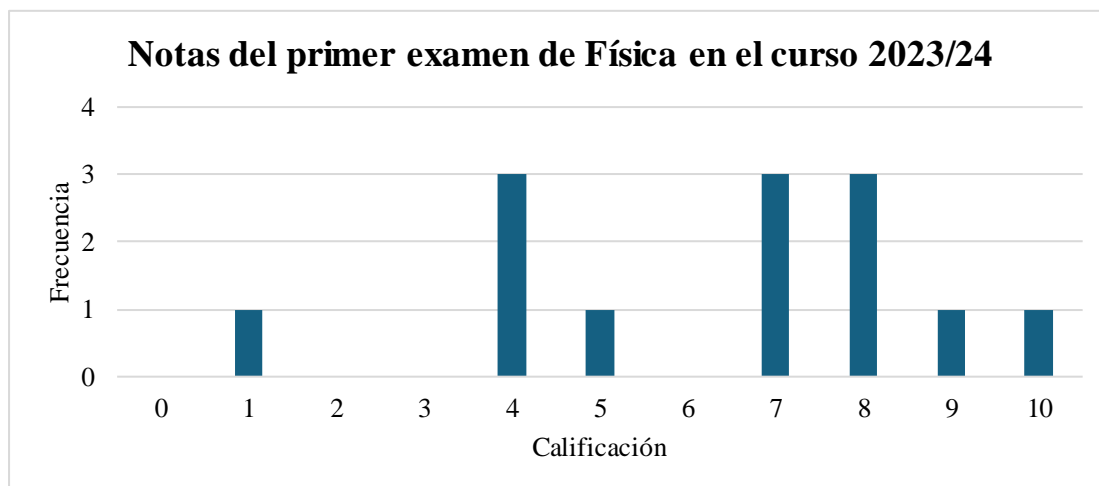


Figura 2. Calificaciones del primer examen de Física del curso 2023/24.

En este caso sí vemos más variabilidad, con alumnos que han suspendido el examen. Pero también destaca que un gran porcentaje de estos estudiantes aprueba, la mayoría de ellos con nota superior al 7. Por ello, la calificación media grupal es de 6.31.

En cuanto a los intereses de los estudiantes con relación a las distintas ramas de la física, un gran porcentaje de los alumnos no ha visto los temas de gravitación (59 %), presión y fluidos (65 %), energía (53 %), electricidad (59 %), magnetismo (82 %) y luz y sonido (88 %). Esto puede deberse a dos razones. Primero, que al responder el cuestionario los alumnos hayan tenido en cuenta solo los contenidos de la asignatura de *Física y Química*, ya que, por ejemplo, la electricidad se suele dar de manera muy habitual en la asignatura de *Tecnología*. Y, segundo, que se hayan centrado en lo que han dado este año, puesto que la Dinámica sí ha sido un tema más visto y recordado, tal y como hemos mencionado anteriormente.

Por último, y teniendo en cuenta los temas vistos, la distribución de los temas favoritos de los participantes y de los que menos les gustan se muestra en la figura 3.

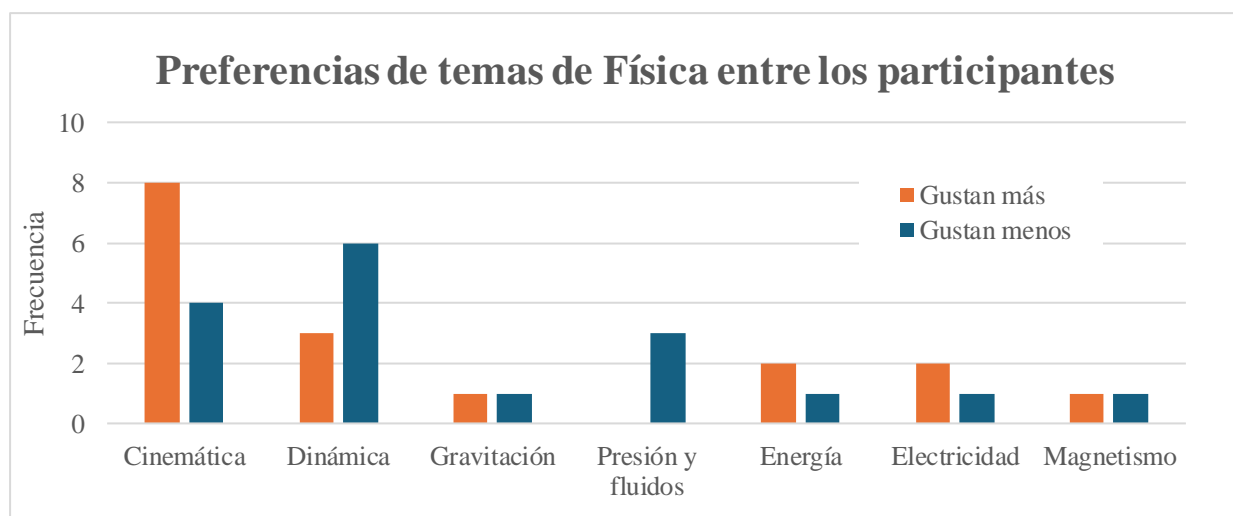


Figura 3. Temas de Física que más y que menos gustan entre los estudiantes que participan en esta investigación.

Aquí vemos que la mayoría selecciona que la cinemática es su tema favorito, mientras que el tema que menos gusta parece ser la dinámica. Algunos de ellos utilizan su curiosidad o su interés para intentar justificar cuál es el tema que más o que menos les gusta, mientras que otros simplemente lo asocian a la facilidad o la dificultad para entender o estudiar el tema.

No obstante, en lo que respecta a la dinámica, que es el tema principal por tratar con esta propuesta, es escogido únicamente por tres personas como su favorito, mientras que seis personas lo seleccionan como el que menos les gusta de todos. Las razones a las que atienden son, respectivamente, a que es interesante y el único que han visto, o que es muy largo y difícil. Por tanto, estas actividades pueden servir realmente para mostrar a esos alumnos que la dinámica puede ser divertida, además de ayudarles a reelaborar las ideas preconcebidas que no son completamente correctas.

Para ver más información sobre los participantes y leer las tablas del vaciado de información sobre los datos personales e información sobre la asignatura de *Física y Química*, hay que consultar los dos primeros epígrafes del **Apéndice C. Tablas de datos**.

Diseño de las experiencias prácticas

Para diseñar las experiencias prácticas, se ha seguido la estrategia *POE* anteriormente presentada, de cara a reelaborar las ideas preconcebidas acerca de la ley de inercia y a paliar las dificultades de aprendizaje. Esto es, se espera que estas actividades ayuden a mejorar el entendimiento de la dinámica y, específicamente, de la primera ley de Newton. Estas actividades también tratan de manera transversal conceptos relacionados con el movimiento, concretamente, con las trayectorias, debido a la gran relación entre este tema y la dinámica.

Estas experiencias se realizan en el aula del instituto donde se imparte la asignatura de *Física y Química* de forma habitual. Esto permite a los alumnos apreciar dos cosas. Por un lado, al tener lugar las actividades durante la hora de *Proyectos de Investigación: Investigación Científica e Innovación Tecnológica*, una asignatura multidisciplinar, los estudiantes pueden tomar conciencia de que las ciencias no son compartimentos separados, sino que abarcan conocimientos comunes. Y, por otro, realizar la experiencia en el aula habitual les da la visión de que la experimentación y la teoría son una misma realidad.

Además, la profesora se encarga de realizar las demostraciones experimentales, mientras que los alumnos siguen un proceso de predecir, describir y explicar durante toda la experiencia.

Por otra parte, y como se ha mencionado anteriormente, estas experiencias tienen carácter cualitativo, puesto que no se toman medidas de ningún tipo. También emplean materiales de bajo coste y reciclados, por lo que los alumnos más curiosos podrían reproducir las actividades en su propia casa.

A continuación, se presenta una descripción de las cuatro actividades propuestas, aludiendo a los obstáculos de aprendizaje que se trabajan en cada una.

Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato

Esta actividad, basada en la que aparece en el libro de texto de *Física y Química* 4.º ESO del Proyecto “La Casa del Saber” de la Editorial Santillana (Vidal Fernández, 2008), trabaja las dificultades de aprendizaje C1, P2, P3, P4 y P5. El esquema de la experiencia es el siguiente:

1. Se muestra a los alumnos un plato desechable, en cuyo borde se hace girar una canica.
2. Se les pregunta qué creen que va a pasar si hacemos girar la canica en otro plato de plástico al que se le ha recortado un cuadrante.
3. Se comentan las predicciones que han realizado los alumnos.
4. Se hace girar la canica en el borde del plato recortado, mientras que un alumno o el tutor de prácticas graba desde arriba (figura 4).
5. Se comenta lo observado y se pide que den la explicación más adecuada a su juicio.

6. Por último, se da una justificación teórica de lo ocurrido, haciendo énfasis en que en ausencia de fuerzas el móvil va a querer conservar su movimiento.

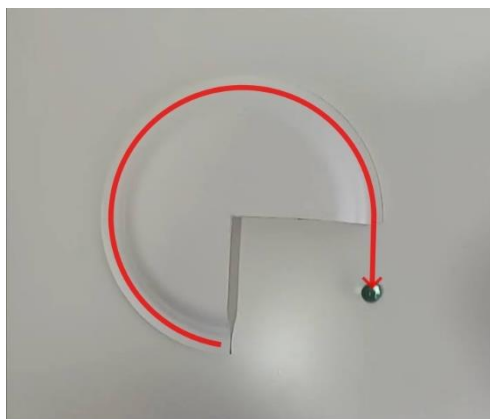


Figura 4. Esquema de la demostración de la Actividad 1, donde se marca con una flecha roja el recorrido que realiza la canica al salir del plato recortado.

Actividad 2. El anillo conductor de camiones

Esta actividad es una de las más utilizadas para mostrar la ley de inercia (Stepans, 2006; Vila y Sierra, 2008). Sin embargo, aquí se le ha dado un toque original al utilizar un camión de juguete y un anillo en lugar de la muñeca y el carrito que se sugieren en la bibliografía. En ella se tratan los obstáculos de aprendizaje C2, C5, P2, P3, P4 y P5. De manera resumida, la actividad consiste en lo siguiente:

1. Se les enseña a los alumnos el coche de juguete, un plano inclinado, un bloque de corcho utilizado en el yoga y un anillo de bisutería normal y corriente.
2. Se les pregunta cómo creen que va a reaccionar el anillo si va viajando en el coche a velocidad constante, sin actuar fuerzas sobre ellos, y choca súbitamente con el bloque.
3. Se comentan las predicciones que han realizado los alumnos.
4. Se le confiere una velocidad constante al coche haciendo que circule por el plano inclinado, para que choque con el bloque de yoga situado a una distancia corta, unos 50 cm, para que la fuerza de rozamiento no tenga efectos relevantes (figura 5).
5. Se comenta lo observado y se pide que den la explicación más adecuada a su juicio.
6. Por último, se da una justificación teórica de lo ocurrido, haciendo énfasis en la tendencia del anillo a seguir el movimiento que llevaba porque la fuerza no ha actuado sobre él, así como en el hecho de que los obstáculos y las paredes sí pueden ejercer fuerzas si un cuerpo les aplica una.



Figura 5. Captura de pantalla del vídeo a cámara lenta de la demostración de la Actividad 2, en la que se aprecia cómo el anillo sigue moviéndose tras el choque del camión con el bloque de yoga.

Actividad 3. La pelota voladora

Esta actividad está basada en una de las preguntas que aparecen en una prueba propuesta por Sadanand y Kess (1990). En ella se aplican las ideas previas y dificultades de aprendizaje C2, C3, C4, C6, C8, P1, P2, P3, P4 y P5. Se trata de una demostración interactiva más extensa, puesto que abarca dos partes.

Parte 1: Fuerzas en la vertical.

1. Se coloca el bloque de yoga de la actividad anterior sobre la mesa, y se pregunta a los estudiantes qué fuerza actúa sobre él.
2. Se comentan las respuestas brevemente.
3. Se pide un voluntario, alguien que haya respondido que no actúan fuerzas o que solamente la fuerza gravitatoria, para que salga a sostener el bloque con sus manos. Se le hace ver que, para evitar que el bloque caiga, está realizando una fuerza hacia arriba, como lo hace la mesa o cualquier otra superficie que sostenga un cuerpo.

Parte 2: La pelota voladora.

1. Se muestran el plano inclinado de antes y una pelota de golf.
2. Se pregunta cuál creen que será la trayectoria de la pelota al caer de la mesa si lleva velocidad constante.
3. Se pone en movimiento la pelota de golf y se graba desde un lateral, a cámara lenta, para apreciar bien la trayectoria (figura 6).
4. Se les pide que den la explicación que creen que es la más adecuada para explicar lo que ha ocurrido.
5. Se da la justificación teórica correcta, haciendo énfasis en la fuerza gravitatoria como causante de la caída de los graves y en que su actuación constante durante el movimiento determina la forma de la trayectoria. Se explica también que, si la fuerza actuara durante un instante, la trayectoria sería la que marcará la velocidad resultante.

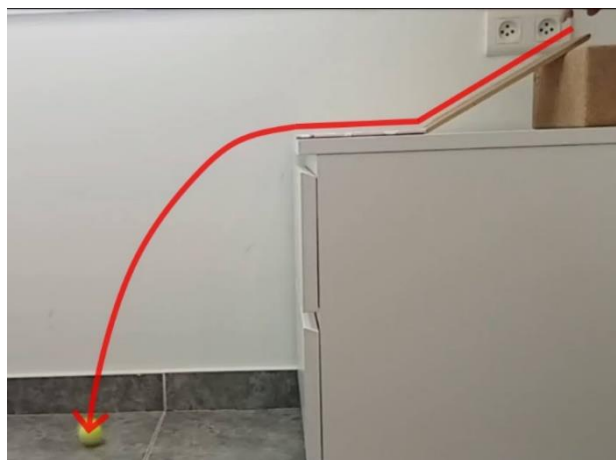


Figura 6. Captura de pantalla del vídeo a cámara lenta de la segunda demostración de la Actividad 3, en donde se marca con una flecha roja el recorrido que realiza la pelota de golf hasta alcanzar el suelo.

Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador

Esta actividad está basada en uno de los experimentos propuestos por Tomás Serrano y García Molina (2020). Con ella se trabajan las ideas preconcebidas y dificultades de aprendizaje C1,

C2, C7, C8, P1, P2, P3 y P4. La demostración experimental que se realiza consiste en lo siguiente:

1. Se muestra un aerodeslizador² casero sin el globo y se les pregunta si, al darle impulso, se frenará o se moverá indefinidamente.
2. Se muestra cómo el aerodeslizador sin el globo se frena (figura 7, arriba).
3. Se les pregunta la causa de que el aerodeslizador se frene en el caso anterior y se les pide que predigan si llegará más lejos con el globo.
4. Se infla el globo, se sitúa en la boquilla del aerodeslizador y se da impulso al sistema (figura 7, abajo).
5. Se les pide que intenten dar la explicación más adecuada a lo que ha ocurrido.
6. Se debate sobre las respuestas de los alumnos, y se da la justificación real de por qué ocurre esto, haciendo énfasis en que la fuerza de rozamiento es la que hace que los objetos se frenen y no el hecho de que tengan una fuerza interna que se va agotando.

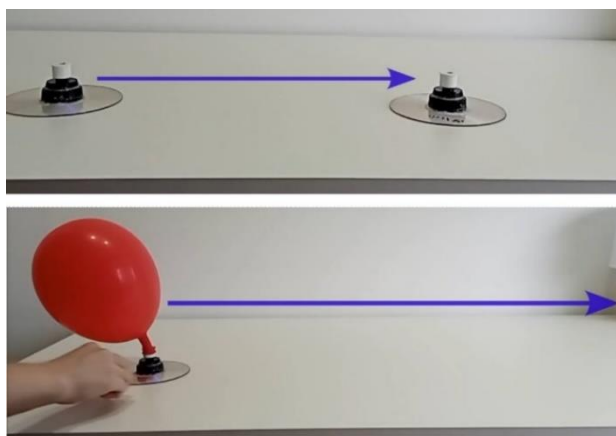


Figura 7. Esquema del avance del aerodeslizador sin el globo (arriba) y con el globo (abajo) en las demostraciones de la Actividad 4. Nótese que en la segunda demostración el globo se sale de la zona grabada.

Instrumentos de recogida de información

A la hora de evaluar el aprendizaje, se han empleado varios instrumentos de recogida de información. Por un lado, los conocimientos antes y después de realizar la propuesta de actividades se han evaluado mediante cuestionarios, mientras que el seguimiento de la actividad se registra mediante un evento de *Wooclap* (Educación 3.0, 2021), configurado para guardar el nombre y los apellidos de los participantes. Por otro lado, se ha empleado *Formularios de Google* (Centro de Aprendizaje de Google Workspace, 2024) para recabar las variables de interés en el trabajo, de manera previa a la realización del cuestionario inicial de conocimientos previos, y para conocer las impresiones finales de los alumnos.

Cuestionario pretest y posttest

De manera previa al desarrollo de las actividades y una semana después de llevarlas a cabo se han utilizado, respectivamente, un cuestionario pretest y uno posttest. Estos cuestionarios se han confeccionado según el modelo del *Force Concept Inventory* (Hestenes et al., 1992; Hestenes y Halloun, 1995). Esto es, se han considerado preguntas cerradas, con cinco posibles respuestas, de las que solo una es correcta. Las respuestas incorrectas se basan en concepciones previas que aluden al sentido común, aunque algunas de ellas también son

² Juguete casero construido a partir de un disco compacto reciclado, una boquilla retráctil y un globo.

opuestas al sentido físico o incorrectas debido a algún matiz específico. Por tanto, no sólo permiten valorar el aprendizaje de los participantes, sino también evaluar si sus ideas previas siguen siendo las mismas o se han modificado en algún aspecto.

En ambos cuestionarios (disponibles en el **Apéndice A** y en el **Apéndice B**, respectivamente) se han utilizado 4 preguntas, con un total de 5 ítems. Estos se han creado seleccionando las preguntas del *FCI* que eran más afines a los contenidos de las actividades, resumiendo los enunciados y adaptando las figuras y el lenguaje utilizado en los enunciados para facilitar su comprensión. A continuación, se resumen las características más importantes de cada ítem.

En el cuestionario pretest:

- Ítem 1. Está basado en la cuestión 10 del *FCI* (Hestenes et al., 1992). Con ella se trabaja la primera ley de Newton, sin fuerzas actuando. Las respuestas incorrectas incluyen concepciones acerca de la pérdida o recuperación de la inercia, la inercia circular y las fuerzas como causa del movimiento.
- Ítem 2. Está basado en la cuestión 12 del *FCI* (Hestenes et al., 1992), pero se han reescrito las respuestas para evitar la existencia de dos respuestas correctas. Con ella se abordan los tipos de fuerza (interacciones pasivas con sólidos) y la gravitación.
- Ítem 3. Está basado en la pregunta 30 del *FCI* (Halloun et al., 1995), que trata los tipos de fuerza, concretamente la resistencia del aire y la gravitación. Las respuestas incorrectas incluyen el desgaste de la inercia.
- Ítem 4.1. Está inspirado en la pregunta 24 del *FCI* (Hestenes et al., 1992). Esta trata la cinemática, ya que la aceleración constante implica órbita parabólica, y la segunda ley de Newton, porque una fuerza constante implica aceleración constante. Entre las respuestas incorrectas se hallan ideas previas como la pérdida de la inercia original o su construcción gradual y que la última fuerza en actuar determina el movimiento.
- Ítem 4.2. Está basado en la cuestión 25 del *FCI* (Hestenes et al., 1992). Esta utiliza conceptos de cinemática, ya que la aceleración constante implica un cambio en la velocidad, y la segunda ley de Newton, porque una fuerza constante implica aceleración constante. Entre las concepciones incorrectas se encuentran una proporción entre la fuerza y la velocidad o el desgaste de la fuerza activa.

En el cuestionario posttest:

- Ítem 1. Este es una adaptación de la cuestión 4 del *FCI* (Hestenes et al., 1992), que trata la primera ley de Newton, sin fuerzas actuando. Las respuestas incorrectas incluyen concepciones acerca de la pérdida o recuperación de la inercia, inercia circular y que el movimiento se debe a una fuerza.
- Ítem 2. Este está basado en la cuestión 5 del *FCI* (Hestenes et al., 1992) y en la primera cuestión propuesta en la sección *Trajectory questions* de Sadanand y Kess (1990). Esta pregunta abarca la gravitación, incluyendo entre las concepciones incorrectas la disipación de la inercia y la gravedad como algo intrínseco a la masa (todo objeto tiende a caer hacia abajo).
- Ítem 3. Esta cuestión está inspirada en la “*Barbell*” question (Sadanand y Kess, 1990), a la que se ha añadido una quinta opción para asegurar que los alumnos no responden al azar. Con ella se trabajan los tipos de fuerza, incluyendo interacciones pasivas con sólidos y la gravitación.
- Ítem 4.1. Esta cuestión es una adaptación de la pregunta 6 del *FCI* (Hestenes et al., 1992). Con ella se puede trabajar la primera ley de Newton, en ausencia de fuerzas, y la fuerza de impulso. Las opciones incorrectas incluyen la pérdida de la inercia original, la creación de la inercia con retraso y que la última fuerza en actuar es la que determina el movimiento.

- Ítem 4.2. Este ítem está basado en la cuestión 8 del *FCI* (Hestenes et al., 1992). Con esta se aborda la primera ley de Newton, puesto que en ausencia de fuerzas la velocidad es constante. Por su parte, las opciones incorrectas tratan ideas previas como la disipación o la construcción gradual de la inercia.

Seguimiento de las actividades

Como se ha mencionado previamente, el seguimiento de la puesta en práctica de las actividades se registra mediante un evento de *Wooclap* (Educación 3.0, 2021; Wooclap, 2024). Esta plataforma, similar a otras como *Kahoot!* (Kahoot!, 2024) permite crear eventos, con un código de acceso asociado, en los que los participantes aportan sus respuestas a preguntas de diversa tipología (encuestas, tipo test, nubes de palabras, preguntas abiertas...). Estas pueden ser mostradas por el moderador en tiempo real y registradas para un análisis posterior. Se trata de una herramienta muy útil, tanto para la realización de esta investigación como para su uso habitual en la docencia. Su uso gratuito requiere tener un perfil asociado a la Universidad de Murcia. A pesar de este requisito, los eventos se pueden configurar para que la participación sea anónima o mediante identificación con nombre y apellidos. Se ha utilizado la segunda configuración, pues interesa conocer las respuestas de cada alumno.

Para la puesta en práctica de la propuesta, se crea un evento para cada una de las actividades de la secuencia. En cada evento se incluye, en general, una pregunta para cada una de las fases de la estrategia *POE*. Para la predicción, se utiliza una pregunta tipo encuesta, dando varias opciones relacionadas con las dificultades de aprendizaje encontradas en la bibliografía. Esto ayuda a los participantes a centrarse en la actividad y facilita su colaboración. Para la fase de observación se utiliza una pregunta tipo test, con unas respuestas muy similares a las de la fase de predicción. Se utiliza un tipo test y no una encuesta porque aquí existe una única observación correcta, al contrario que en la fase de predicción, donde cualquier respuesta se toma como válida. Y, para la fase de explicación, lo ideal sería utilizar una pregunta abierta, donde los alumnos expresen sus pensamientos de manera libre. Sin embargo, por las razones que se expondrán más adelante, esta fue sustituida por una encuesta con opciones basadas en las ideas previas de la bibliografía consultada. En las tablas 1-4 se presenta un resumen de las preguntas realizadas a los alumnos.

Tabla 1. Preguntas realizadas en el evento de Wooclap de la Actividad 1 y sus posibles respuestas.

Fase POE	Pregunta	Respuestas
Predecir	¿En qué dirección crees que se moverá la canica al salir del plato recortado?	<ul style="list-style-type: none"> • Se moverá en dirección perpendicular al punto del plato por el que salga, siguiendo una línea recta. • Seguirá girando por inercia. • Se desviará en dirección contraria a la de giro en el plato.
Observar	¿Qué has observado?	<ul style="list-style-type: none"> • La canica sigue girando como si estuviera en el interior del plato. • La canica sale en línea recta, en la dirección perpendicular al punto del borde del plato por el que salió. • La canica sale desviándose en dirección opuesta a la que seguía mientras giraba.

Explicar	¿Por qué crees que pasa esto?	<ul style="list-style-type: none"> • El principio de inercia hace que la canica salga en línea recta, en la dirección que marcaba el vector velocidad en el punto del plato del que salió. • La canica quiere seguir su movimiento natural (seguir recto).
----------	-------------------------------	--

En la tabla 1 se recogen las preguntas realizadas en el evento de la *Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato*. En esta demostración se sigue el esquema *POE* sin ninguna modificación.

Tabla 2. Preguntas realizadas en el evento de Wooclap de la Actividad 2 y sus posibles respuestas.

Fase POE	Pregunta	Respuestas
Predecir	¿Cómo crees que reaccionará el anillo si mientras conduce el camión choca con el bloque?	<ul style="list-style-type: none"> • Como estaba quieto, se quedará quieto. • Saldrá disparado hacia delante. • Saldrá disparado hacia atrás.
Observar	¿Qué has observado?	<ul style="list-style-type: none"> • El anillo salió disparado hacia delante. • El anillo se quedó quieto. • El anillo salió disparado hacia atrás.
Explicar	¿Por qué crees que pasa esto?	<ul style="list-style-type: none"> • Porque el anillo siente una fuerza que lo empuja hacia delante. • Porque el anillo estaba quieto sobre el camión y quiere seguir moviéndose como lo hacía el camión. • Porque el bloque ejerció una fuerza sobre el camión y detuvo este, pero no detuvo el anillo y este seguirá el movimiento que llevaba junto con el camión.

En la tabla 2 se muestran las cuestiones realizadas durante la demostración de la *Actividad 2. El anillo conductor de camiones*, junto con sus posibles respuestas. Esta secuencia también sigue a rajatabla el orden de la estrategia *POE*.

Tabla 3. Preguntas realizadas en el evento de Wooclap de la Actividad 3 y sus posibles respuestas.

Fase POE	Pregunta	Respuestas
Predecir	¿Qué fuerzas están actuando sobre el bloque que está en la mesa?	<ul style="list-style-type: none"> • La fuerza de la gravedad. • La fuerza de la gravedad y la normal. • La fuerza de rozamiento del aire (que lo mantiene quieto) y la fuerza de la gravedad.

	¿Qué trayectoria seguirá la pelota de golf al dejar la mesa?	<ul style="list-style-type: none"> • Caerá de manera vertical hacia abajo nada más dejar la mesa. • Caerá en diagonal. • Caerá realizando una parábola.
Observar	¿Qué has observado?	<ul style="list-style-type: none"> • Ha caído verticalmente. • Ha caído en diagonal. • Ha caído en una trayectoria parabólica.
Explicar	¿Por qué crees que pasa esto?	<ul style="list-style-type: none"> • Al dejar la mesa, la fuerza de la gravedad actúa constantemente sobre la pelota y modifica su velocidad, tanto su dirección como su módulo. • Al dejar la mesa, la pelota lleva una fuerza hacia delante que se va agotando y va haciendo que la pelota caiga poco a poco, guiada por la actuación constante de la gravedad. • Al dejar la mesa, la fuerza de la gravedad actúa de forma puntual y modifica la velocidad, tanto en módulo como en dirección.

En la tabla 3 se presentan las preguntas realizadas para cada una de las tareas dentro de la secuencia *POE* de la *Actividad 3. La pelota voladora*. Nótese que hay dos preguntas para la fase de “*predecir*” y solamente una para las fases de “*observar*” y “*explicar*”. Esto se debe a que la demostración está formada por dos partes, una para hablar de las fuerzas en vertical y otra de las fuerzas en horizontal. La primera pregunta de “*predecir*” se realiza para la primera parte de la actividad, y no se registra la observación y la explicación de esa parte porque estas se anotan directamente en la siguiente parte de la demostración.

Tabla 4. Preguntas realizadas en el evento de *Wooclap* de la *Actividad 4* y sus posibles respuestas.

Fase <i>POE</i>	Pregunta	Respuestas
Predecir	¿Qué crees que va a pasar si lanzo el aerodeslizador sin el globo?	<ul style="list-style-type: none"> • Se va a detener a escasos metros debido a que se queda sin fuerzas. • Se va a detener a escasa distancia debido a la fuerza de rozamiento. • Se detendrá en el infinito, ya que está actuando continuamente la fuerza del empuje que lo puso en movimiento.
	¿Qué crees que va a pasar si dejamos caminar el aerodeslizador con el globo?	<ul style="list-style-type: none"> • Se va a mover a una velocidad variable hasta que se quede sin aire en el globo. • Se va a frenar un poco más lejos que antes, sin importar cuanto aire le quede en el globo.

		<ul style="list-style-type: none"> • Se va a mover a velocidad constante hasta que se quede sin aire en el globo, cuando comience a frenarse. • Se va a mover exactamente igual que antes.
Observar	¿Qué has observado en cada caso?	<ul style="list-style-type: none"> • El aerodeslizador con el globo llega menos lejos que sin el globo. Mientras que hay aire en el globo la velocidad parece cambiar sin sentido. • El aerodeslizador sin el globo llega menos lejos que con el globo. Mientras que hay aire en el globo la velocidad del movimiento parece constante.
Explicar	¿Por qué crees que ha ocurrido esto (para el aerodeslizador sin el globo)?	<ul style="list-style-type: none"> • El aerodeslizador pierde la fuerza que le hemos dado al empujarlo. • Existe una fuerza de rozamiento actuando sobre el aerodeslizador durante todo su movimiento.
	¿Por qué crees que pasa esto (para ambas situaciones)?	<ul style="list-style-type: none"> • El aerodeslizador sin el globo siente la fuerza de rozamiento, y con el globo no, por lo que se mueve más lejos. Como no hay fuerza de rozamiento, la velocidad es constante hasta que se queda sin aire en el globo. • El aerodeslizador sin el globo tiene menos fuerza que gastar que el aerodeslizador con el globo, por lo que recorre menos distancia. Esta fuerza que tiene la gasta de manera constante. • El aire que sale del globo disminuye el rozamiento entre el aerodeslizador y el suelo, por lo que el movimiento será más parecido a las situaciones ideales. El movimiento no tiene velocidad totalmente constante porque existe una pequeña fuerza de rozamiento y, en consecuencia, la velocidad cambia ligeramente.

En la tabla 4 aparecen las preguntas realizadas durante la demostración de la *Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador*. Como durante la presentación se muestran dos situaciones (el aerodeslizador con y sin el globo), se han incluido dos preguntas en la fase “*predecir*” y otras dos en la fase “*explicar*”. Estas no van en el orden exacto en que aparecen en la tabla,

sino que se pregunta por la posible explicación del movimiento sin el globo antes de predecir qué pasará al colocar el globo, qué se ha observado y cuál es la explicación general de todo.

Evaluación de la propuesta didáctica

Para evaluar la propuesta de actividades se utiliza una pareja de cuestionarios, un pretest y un postest. Si bien muchos autores han realizado esta evaluación empleando el mismo cuestionario inicial y final, se decidió no hacerlo así para intentar valorar el aprendizaje significativo del alumnado y su capacidad de ver más allá de lo que ya conocen.

Sin embargo, esto implica garantizar que ambos cuestionarios evalúan, como mínimo, los mismos contenidos que se han trabajado con la secuencia de actividades. Esto se consigue emparejando, aproximadamente, las parejas de preguntas de ambos cuestionarios. Concretamente, los contenidos evaluados por el ítem 1 en ambos cuestionarios son los mismos, al igual que ocurre con los ítems 4.1 y 4.2. Por su parte, la información trabajada con el ítem 2 del pretest y el ítem 3 del postest es muy similar. Y lo mismo ocurre con la información del ítem 3 del pretest y el ítem 2 del postest.

Otro aspecto para tener en cuenta es realizar la evaluación final dejando pasar un tiempo prudencial desde la realización de las demostraciones y no avisar de antemano a los participantes, para saber cuánto recuerdan.

Para valorar el grado de aprendizaje de los participantes se utiliza la llamada ganancia normalizada, $\langle g \rangle$, que se define como el cociente de la puntuación obtenida sobre el máximo posible (Hake, 1998). Esta magnitud se puede calcular para cada participante a partir de sus porcentajes de acierto en los cuestionarios pretest, $\%S_i$, y postest, $\%S_f$, según la expresión

$$\langle g \rangle = 100 \cdot \frac{\%S_f - \%S_i}{100 - \%S_i}.$$

Nótese que en la expresión anterior se ha incluido un factor 100 con respecto a la de la bibliografía para poder expresar los resultados de forma más visual, y que el valor promedio a nivel grupal se debe calcular como el promedio de las ganancias normalizadas de cada participante. Así, se considera que el grado de aprendizaje es alto, esto es, la ganancia normalizada es alta, si su valor es superior al 70 %. Mientras que se considera intermedia si se encuentra entre el 30 % y el 70 %, y baja si es inferior al 30 % (Hake, 1998).

Análisis de la puesta en práctica de la propuesta

Desarrollo de la propuesta educativa

La propuesta educativa se llevó a la práctica el lunes 22 de abril de 2024 y tuvo una duración de una hora por ajustes de horario. Se realizó empleando *Wooclap* y los materiales de bajo coste enumerados en el diseño de la investigación. Todos los experimentos fueron probados de forma previa, y grabados a cámara lenta por si no eran apreciados adecuadamente en el momento de la realización. Hay que destacar que la *Actividad 1* supuso más trabajo de lo que podría parecer, ya que un pequeño desnivel en la mesa sobre la que se situaba el plato o el uso de un plato que no fuera suficientemente llano podían afectar el resultado esperado. Además, el evento de *Wooclap* fue creado de antemano, incluyendo esquemas de elaboración propia para hacer más visual la secuencia. La conexión a dicho evento dio problemas técnicos a algunos alumnos, pero fueron rápidamente solventados.

Para ajustar la duración de la puesta en práctica al intervalo disponible, se realizó una adaptación a la pregunta de la fase “*explicar*”. Esta pregunta estaba inicialmente formulada para que los alumnos dieran una respuesta abierta, pero esto iba a alargar en exceso la puesta en práctica, quitándoles tiempo para el desarrollo de sus proyectos de la asignatura. Por ello,

se cambió la pregunta abierta por una pregunta de respuesta múltiple, incluyendo respuestas que se relacionen con las ideas preconcebidas que queremos trabajar. De este modo se siguen trabajando las ideas de los alumnos y se respeta el tiempo disponible.

A pesar de estos pequeños problemas técnicos, considero que la puesta en práctica fue bastante fructífera. En general, los alumnos prestaron mucha atención y respondieron a las cuestiones planteadas. De vez en cuando hubo que pedir que respondieran más rápido, ya que algunos de ellos se demoraban para decidir su respuesta. Las respuestas a cada una de las cuestiones de las tablas 1-4 se encuentran en el apartado **Datos del seguimiento de la puesta en práctica de la secuencia** del **Apéndice C. Tablas de datos**.



Figura 8. Realización de la demostración de la Actividad 1.



Figura 9. Realización de la demostración de la Actividad 2.



Figura 10. Realización de la demostración 2 de la Actividad 3.



Figura 11. Realización de la demostración 2 de la Actividad 4.

En las figuras 8-11 se observan fotos o capturas de pantalla de la grabación en vídeo de la puesta en práctica. En aquellas imágenes donde salen alumnos, se han difuminado sus caras o se han cubierto con un emoji para proteger su identidad. Nótese que en las últimas tres figuras se observa de fondo el proyector con el evento de *Wooclap* que se estaba utilizando, además

de que en todas ellas se muestran los materiales que se han enumerado en el apartado **Diseño de las experiencias prácticas**.

Resultados de aprendizaje

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para responder al segundo objetivo de esta investigación. Para conseguir estos resultados, se han empleado los instrumentos de recogida de información y el método de evaluación (ganancia normalizada) anteriormente mencionados.

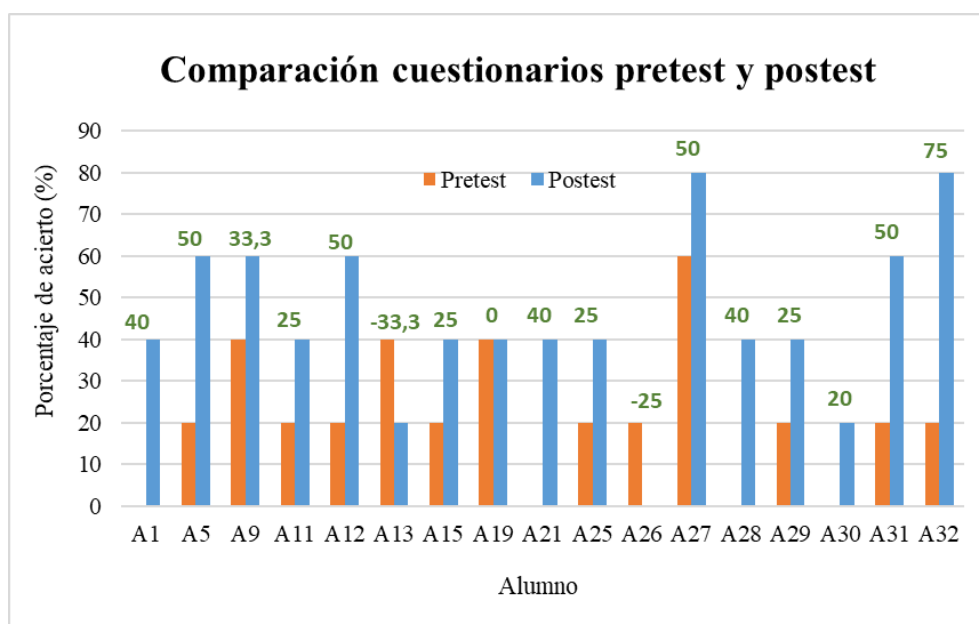


Figura 12. Gráfica de comparación del porcentaje de acierto de cada participante en el cuestionario pretest (naranja) y en el cuestionario posttest (azul). Los números verdes sobre cada pareja de columnas representan la ganancia normalizada individual.

En la figura 12 se muestran los porcentajes de acierto en el pretest, $\%S_i$, en el posttest, $\%S_f$, y el valor de la ganancia normalizada, $\langle g \rangle$, para cada alumno. Nótese que todos los alumnos realizaron ambos cuestionarios, por lo que la ausencia de una de las columnas significa que el estudiante no obtuvo ninguna respuesta correcta en el cuestionario. Ocho participantes muestran una ganancia normalizada intermedia (entre el 30 % y el 70 %), mientras que solo el alumno A32 muestra una ganancia normalizada alta (75 %). El resto de los participantes tienen una ganancia normalizada baja, la mitad de ellos un 25 %, que es un valor cercano al límite inferior del intervalo de ganancia normalizada intermedia.

Sin embargo, destaca que el participante A19 no aprendió nada, mientras que los estudiantes A13 y A26 presentan una ganancia normalizada negativa. A la vista de que el resto de los participantes tuvieron un aprovechamiento más o menos adecuado de la actividad, toca plantearse qué ocurrió con estos alumnos. Preguntando a los docentes en el centro, encontré que uno de estos alumnos tenía una adicción a la tableta y que el otro no mostraba interés por ninguno de los temas de física propuestos en el cuestionario inicial. Por tanto, la situación particular del primer alumno y la posible desmotivación del segundo podrían justificar su desempeño durante la puesta en práctica de la secuencia de actividades.

Por tanto, se demuestra que la actividad en sí misma sí es capaz de aumentar el conocimiento de los estudiantes acerca de la primera ley de Newton. De hecho, si promediamos la ganancia normalizada de todos los estudiantes, se obtiene que dicho valor promedio es de un 29 %, prácticamente en el límite entre un aprendizaje significativo bajo e intermedio. Sin embargo,

esto se debe al grado de aprendizaje negativo mencionado anteriormente. Si se consideran esos valores como valores atípicos y se ignoran en el cálculo del valor promedio, se obtiene una ganancia normalizada grupal de un 37 %, esto es, un grado de aprendizaje intermedio.

También es destacable apreciar los resultados cruzándolos con las variables de estudio (género, repetición de curso, nota en *Física y Química* el curso pasado, nota en el examen de física de este curso), tal y como se presenta en las tablas 5-8. Por simplicidad, las dos últimas variables se han agrupado en “suspense”, “aprobado”, “notable” y “sobresaliente”.

Tabla 5. Cruce de los resultados de ganancia normalizada promedio con la variable "Género".

Género	N.º de participantes	Ganancia normalizada promedio (%)
Mujer	10	33
Hombre	7	24

En la tabla 5 aparecen los resultados cruzados con la variable “género”. Aquí parece que las mujeres hayan aprendido un poco más que los hombres. Esto choca con los planteamientos de algunos autores (Traxler et al., 2018), que observaron en su investigación que el uso del *FCI* como cuestionario de evaluación podría introducir un sesgo debido a que algunas de las preguntas están más enfocadas a los intereses de los hombres. Sin embargo, y por observación en el aula, se puede afirmar que los participantes tienen motivaciones bastante similares.

Tabla 6. Cruce de los resultados de ganancia normalizada promedio con la variable "Repetición de curso".

Repetición de curso	N.º de participantes	Ganancia normalizada promedio (%)
No	16	26
Sí (3.º ESO)	1	75

En la tabla 6 destaca que la única participante que había repetido curso, A32, es además la única que registra una ganancia normalizada alta. Esta estudiante cursó dos veces 3.º ESO, un nivel en el que se imparte la asignatura de *Física y Química*. Por tanto, esta alumna ha cursado una vez más la asignatura que el resto de los compañeros. Budini et al. (2019) observaron que aquellos estudiantes que habían repetido curso demostraban un mayor dominio de la materia que aquellos que no lo habían hecho, y esto parece estar ocurriendo también aquí, teniendo ventaja por su experiencia a la hora de entender las ideas trabajadas en la propuesta de actividades y utilizarlas para reelaborar sus propias ideas preconcebidas.

Tabla 7. Cruce de los resultados de ganancia normalizada con la variable "Nota Física y Química 2022/23".

Nota Física y Química 2022/23	N.º de participantes	Ganancia normalizada promedio (%)
Notable (7-8)	8	33
Sobresaliente (9-10)	5	33
Aprobado (5-6)	4	16

En la tabla 7 se observa algo bastante llamativo: haber obtenido un notable o un sobresaliente no parece afectar al aprendizaje significativo que aporta la secuencia de actividades, siendo la ganancia normalizada promedio de ambos grupos de grado intermedio (33 %). Sin embargo, haber aprobado con una nota entre 5 y 6 parece implicar una ganancia normalizada promedio baja (16 %). Esto puede deberse a que el aprobado de esos alumnos se deba a su buen desempeño en química y que tengan más dificultades con la física, por lo que no hayan podido aprovechar las actividades al máximo debido a una falta de asociación entre las demostraciones y sus ideas previas.

Tabla 8. Cruce de los resultados de ganancia normalizada con la variable "Nota examen física 2023/24".

Nota examen física 2023/24	N.º de participantes	Ganancia normalizada promedio (%)
Notable (7-8)	5	26
Suspense (1-4)	4	2
Sobresaliente (9-10)	2	45
Aprobado (5-6)	1	50

En la tabla 8 se muestran los resultados del cruce de la ganancia normalizada promedio grupal con las notas obtenidas por los alumnos en su primer examen de física este curso. Nótese que solamente se han tenido en cuenta aquellos alumnos que habían realizado dicha prueba. Aquí la situación es muy diferente a la observada en la tabla anterior: haber aprobado el examen con un 5 o un 6 implica un mayor aprendizaje significativo que aprobar con sobresaliente. En estos casos la ganancia normalizada es significativamente superior a haber obtenido un notable (26 %) o haber suspendido (2 %). Concretamente, este último valor puede deberse a una falta de claridad en las ideas del alumno y de motivación asociada a la mala calificación.

También se puede analizar el cambio que ha tenido lugar en las ideas previas de los alumnos. Recuerdese que las cuestiones 1, 2, 3, 4.1 y 4.2 del pretest trabajan los mismos conceptos que las cuestiones 1, 3, 2, 4.1 y 4.2 del postest. Por tanto, se puede realizar una comparación del número de alumnos que han respondido bien a dichas cuestiones, así como de las respuestas mayoritarias en cada una de las preguntas. De ese modo, se puede apreciar de manera más detallada cómo ha afectado la secuencia de actividades al ideario escolar de cada participante.

Tabla 9. Respuestas correctas a las preguntas del pretest y el postest, junto a la frecuencia de cada una.

Pregunta	Respuesta deseable pretest	Frecuencia	Respuesta deseable postest	Frecuencia
Ítem 1	B	7	5	13
Ítem 2	B	3	A	1
Ítem 3	C	2	E	15
Ítem 4.1	E	4	B	6
Ítem 4.2	B	2	A	3

En la tabla 9 se muestran las respuestas correctas a cada cuestión y el número de participantes que han respondido correctamente a cada una. Los cuadros rojos con línea sólida y negros con línea discontinua representan la asociación de los ítems para el análisis anteriormente aludida.

Ítem 1: inercia en movimiento circular

Este ítem se trabajó con la *Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato*. Este contenido se suele trabajar en el tema de cinemática en *Física y Química* de 4.º ESO. Dicha unidad didáctica fue previamente impartida a gran parte de los estudiantes, por lo que muchos de ellos ya acertaron en el cuestionario pretest. Tras la demostración, el número de participantes certeros aumentó todavía más. Las respuestas a las cuestiones asociadas a este ítem se han unificado en la figura 13 para apreciar la evolución de las ideas previas.

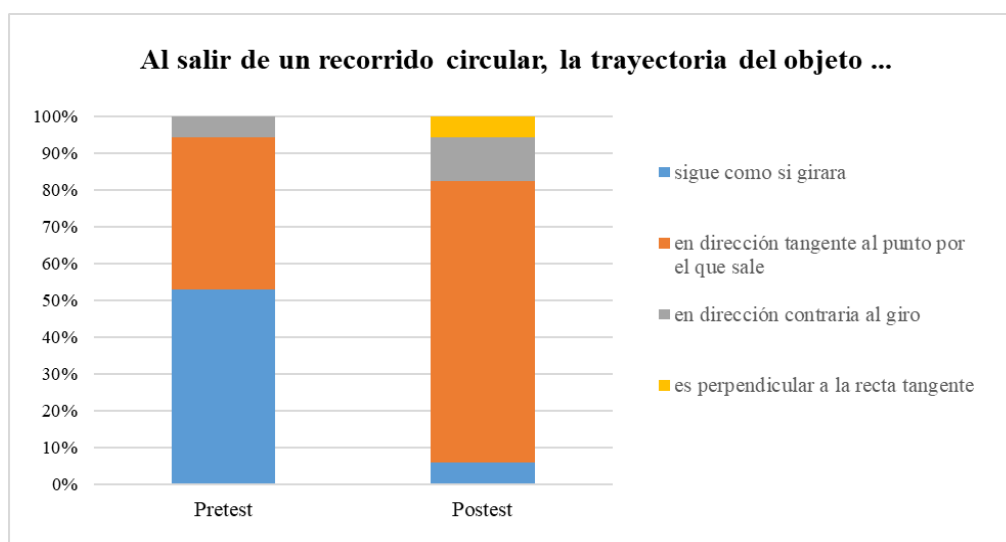


Figura 13. Respuestas a las preguntas pretest y posttest asociadas a la “inercia en movimiento circular”.

De entre las ideas incorrectas en el pretest destaca, sin lugar a duda, la idea previa de que el objeto que gira va a seguir haciéndolo, por no asociar el giro correctamente con la fuerza centrípeta. Esta idea desaparece en el posttest, siendo prácticamente sustituida por algunas relacionadas con una salida recta, pero con un cierto ángulo respecto a la dirección real. Esto puede deberse a que estos estudiantes hayan asociado el término *dirección tangente* (utilizado en la demostración) con la dirección perpendicular, memorizando esa expresión sin razonar lo que está ocurriendo realmente. Otra posible explicación es que, al salir de un punto en el que las posibles respuestas se leen con un cierto ángulo, los alumnos se hayan confundido.

Aun así, que la mayoría de ellos sean capaces de razonar adecuadamente que la trayectoria pasa a ser rectilínea es ya de por sí un logro.

Ítem 2: fuerzas actuando sobre un objeto en reposo

Este ítem se trabajó con la primera demostración de la *Actividad 3. La pelota voladora*. La materia relacionada con este ítem, al igual que con los siguientes, no ha sido vista previamente este curso. Las respuestas a las cuestiones relacionadas con este ítem (cuestión 2 en el pretest y cuestión 3 en el posttest), se recogen en la figura 14.

Tal y como se recoge en las fuentes bibliográficas consultadas para diseñar las actividades, los alumnos en el pretest creen firmemente que solo actúa la gravedad sobre un cuerpo que está sobre una superficie. Solamente 3 de los participantes conocían la existencia de la fuerza normal, mientras que uno de ellos apuntó a la fuerza ejercida sobre el aire como causa de que el cuerpo se quede quieto.

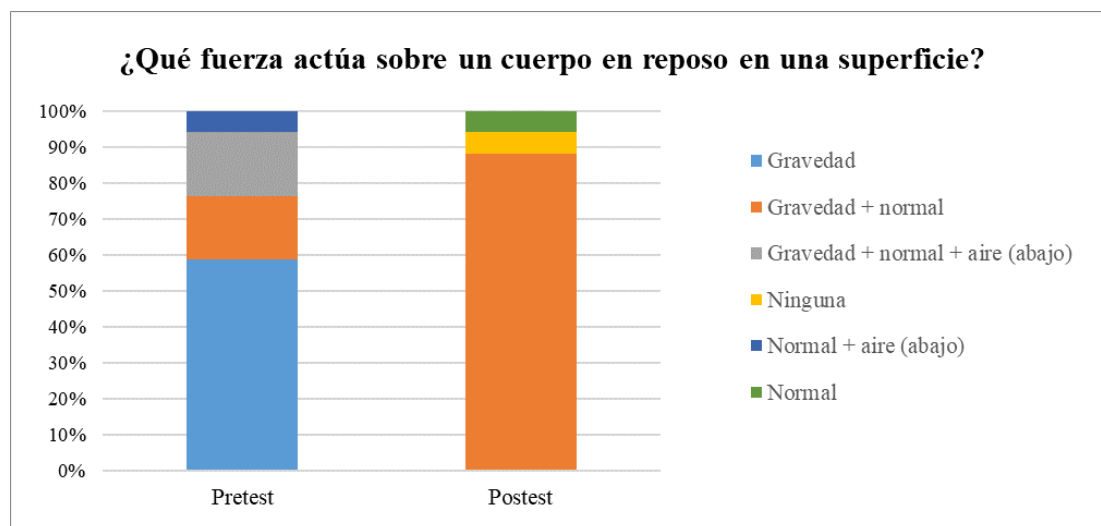


Figura 14. Respuestas a las preguntas pretest y posttest asociadas a las fuerzas sobre un cuerpo en una superficie.

Sin embargo, esto cambia rotundamente cuando se analizan las respuestas del posttest, ya que 15 de los estudiantes identifican correctamente las dos fuerzas que actúan. Los otros participantes o bien recuerdan solo la fuerza normal, o bien creen que no hay ninguna fuerza actuando, lo que puede deberse a una falta de atención durante las demostraciones. Por tanto, la actividad sí ha servido para modificar las ideas previas de los participantes.

Ítem 3: “fuerza” debida a la inercia

Este ítem se trata con la segunda parte de la *Actividad 3. La pelota voladora*. Además, se evalúa con la cuestión 3 del pretest y con la cuestión 2 del posttest. Sin embargo, estas cuestiones son bastante diferentes entre sí, tratando la primera las fuerzas que actúan sobre una pelota de tenis durante su vuelo y la segunda, las fuerzas que actúan sobre una bola de acero lanzada hacia arriba. El intento de unificar las respuestas de ambas preguntas se presenta en la figura 15.

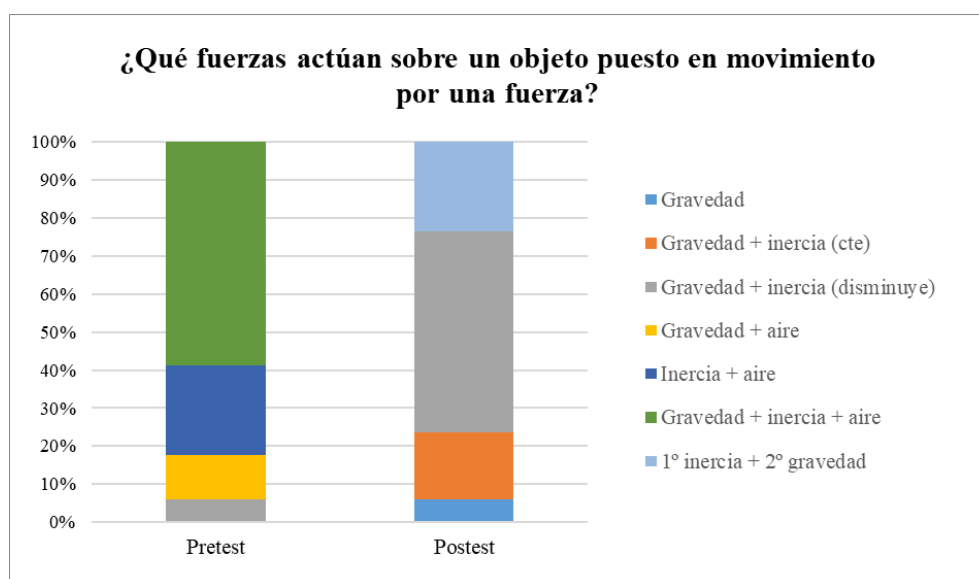


Figura 15. Respuestas a las preguntas pretest y posttest asociadas a las fuerzas que actúan sobre un cuerpo que inició su movimiento por una fuerza.

En esta figura se denomina *inercia* a la fuerza que ha puesto en movimiento al cuerpo, ya sea el golpe de la raqueta o el lanzar la bola de acero hacia arriba. Tanto en el pretest como en el

postest hay un gran porcentaje de los participantes que creen que la fuerza de inercia sigue actuando, disminuyendo con el avance del cuerpo. En el caso de pretest es una creencia esperada, ya que esta idea preconcebida está reflejada en la bibliografía. Sin embargo, en el postest habría cabido esperar alguna mejora. La causa más probable de este hecho es que la pregunta que se realiza en el postest requiere haber comprendido críticamente la explicación realizada. A pesar de que se mencionó que la fuerza del golpe solo actúa de forma puntual, y que un cuerpo en movimiento a velocidad constante no está afectado por ninguna fuerza, estas premisas parecen no haber calado en el alumnado.

Ítem 4.1: trayectoria según el tipo de fuerza que actúa

Este ítem se trabaja con la segunda parte de la *Actividad 3. La pelota voladora* y con la *Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador*, y se evalúa con los ítems 4.1 del pretest y el postest. La unificación de las respuestas de ambas cuestiones se presenta en la figura 16.

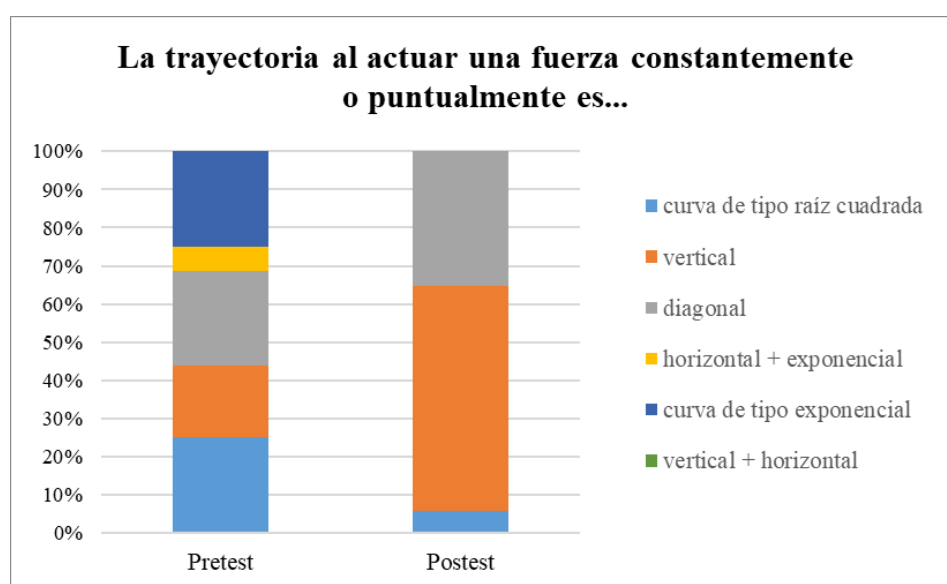


Figura 16. Respuestas a las preguntas pretest y postest asociadas a la trayectoria seguida por un móvil según actúen sobre él fuerzas puntualmente o de manera constante.

Teniendo en cuenta que en la pregunta del pretest la fuerza actuaba de manera constante y en la pregunta del postest actuaba de manera puntual, se observa que los participantes han tenido ideas previas diversas. Sin embargo, se pueden destacar dos cosas. En primer lugar, se aprecia un aumento del número de los estudiantes que responden correctamente a esta cuestión, ya que pasan de ser cuatro a ser seis. Y, segundo, existe una idea preconcebida bastante fuerte acerca de que, al actuar una fuerza de manera puntual, esta va a cambiar totalmente la trayectoria del disco de hockey de la pregunta del postest. Esto último puede deberse a que, en la vida real, en este tipo de situaciones la velocidad conferida por el golpe suele ser mucho mayor que la que lleva el objeto en la dirección perpendicular, lo que hace que parezca que la trayectoria pasa a ser vertical.

Además, de entre las preguntas del *FCI* seleccionadas en esta investigación, esta es la única que podría introducir un sesgo de género según Traxler et al. (2018). Sin embargo, revisando la información sobre los participantes, entre los cuatro que responden correctamente en el pretest hay dos mujeres y dos hombres, mientras que en el postest responden adecuadamente cuatro mujeres y dos hombres. Por tanto, en este caso concreto no existe un sesgo de género que pueda dificultar la respuesta a las mujeres y la pregunta conserva su validez y utilidad.

Ítem 4.2: evolución de la velocidad según el tipo de fuerza que actúa

Este ítem se trabaja con la *Actividad 2. El anillo conductor de camiones*, la segunda demostración de la *Actividad 3. La pelota voladora* y la *Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador*, en donde se ve que la velocidad no cambia porque no actúa fuerza sobre el anillo, que la velocidad cambia de manera constante por la acción constante de una fuerza y que la velocidad cambia solo en un cierto instante, respectivamente. Las respuestas a los ítems de los dos cuestionarios relacionados con estos contenidos se presentan en la figura 17.

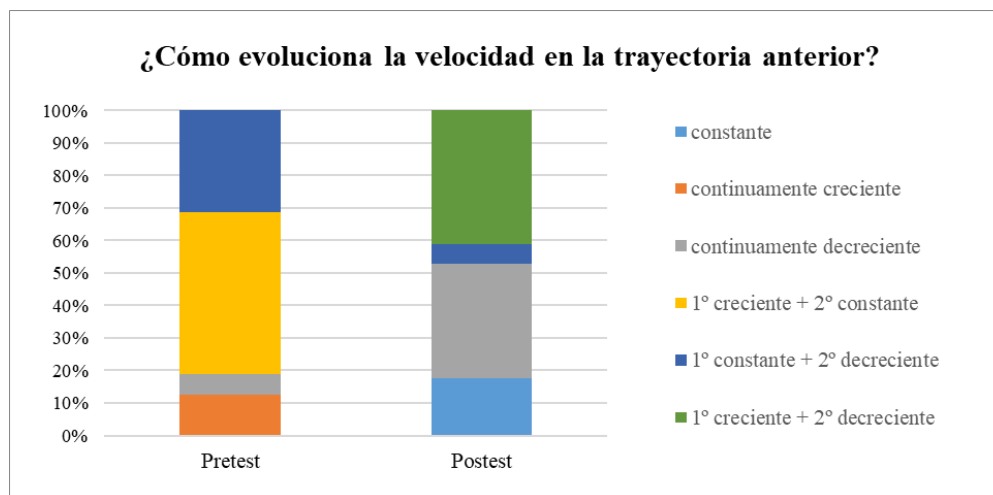


Figura 17. Respuestas a las cuestiones pretest y posttest relacionadas con la evolución de la velocidad ante la presencia o ausencia de fuerzas.

En este caso también se produce un aumento del número de respuestas correctas, siendo tres en total. Si bien son pocos alumnos, demuestran que la actividad ayuda a reelaborar las ideas preconcebidas. De hecho, las respuestas mayoritarias a ambos ítems no son casuales. Por un lado, la respuesta del pretest puede deberse a una falta de comprensión lectora, ya que dicha opción sería correcta si se preguntara por la situación con los motores encendidos y por lo que pasa después, no sólo por la primera. Y, por otro, en el posttest puede que hayan ignorado las condiciones de idealidad y respondido según su recuerdo de la secuencia de actividades.

Por último, en la figura 18 se presentan las impresiones que han tenido los estudiantes con la realización de esta actividad.

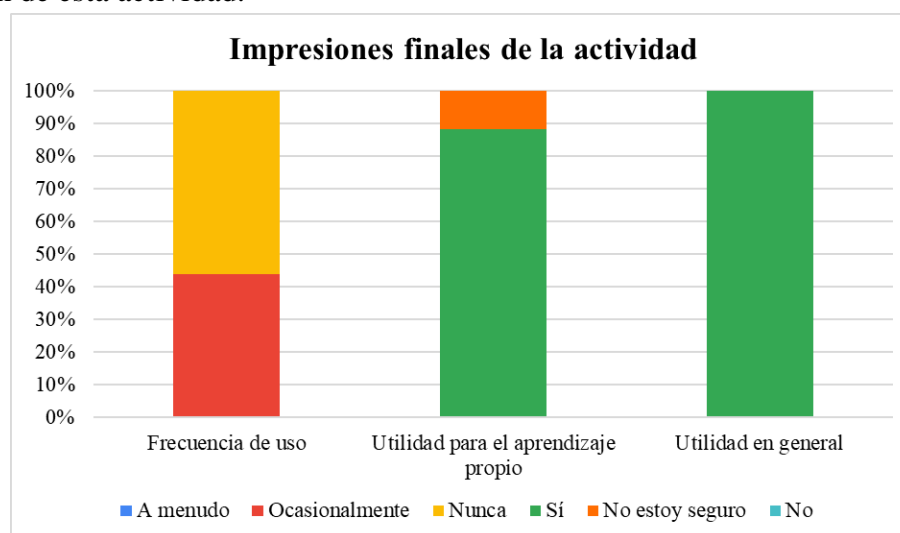


Figura 18. Impresiones finales de los participantes en la actividad sobre su frecuencia de uso y su utilidad para el aprendizaje (el suyo propio y en general).

En ella se aprecia que, a pesar de las pocas ocasiones en que puedan haber realizado este tipo de actividades, los alumnos valoran enormemente la utilidad de este tipo de demostraciones en el aula, considerando que les ha servido de utilidad para aclarar sus ideas. Con esto, además mostrar el poder de las secuencias *POE* para reelaborar las ideas previas del alumnado, también se enfatiza su efecto como elemento de motivación para el aprendizaje.

Conclusiones

En este punto del informe es interesante recordar los objetivos propuestos al inicio del trabajo. Debido a la importancia de las actividades prácticas sobre la motivación y el aprendizaje significativo del alumnado y las dificultades para introducirlas en el aula, se propuso una secuencia de actividades siguiendo la estrategia *Predecir, Observar y Explicar (POE)*, para reelaborar las ideas previas de estudiantes de 4.º ESO acerca de la primera ley de Newton.

Para ello, fue necesaria una revisión acerca de las ideas previas de los estudiantes en relación con este tema, al ocupar el alumno una posición estratégica dentro del proceso de enseñanza y aprendizaje que involucra la puesta en práctica de esta propuesta. Dichas ideas han resultado estar en concordancia con muchas de las respuestas de los estudiantes. Esto ocurrió durante todo el desarrollo de la propuesta didáctica, aunque especialmente en el pretest, como era de esperar, y fue aprovechado para enfocar las preguntas del seguimiento de la actividad y las explicaciones de las demostraciones a atacar algunas concepciones erróneas relacionadas con la ley de inercia, pero también con las trayectorias, la segunda ley de Newton o los tipos de fuerzas. Además, con estas actividades se han intentado trabajar no solo las dificultades conceptuales, sino también las de tipo procedimental: la formulación de hipótesis y predicciones, el establecimiento de conclusiones o la identificación de variables. Sin embargo, debido al poco tiempo disponible para realizar las demostraciones en el aula, estas dificultades procedimentales no han podido ser totalmente eliminadas.

Y no solo eso, sino que se ha buscado el pragmatismo y el desarrollo de la competencia digital a la hora de plantear las actividades. Para lo primero se ha priorizado el uso de objetos de la vida cotidiana o con un bajo coste, para que el gasto económico no sea una excusa que impida agregar estas actividades a la planificación docente de otros profesores. No obstante, si se dispone de una mayor cantidad de recursos económicos y materiales, esta propuesta se podría plantear para ser realizada en pequeños grupos (2-3 alumnos). El docente pediría una predicción individual o de cada pareja o trío, y dichos equipos harían cada experimento de manera independiente, para luego debatir sus explicaciones en gran grupo y que el docente complementa estas con la explicación real, tal y como hicimos en la asignatura *Enseñanza Práctica de la Física*. Por otra parte, si no se dispone de una herramienta digital como *Wooclap*, la actividad puede realizarse utilizando la pizarra y folios para que cada estudiante escriba su respuesta a las cuestiones. Sin embargo, esto implicaría la pérdida de la oportunidad de trabajar la competencia digital del alumnado.

La evaluación de la propuesta se ha realizado en un grupo de participantes del nivel educativo al que estaba enfocada, 4.º ESO, empleando un conjunto de instrumentos de recogida de información. Todos estos instrumentos fueron cuestionarios, de diversos tipos: *formularios de Google* para la información personal, intereses sobre la asignatura de *Física y Química* e impresiones finales sobre la actividad; cuestionarios basados en el *Force Concept Inventory* para el pretest y el postest, así como unos eventos en *Wooclap* para garantizar el seguimiento de las actividades. Esta información se utilizó para cuantificar el grado de aprendizaje adquirido por los participantes, mediante la ganancia normalizada promedio individual y a nivel grupal, así como para caracterizar las variables de estudio. Se ha encontrado que la mayoría de los estudiantes tienen un grado de aprendizaje intermedio, pareciendo existir una relación positiva entre un mayor grado de aprendizaje y haber cursado durante más tiempo la

asignatura de *Física y Química*, ser mujer o haber obtenido una calificación de notable o sobresaliente en la asignatura de *Física y Química* el curso anterior.

Volviendo a la reelaboración de ideas preconcebidas, la secuencia de enseñanza ha demostrado ser eficaz para corregir algunas de las ideas previas de los estudiantes: aquellas relacionadas con la inercia en el movimiento circular, el reconocimiento de la fuerza normal de forma muy clara, y aquellas acerca de los cambios en la trayectoria y de la evolución de la velocidad asociada a la trayectoria anterior de forma más discreta, probablemente debido a problemas de comprensión lectora con los enunciados del cuestionario posttest. Solamente ha habido una idea que no se ha podido erradicar, la asociación de una fuerza de inercia que se va agotando con el movimiento, lo que puede deberse a que la forma de preguntar en el posttest requería no solamente interiorizar la información, sino aplicarla críticamente. No obstante, casi todos los estudiantes valoraron muy positivamente la actividad, tanto para su propio aprendizaje como de cara a la posible implantación de este tipo de actividades de manera más frecuente en el aula.

Todo lo anteriormente mencionado lleva a plantear la realización de una serie de modificaciones a la propuesta didáctica original que la perfeccionen para potenciar la reelaboración de las concepciones erróneas que no han sido eficazmente combatidas. La nueva propuesta se podría aplicar a uno o varios grupos de 4.º ESO y las demostraciones se realizarían al inicio de cada sesión del tema. Además, podrían ampliarse para incluir experimentos que trabajen la tercera ley de Newton, que en las referencias consultadas es señalada como otro contenido conceptual susceptible de generar muchas ideas preconcebidas. Además, las preguntas de la fase “explicar” serían de carácter abierto, para que el alumnado se exprese y aprenda a razonar crítica y científicamente sobre los fenómenos observados. Sin embargo, el punto más importante es integrar esta secuencia de actividades dentro de la unidad didáctica sobre la dinámica, ya que de ese modo los alumnos podrán asociar perfectamente las demostraciones realizadas por el profesor con el temario y afianzar esos conceptos como parte de la asignatura. Todo para conseguir que el estudiante esté motivado, enfocado en su aprendizaje y desarrollándose para ser un ciudadano activo y científicamente alfabetizado en nuestra sociedad actual.

Bibliografía

- Badruldin, N. A., y Alias, S. N. (2022). Level of Conceptual Understanding Among Secondary Students on Topic of Forces and Motion Using Half-Length Force Concept Inventory (HFCI). *ICCCM Journal of Social Sciences and Humanities*, 1(2), 12-20. <https://doi.org/10.53797/icccmjssh.v1i2.2.2022>
- Budini, N., Marino, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C., y Giorgi, S. (2019). Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 107-114. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26535>
- Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de innovación educativa*, 9, 61-68. <https://formacioncontinuaedomex.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/anexo-s1p1.pdf>
- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En M. P. Jiménez Aleixandre (Ed.), *Enseñar Ciencias* (1.^a ed., pp. 95-118). Graó.
- Centro de Aprendizaje de Google Workspace. (2024). *¿Qué puedes hacer con Formularios?* <https://support.google.com/a/users/answer/9302965?hl=es>
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., y Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1079. <https://doi.org/10.1119/1.12290>
- Chrysostomou, A., Carleschi, E., Cornell, A. S., y Naylor, W. (2021). Polarising questions in the Force Concept Inventory. *South African Institute of Physics 2021 Conference Proceedings*, 412-417. <https://saip.org.za/Proceedings/Track%20E/67.pdf>
- Chrysostomou, A., Cornell, A. S., y Naylor, W. (2024). A three-year comparative study of dominant misconceptions among first-year physics students at a South African university. *Physics Education*, 59(1), 1-15. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad14ea>
- Crouch, C., Fagen, A. P., Callan, J. P., y Mazur, E. (2004). Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *American Journal of Physics*, 72(6), 835-838. <https://doi.org/10.1119/1.1707018>
- de Pro, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la física. En M. P. Jiménez Aleixandre (Ed.), *Enseñar ciencias* (1.^a ed., pp. 175-202). Graó.
- Decreto 235/2022, de 7 de diciembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Boletín Oficial de la Región de Murcia 42535 (2022).
- Educación 3.0. (2021, diciembre 26). *Conoce Wooclap y cómo puedes usarla en el aula*. <https://www.educaciontrespuntocero.com/recursos/wooclap/>
- Fulmer, G. W. (2015). Validating proposed learning progressions on force and motion using the Force Concept Inventory: Findings from Singapore Secondary Schools. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(6), 1235-1254. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9553-x>
- Gunstone, R. F., Gray, C. M. R., y Searle, P. (1992). Some long-term effects of uninformed conceptual change. *Science Education*, 76(2), 141-158. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760206>

- Gunstone, R. F., y White, R. T. (1981). Understanding of Gravity. *Science Education*, 65(3), 291-299. <https://doi.org/10.1002/sce.3730650308>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1). <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Halloun, I., Hake, R., Mosca, E., Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1995). *Force Concept Inventory (revised 1995)*. https://web.archive.org/web/20170809233640id_/http://www.sfu.ca/phys/140/FCI-Rv95.pdf
- Hestenes, D., y Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502-506. <https://doi.org/10.1119/1.2344278>
- Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Institute of Physics. (2024). *IOPSpark. Misconceptions*. Institute of Physics. <https://spark.iop.org/misconceptions>
- Joyce, C. (2006). *Predict, Observe, Explain (POE)*. <https://arbs.nzcer.org.nz/predict-observe-explain-poe>
- Kahoot! (2024). *What is Kahoot!?* <https://kahoot.com/what-is-kahoot/>
- Marulanda, J., y Gómez, L. (2006). Experimentos en el aula de clase para la enseñanza de la física. *Revista Colombiana de Física*, 38(2), 699-702. <https://www.researchgate.net/publication/28116752>
- McMillan, J., y Schumacher, S. (2005). Modalidades de investigación, técnicas de recogida de datos e informes de investigación. En *Investigación educativa. Una introducción conceptual* (5ª, pp. 37-85). Pearson Addison Wesley.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2023). *PISA 2022. Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes. Informe español*. https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/pisa-2022-programa-para-la-evaluacion-internacional-de-los-estudiantes-informe-espanol_183950/
- Mora, C., y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(1), 72-86. http://www.lajpe.org/jan09/13_Cesar_Mora.pdf
- Sadanand, N., y Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. *The Physics Teacher*, 28(8), 530-533. <https://doi.org/10.1119/1.2343138>
- Stepans, J. (2006). *Targeting Students' Science Misconceptions: Physical Science Concepts Using the Conceptual Change Model* (4.ª ed.). Showboard.
- Stewart, J., Griffin, H., y Stewart, G. (2007). Context sensitivity in the force concept inventory. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.010102>
- Tomás Serrano, A., y García Molina, R. (2020). Construcción de un aerodeslizador. En *Experimentos de Física y Química en tiempos de crisis* (pp. 43-46). edit.um. <https://doi.org/10.6018/editum.2421>

- Traxler, A., Henderson, R., Stewart, J., Stewart, G., Papak, A., y Lindell, R. (2018). Gender fairness within the Force Concept Inventory. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 1-17. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010103>
- Vázquez Dorrió, J. B., García Parada, E., y González Fernández, P. (1994). Introducción de demostraciones prácticas para la enseñanza de la física en las aulas universitarias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 63-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4485>
- Vidal Fernández, M. del C. (2008). *Física y Química 4 ESO. Proyecto «La Casa del Saber»* (1.^a ed.). Santillana.
- Vila, J., y Sierra, C. (2008). Explicación con experimentos sencillos y al alcance de todos de la primera ley de Newton (la ley de la inercia), así como la diferencia entre inercia e inercialidad. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 241-245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2734653>
- White, R., y Gunstone, R. (1992). Prediction — Observation — Explanation. En *Probing Understanding* (1.^a ed., pp. 44-64). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203761342>
- Wooclap. (2024). *Wooclap. Presentaciones interactivas para cursos memorables*. <https://www.wooclap.com/es/>

Apéndice A. Cuestionario pretest

Datos personales

Nombre y apellidos: _____

Curso: _____ Género: _____

¿Has repetido curso alguna vez durante la ESO? _____

En caso afirmativo, ¿qué curso? _____

Información sobre Física y Química (*formularios de Google*)

¿Cuál fue tu nota en *Física* y *Química* el curso pasado? _____

¿Has hecho algún examen de física este curso? ¿Qué nota sacaste? _____

¿Has visto en clase de *Física* y *Química* algo sobre los siguientes temas de la física? ¿Cuánto te gustó cada tema? (**0**=no lo he visto; **1**=lo he visto, pero no me gustó; **2**=lo he visto, me gustó; **3**=lo he visto, me ha encantado). Escoge el que más y el que menos te gustó de todos ellos.

Tema de Física	0	1	2	3
Cinemática (movimiento)				
Dinámica (fuerzas)				
Gravitación				
Presión y fluidos				
Energía				
Electricidad				
Magnetismo				
Luz y sonido				

Tema que más te gustó: _____

¿Por qué? _____

Tema que menos te gustó: _____

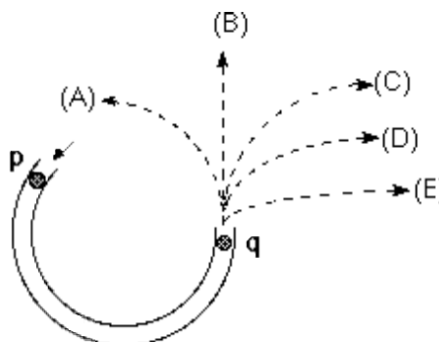
¿Por qué? _____

Cuestiones sobre fuerzas

Contesta las siguientes preguntas relacionadas con lo que vamos a ver durante las experiencias que vamos a realizar en clase.

CUESTIÓN 1. En la figura de la derecha se muestra un circuito circular *visto desde arriba*. El circuito está hecho de un material sin rozamiento y está sujeto sobre una mesa sin fricción. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables.

Una bola es disparada hacia el interior del circuito por “p” y sale por “q”. En la figura de la derecha, rodea la letra que indica el camino que seguirá la bola al salir del canal por “q” si continúa moviéndose sin rozamiento sobre la superficie de la mesa.

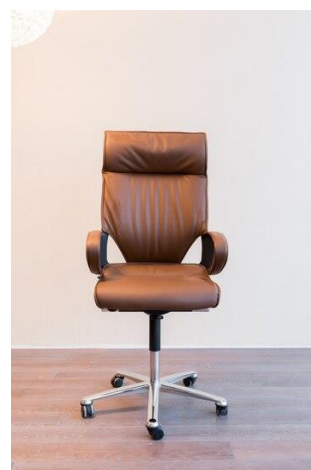


CUESTIÓN 2. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo. Considera las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo.
3. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de oficina?

- (A) solo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 2 y 3.
- (D) 1, 2 y 3.
- (E) ninguna de las fuerzas. (Puesto que la silla está en reposo no hay ninguna fuerza actuando sobre ella).



CUESTIÓN 3. En un día de fuerte viento, una tenista golpea una pelota de tenis con su raqueta. La pelota pasa por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente. Considera las siguientes fuerzas:

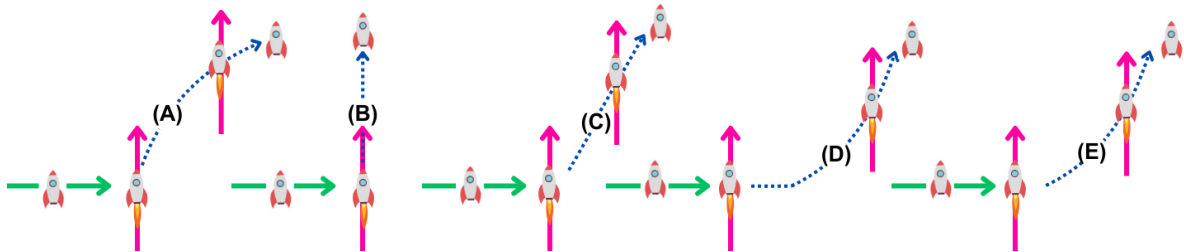
1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza por el "golpe".
3. Una fuerza ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota cuando está pasando por encima de la red?

- (A) solo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 2 y 3.
- (E) 1, 2 y 3.

CUESTIÓN 4. Un cohete flota en el espacio en la dirección de la flecha verde, sin ser afectado por ninguna fuerza. En una cierta posición, los motores se encienden y el cohete es propulsado en dirección perpendicular, según la flecha rosa. Más tarde, los motores se apagan y la propulsión se detiene.

CUESTIÓN 4.1. ¿Cuál de los siguientes caminos representa mejor la trayectoria del cohete mientras tiene los motores encendidos?



CUESTIÓN 4.2. Mientras el cohete es propulsado por los motores la magnitud de su velocidad es:

- (A) constante.
- (B) continuamente creciente.
- (C) continuamente decreciente.
- (D) creciente durante un rato y después constante.
- (E) constante durante un rato y después decreciente.

Apéndice B. Cuestionario postest

Datos personales

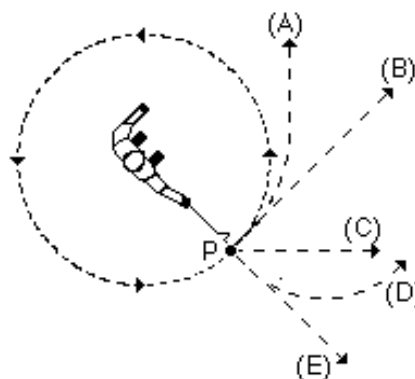
Nombre y apellidos: _____

Curso: _____

Cuestiones sobre fuerzas

Contesta las siguientes preguntas relacionadas con lo que hemos visto durante las experiencias realizadas en clase.

CUESTIÓN 1. En la imagen de la derecha se muestra desde arriba el lanzamiento de peso realizado por un atleta. Este hace girar una bola de acero atada a una cuerda según una trayectoria circular en el plano horizontal. En el punto P la cuerda se rompe. Rodea la opción que representa el camino que seguirá la bola tras la rotura de la cuerda.

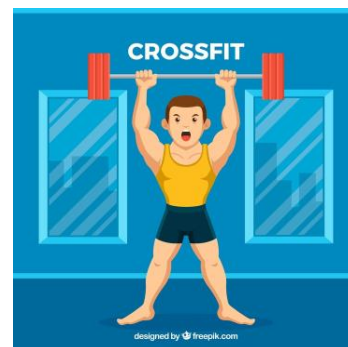


CUESTIÓN 2. Un chico lanza hacia arriba una bola de acero. Considera el movimiento desde que la bola deja de estar en contacto con la mano del chico hasta que alcanza el punto más alto de su trayectoria. Sabiendo que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):

- (A) Su peso, verticalmente hacia abajo.
- (B) Una fuerza que mantiene el movimiento, verticalmente hacia arriba.
- (C) El peso de la bola hacia abajo y una fuerza constante hacia arriba.
- (D) El peso de la bola hacia abajo y una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
- (E) Inicialmente únicamente una fuerza hacia arriba y luego aparece una segunda fuerza hacia abajo.

CUESTIÓN 3. ¿Qué fuerzas actúan sobre la mancuerna de la imagen (la fricción con el aire es despreciable)?

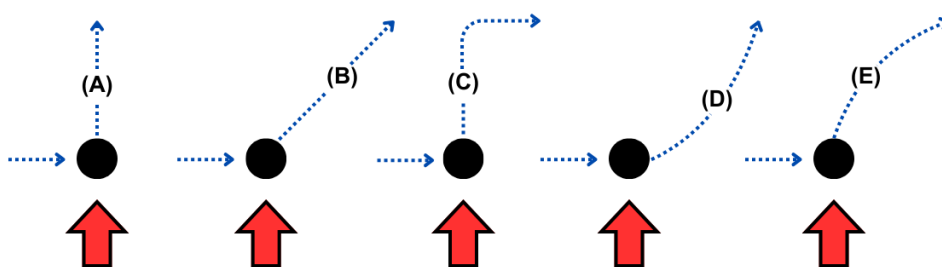
- (A) Ninguna fuerza, ya que está quieta.
- (B) La fuerza hacia arriba que ejerce el deportista.
- (C) La fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (D) La fuerza del deportista hacia abajo y la fuerza gravitatoria hacia arriba.
- (E) La fuerza del deportista hacia arriba y la fuerza gravitatoria hacia abajo.



CUESTIÓN 4. La figura muestra la *vista desde arriba* de un disco de hockey desplazándose con velocidad constante en línea recta desde el punto "a" al punto "b" sobre una superficie horizontal sin fricción. Las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. Cuando el disco llega al punto "b", recibe un golpe horizontal en la dirección de la flecha gruesa.



CUESTIÓN 4.1. ¿Cuál de los caminos siguientes seguirá de forma más aproximada el disco después de recibir el golpe?



CUESTIÓN 4.2. A lo largo del camino *sin fricción* que has elegido en la pregunta anterior, la velocidad del disco después de recibir el golpe:

- (A) es constante.
- (B) aumenta continuamente.
- (C) disminuye continuamente.
- (D) aumenta durante un rato y después disminuye.
- (E) es constante durante un rato y después disminuye.

Impresiones sobre la actividad (*formularios de Google*)

¿Estuviste presente en clase durante la realización de las actividades de demostraciones experimentales sobre la ley de inercia?

☐ Sí☐ No

¿Alguna vez habías realizado actividades de este tipo? ¿Con qué frecuencia?

☐ A menudo☐ Ocasionalmente☐ Nunca

¿Consideras que la actividad te ha servido para aprender?

☐ Sí, siento que tengo más claros los conceptos trabajados.☐ No estoy seguro.☐ No, esta actividad no me ha sido de utilidad.

¿Crees que el uso de este tipo de actividades podría ser útil para la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos relacionados con el movimiento y las fuerzas?

☐ Sí☐ No

Apéndice C. Tablas de datos

Datos del pretest

Datos personales

Tabla 10. Número de participantes según el curso.

Curso	Frecuencia	Porcentaje (%)
4.º ESO A	10	59
4.º ESO B	7	41

Tabla 11. Número de participantes según su género.

Género	Frecuencia	Porcentaje (%)
Mujer	10	59
Hombre	7	41

Tabla 12. Participantes según el curso de Educación Secundaria que han repetido.

Curso repetido en la ESO	Frecuencia	Porcentaje (%)
Nunca he repetido	16	94
He repetido 3.º ESO	1	6

Información sobre Física y Química

Tabla 13. Distribución de calificaciones de la asignatura de Física y Química del curso 2022/23.

Calificación en Física y Química del curso anterior	Frecuencia	Porcentaje (%)
5	2	12
6	2	12
7	4	23
8	4	23
9	3	18
10	2	12

Tabla 14. Número de participantes que han realizado al menos un examen de física en este curso.

¿Has hecho algún examen de física este curso?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí	13	76
No	4	24

Tabla 15. Distribución de calificaciones de los 13 alumnos que sí han realizado un examen de física este curso 2023/24.

Calificación en física este curso	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	1	8
4	3	23
5	1	8
7	3	23
8	3	23
9	1	8
10	1	8

Tabla 16. Distribución de participantes según su interés en la cinemática.

Cinemática	Frecuencia	Porcentaje (%)
Me gustó un poco	6	35
No lo he visto	5	29
Me encantó	5	29
No me gustó	1	6

Tabla 17. Distribución de participantes según su interés en la dinámica (fuerzas).

Dinámica (fuerzas)	Frecuencia	Porcentaje (%)
Me gustó un poco	7	41
No lo he visto	4	24
No me gustó	3	18
Me encantó	3	18

Tabla 18. Distribución de participantes según su interés en la gravitación.

Gravitación	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	10	59
Me gustó un poco	6	35
No me gustó	1	6

Tabla 19. Distribución de participantes según su interés en la presión y los fluidos.

Presión y fluidos	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	11	65
Me gustó un poco	4	24
No me gustó	1	6
Me encantó	1	6

Tabla 20. Distribución de participantes según su interés en la energía.

Energía	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	9	53
No me gustó	3	18
Me gustó un poco	3	18
Me encantó	2	12

Tabla 21. Distribución de participantes según su interés en la electricidad.

Electricidad	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	10	59
Me gustó un poco	5	29
Me encantó	2	12

Tabla 22. Distribución de participantes según su interés en el magnetismo.

Magnetismo	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	14	82
Me gustó un poco	3	18

Tabla 23. Distribución de participantes según su interés en la luz y el sonido.

Luz y sonido	Frecuencia	Porcentaje (%)
No lo he visto	15	88
Me gustó un poco	2	12

Tabla 24. Distribución de los temas de física favoritos entre los participantes.

Tema de física favorito	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cinemática	8	47
Dinámica (fuerzas)	3	18
Energía	2	12
Electricidad	2	12
Gravitación	1	6
Magnetismo	1	6

Tabla 25. Razones por las que los participantes escogen un cierto tema de física como su favorito.

Justificación del tema preferido	Frecuencia	Porcentaje (%)
Interesante / me llamó la atención	5	29
Es fácil / sencillo	3	18
Muy	3	18
El único dado de momento	2	12
Curiosidad	2	12
El examen me resultó difícil	1	6
Nunca lo había dado	1	6
Me gusta el tema	1	6
Lo di en Tecnología	1	6
Disfruto creando diagramas y sistemas eléctricos	1	6
Es lo que se me da mejor	1	6

Tabla 26. Distribución de los temas de física que menos gustan entre los participantes.

Tema de física que menos gusta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Dinámica (fuerzas)	6	35
Cinemática	4	24
Presión y fluidos	3	18
Gravitación	1	6
Energía	1	6
Electricidad	1	6
Magnetismo	1	6

Tabla 27. Razones por las que los participantes escogen un cierto tema de física como el que menos les gusta.

Justificación del tema que menos gusta	Frecuencia	Porcentaje (%)
Muy complicado / difícil	3	18
No lo he visto / dado	2	12
El único que he dado	2	12
No me interesó mucho / no me llama la atención / no me parece nada interesante	2	12
Mucho contenido / muy largo	2	12
Ninguno en especial	1	6
No creo que no me vaya a gustar ningún otro	1	6
No lo entendí / no lo pilló	1	6
Lo vi muy poco	1	6
Anti intuitivo para mí	1	6
Tema un poco básico	1	6
Me gustó más la cinemática	1	6

Cuestionario sobre fuerzas

Tabla 28. Respuestas a la pregunta 1 del cuestionario pretest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
A. Sigue girando	9	53
B. Sigue recto	7	41
C. Gira un poco en dirección contraria	1	6

Tabla 29. Respuestas a la pregunta 2 del cuestionario pretest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
A. Gravedad.	10	59
B. Gravedad + normal (suelo).	3	18
D. Gravedad + normal + aire (abajo).	3	18
C. Normal (suelo) + aire (abajo).	1	6

Tabla 30. Respuestas a la pregunta 3 del cuestionario pretest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
E. Gravedad + golpe + aire.	10	59
D. Golpe + aire.	4	24
C. Gravedad + aire.	2	12
B. Gravedad + golpe.	1	6

Tabla 31. Respuestas a la pregunta 4.1 del cuestionario pretest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
E. Exponencial.	4	24
C. Diagonal.	4	24
A. Curva tipo raíz cuadrada.	4	24
B. Vertical.	3	18
D. Recto y luego exponencial.	1	6
La deja en blanco.	1	6

Tabla 32. Respuestas a la pregunta 4.2 del cuestionario pretest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
D. Creciente durante un rato y después constante.	8	47
E. Constante durante un rato y después decreciente.	5	29
B. Continuamente creciente.	2	12
C. Continuamente decreciente.	1	6

Datos del seguimiento de la puesta en práctica de la secuencia

Actividad 1. Movimiento de una canica que sale de un plato

Tabla 33. Respuestas a la pregunta de la fase “predecir” de la Actividad 1.

¿En qué dirección crees que se moverá la canica al salir del plato recortado?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Se moverá en dirección perpendicular al punto del plato por el que salga, siguiendo una línea recta.	10	59
Seguirá girando por inercia.	7	41

Tabla 34. Respuestas a la pregunta de la fase “observar” de la Actividad 1.

¿Qué has observado?	Frecuencia	Porcentaje (%)
La canica sale en línea recta, en la dirección perpendicular al punto del borde del plato por el que salió.	17	100

Tabla 35. Respuestas a la pregunta de la fase “explicar” de la Actividad 1.

¿Por qué crees que pasa esto?	Frecuencia	Porcentaje (%)
El principio de inercia hace que la canica salga en línea recta, en la dirección que marcaba el vector velocidad en el punto del plato del que salió.	16	94
La canica quiere seguir su movimiento natural (seguir recto).	1	6

Actividad 2. El anillo conductor de camiones

Tabla 36. Respuestas a la pregunta de la fase “predecir” de la Actividad 2.

¿Cómo crees que reaccionará el anillo si mientras conduce el camión choca con el bloque?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Saldrá disparado hacia atrás.	9	53
Saldrá disparado hacia delante.	4	24
Como estaba quieto, se quedará quieto.	2	12
No contesta	2	12

Tabla 37. Respuestas a la pregunta de la fase “observar” de la Actividad 2.

¿Qué has observado?	Frecuencia	Porcentaje (%)
El anillo salió disparado hacia delante.	17	100

Tabla 38. Respuestas a la pregunta de la fase “explicar” de la Actividad 2.

¿Por qué crees que pasa esto?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Porque el bloque ejerció una fuerza sobre el camión y detuvo este, pero no detuvo el anillo y este seguirá el movimiento que llevaba junto con el camión.	13	76
Porque el anillo estaba quieto sobre el camión y quiere seguir moviéndose como lo hacía el camión.	2	12
Porque el anillo siente una fuerza que lo empuja hacia delante.	1	6
No contesta.	1	6

Actividad 3. La pelota voladora

Tabla 39. Respuestas a la pregunta 1 de la fase “predecir” de la Actividad 3.

¿Qué fuerzas están actuando sobre el bloque que está en la mesa?	Frecuencia	Porcentaje (%)
La fuerza de la gravedad y la fuerza normal.	13	76
La fuerza de la gravedad.	2	12
La fuerza de rozamiento del aire (que lo mantiene quieto) y la fuerza de la gravedad.	1	6
No contesta.	1	6

Tabla 40. Respuestas a la pregunta 2 de la fase “predecir” de la Actividad 3.

¿Qué trayectoria seguirá la pelota de golf al dejar la mesa?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Caerá realizando una parábola.	12	71
Caerá de manera vertical hacia abajo nada más dejar la mesa.	3	18
Caerá en diagonal.	2	12

Tabla 41. Respuestas a la pregunta de la fase “observar” de la Actividad 3.

¿Qué has observado?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Ha caído en una trayectoria parabólica.	17	100

Tabla 42. Respuestas a la pregunta de la fase “explicar” de la Actividad 3.

¿Por qué crees que pasa esto?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Al dejar la mesa, la pelota lleva una fuerza hacia delante que se va agotando y va haciendo que la pelota caiga poco a poco, guiada por la actuación constante de la gravedad.	13	76
Al dejar la mesa, la fuerza de la gravedad actúa constantemente sobre la pelota y modifica su velocidad, tanto su dirección como su módulo.	3	18
Al dejar la mesa, la fuerza de la gravedad actúa de forma puntual y modifica la velocidad, tanto en módulo como en dirección.	1	6

Actividad 4. Ley de inercia para un aerodeslizador

Tabla 43. Respuestas a la pregunta 1 de la fase “predecir” de la Actividad 4.

¿Qué crees que va a pasar si lanzo el aerodeslizador sin el globo?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Se va a detener a escasa distancia debido a la fuerza de rozamiento.	13	76
Se va a detener a escasos metros debido a que se queda sin fuerzas.	3	18
No contesta.	1	6

Tabla 44. Respuestas a la pregunta 1 de la fase “explicar” de la Actividad 4.

¿Por qué crees que ha ocurrido esto?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Existe una fuerza de rozamiento actuando sobre el aerodeslizador durante todo su movimiento.	14	83
El aerodeslizador pierde la fuerza que le hemos dado al empujarlo.	2	12
No contesta.	1	6

Tabla 45. Respuestas a la pregunta 2 de la fase de “predecir” de la Actividad 4.

¿Qué crees que va a pasar si dejamos caminar el aerodeslizador con el globo?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Se va a mover a velocidad constante hasta que se quede sin aire en el globo, cuando comience a frenarse.	12	71
Se va a mover a una velocidad variable hasta que se quede sin aire en el globo.	3	18
No contesta.	1	6

Tabla 46. Respuestas a la pregunta de la fase “observar” de la Actividad 4.

¿Qué has observado en cada caso?	Frecuencia	Porcentaje (%)
El aerodeslizador sin el globo llega menos lejos que con el globo. Mientras que hay aire en el globo la velocidad del movimiento parece constante.	15	88
El aerodeslizador con el globo llega menos lejos que sin el globo. Mientras que hay aire en el globo la velocidad parece cambiar sin sentido.	2	12

Tabla 47. Respuestas a la pregunta 2 de la fase “explicar” de la Actividad 4.

¿Por qué crees que ocurre esto?	Frecuencia	Porcentaje (%)
El aire que sale del globo disminuye el rozamiento entre el aerodeslizador y el suelo, por lo que el movimiento será más parecido a las situaciones ideales. El movimiento no tiene velocidad totalmente constante porque existe una pequeña fuerza de rozamiento y, en consecuencia, la velocidad cambia ligeramente.	7	41
No contesta.	5	29
El aerodeslizador sin el globo siente la fuerza de rozamiento, y con el globo no, por lo que se mueve más lejos. Como no hay fuerza de rozamiento, la velocidad es constante hasta que se queda sin aire en el globo.	4	24
El aerodeslizador sin el globo tiene menos fuerza que gastar que el aerodeslizador con el globo, por lo que recorre menos distancia. Esta fuerza que tiene la gasta de manera constante.	1	6

Datos del postest

Cuestionario sobre fuerzas

Tabla 48. Respuestas a la pregunta 1 del cuestionario postest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
B. Sigue recto, en dirección tangente.	13	76
C. Sigue recto, con un cierto ángulo respecto a la tangente.	2	12
A. Sigue girando.	1	6
E. Perpendicular a la opción B.	1	6

Tabla 49. Respuestas a la pregunta 2 del cuestionario postest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
D. Peso (abajo) y fuerza decreciente (arriba).	9	53
E. Al inicio, fuerza arriba y luego fuerza abajo.	4	24
C. Peso (abajo) y fuerza constante (arriba).	3	18
A. Peso (abajo).	1	6

Tabla 50. Respuestas a la pregunta 3 del cuestionario postest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
E. Deportista (arriba) + gravedad (abajo).	15	88
A. Ninguna (reposo).	1	6
B. Deportista (arriba).	1	6

Tabla 51. Respuestas a la pregunta 4.1 del cuestionario postest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
A. Vertical.	10	59
B. Diagonal.	6	35
E. Tipo raíz cuadrada.	1	6

Tabla 52. Respuestas a la pregunta 4.2 del cuestionario postest.

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje (%)
E. Constante durante un rato y después disminuye.	7	41
C. Disminuye continuamente.	6	35
A. Constante.	3	18
D. Aumenta durante un rato y después disminuye.	1	6

Impresiones sobre la actividad*Tabla 53. Frecuencia con la que los participantes han realizado actividades basadas en la estrategia POE.*

¿Alguna vez habías realizado actividades de este tipo? ¿Con qué frecuencia?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Nunca.	9	53
Ocasionalmente.	8	47

Tabla 54. Impresiones acerca del aprendizaje con la actividad.

¿Consideras que la actividad te ha servido para aprender?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí, siento que tengo más claros los conceptos trabajados.	15	88
No estoy seguro.	2	12

Tabla 55. Impresiones acerca de la utilidad de las demostraciones que siguen la estrategia POE.

¿Crees que el uso de este tipo de actividades podría ser útil para la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos relacionados con el movimiento y las fuerzas?	Frecuencia	Porcentaje (%)
Sí	17	100