



---

**Universidad de Valladolid**

Trabajo Fin de Máster

Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y  
Bachillerato, Formación profesional y Enseñanzas de Idiomas

**Estudio de la comprensión de las  
leyes de Newton en alumnos de 4º  
ESO y de 1º Bachillerato**

Autora: Mónica Salamanca Verdugo

Tutor: Manuel Ángel González Delgado

*Curso 2022/2023*



*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”*

Albert Einstein

## **Agradecimientos:**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres, mi hermana y también a Carlos por “aguantarme” y apoyarme en estos dos años de Máster, que han sido duros para mí. Al final, he conseguido hacer lo que me había propuesto, gracias a ellos.

Por supuesto, agradecer a Manuel Ángel González, mi tutor del TFM, por ayudarme, involucrarse y aconsejarme en la realización de este trabajo, así como en el Máster en general. También quiero agradecer a mis directores de Tesis por apoyarme y animarme en poder compaginarlo, que no ha sido tarea fácil.

Quería también hacer mención especial a mi profesora de Física y Química de Secundaria y Bachillerato, Ludi. El gusto por aprender e involucrarse en la enseñanza me influyó en mi camino y hace que hoy esté donde estoy. Gracias por tu dedicación, así como exigencia.

Con la entrega de este TFM, cierro otra etapa, dura y bonita, y muchas gracias a todos ellos que habéis participado, profesores, compañeros y alumnos de prácticas. Siempre he aprendido algo nuevo de vosotros.

Para finalizar, mencionar a mis amigos, los que están en todo momento, en las buenas y en las malas: los de la carrera, los del doctorado y los de mi pueblo (Cuéllar) gracias a todos por vuestra paciencia, ánimos y todos los momentos vividos, y... ¡los que nos quedan!

## Resumen

En la enseñanza de las ciencias, en particular de la física y la química, se ha observado que los alumnos suelen enfrentar dificultades para comprender ciertos conceptos en estas disciplinas. Estas dificultades persisten a lo largo del tiempo y se extienden a nivel global, lo que plantea un problema fundamental que requiere una investigación educativa exhaustiva. En este sentido, se han llevado a cabo numerosas investigaciones educativas en las últimas décadas con el objetivo de identificar las dificultades específicas y determinar las mejores soluciones propuestas para abordarlas.

Este trabajo de fin de máster se centra en los contenidos sobre las leyes de Newton con el objetivo de buscar dificultades en la comprensión de dichas leyes, tanto en alumnos de 4ºESO como en alumnos de 1º de Bachillerato. Para ello se han empleado como herramienta cuestionarios antes (pretest) y después (postest) de ver los contenidos sobre las leyes de Newton de dos centros, uno concertado situado en Valladolid y otro público en Palencia.

El análisis de los resultados de los cuestionarios nos da noción de las ideas previas de las que parten los alumnos y si estas ideas cambian después de dar los contenidos sobre las leyes de Newton y observar si se ha logrado un aprendizaje significativo.

Los resultados presentados resultarán valiosos para investigaciones futuras en el ámbito de la enseñanza, ya que permitirán desarrollar secuencias de enseñanza-aprendizaje que tengan en cuenta las ideas previas de los alumnos. Esto, a su vez, fomentará un aprendizaje más significativo en los estudiantes.

## **Abstract**

In the teaching of science, particularly physics and chemistry, it has been observed that students often face difficulties in understanding certain concepts in these disciplines. These difficulties persist over time and extend globally, posing a fundamental problem that requires comprehensive educational research. In this regard, numerous educational studies have been conducted in recent decades to identify specific difficulties and determine the best proposed solutions to address them.

This master's thesis focuses on the content related to Newton's laws with the aim of identifying difficulties in understanding these laws among students in 4th year of secondary school and 1st year of high school. To achieve this, pretest and posttest questionnaires were used as tools before and after covering the content on Newton's laws in two schools, one concerted located in Valladolid and another public in Palencia.

The analysis of the questionnaire results provides insights into the students' prior knowledge and whether these ideas change after being exposed to the content on Newton's laws and observing if significant learning has been achieved.

The presented results will be valuable for future research in the field of education as they will enable the development of teaching and learning sequences that consider students' prior knowledge. This, in turn, will encourage more meaningful learning for the students.

# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
1.1.Contexto educativo	7
1.2.Didáctica de las Ciencias experimentales .....	7
1.3.Contexto científico	8
1.4.Justificación e importancia del tema .....	9
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Revisión bibliográfica y contenidos curriculares.....</b>	<b>11</b>
3.1.Antecedentes: dificultades de los alumnos .....	11
3.2.Contenidos curriculares .....	12
<b>4. Metodología .....</b>	<b>15</b>
4.1.Toma de datos: cuestionarios .....	15
4.2.Muestra: contexto y características.....	15
4.3.Objetivos epistemológicos .....	16
4.4.Metodología de análisis: fenomenografía .....	18
4.5.Herramientas de análisis: índice de ganancia de Hake y prueba de Fisher .....	19
<b>5. Análisis de los resultados.....</b>	<b>21</b>
5.1.Categorización de las respuestas del alumnado en los pretest y postest.....	21
5.2.Análisis y discusión de los resultados. ....	40
5.2.1. Comparación del pretest y postest de los alumnos de 4º ESO del centro 1. ....	40
5.2.2. Comparación del postest de 4º ESO y pretest de los alumnos de 1º de Bachillerato del centro 2. ....	50
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>59</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>62</b>
<b>8. Anexos.....</b>	<b>69</b>
8.1.Cuestionario pretest. ....	69
8.2.Cuestionario postest.....	71

# 1. Introducción

## 1.1. Contexto educativo

La Educación es fundamental para el desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida de las personas, es decir, constituye la base de la sociedad. Por lo tanto, se debe poner especial interés y eliminar las principales carencias que presenta, más aún cuando se busca alcanzar una educación de calidad, equidad e igualdad tal como lo establece el Objetivo 4 de la Educación 2030 de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas: “*Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.*”

El abordaje del contexto educativo actual en España es complejo debido, entre otras causas, a las grandes diferencias que hay entre los centros educativos, incluso en la misma zona geográfica (González & Hernández, 2016). Además, existen diversos factores que influyen en el rendimiento académico de los estudiantes como son los factores socioeconómicos, el entorno social y familiar, así como factores personales. Además, hay otros aspectos que también deben tenerse en cuenta para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, como la calidad de la enseñanza, la motivación y el apoyo emocional (Barrios & Frías, 2016). Por lo tanto, como docentes, es importante estar atentos a todos estos factores y contribuir en la mejora educativa y rendimiento de los estudiantes.

## 1.2. Didáctica de las Ciencias experimentales

El aprendizaje de las Ciencias Naturales conlleva a los estudiantes una gran dificultad y se convierte en un obstáculo para su aprendizaje debido en parte, a la no comprensión de los conceptos relacionados con la materia tanto en alumnos de secundaria como de universidad (Driver, 1989). Los conceptos científicos, en especial en Física, requieren de abstracción y de gran variedad de fórmulas, lo cual puede presentar dificultades para muchos estudiantes debido a las diferencias en el desarrollo de la capacidad de abstracción durante los primeros años en los que se aborda la materia, aproximadamente entre los 12 y 13 años. Esto conlleva al alumnado a tener una percepción negativa sobre la Ciencia y una gran desmotivación al no ver la utilidad en la vida cotidiana. Por tanto, es aquí cuando empieza a ganar notoriedad la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (Ausubel & Fitzgerald, 1961, Agra et al., 2019) y se intenta relacionar los conceptos previos con los nuevos para lograr un aprendizaje efectivo y duradero (OCDE, 2013).

No obstante, cabe destacar el papel fundamental del docente y su influencia significativa en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Esto quiere decir que, si el docente tiene una percepción, visión sobre la ciencia, esto se puede transmitir de manera inconsciente o consciente a los estudiantes, condicionándolos en el aprendizaje (Furió-Gómez et al., 2007). Por tanto, la figura del docente desempeña una función imprescindible y por ello, se requiere de una formación continua y actualizada, que sepan enseñar la relación de los conceptos teóricos con los científicos y acercarlos a los problemas en el mundo actual. Además de participar de forma activa en el proceso de enseñanza-aprendizaje y adaptarse acorde a las necesidades y características del contexto educativo para lograr una educación significativa.

### 1.3. Contexto científico

En el siglo XVII, surgió la teoría newtoniana del movimiento mecánico que es importante porque es un modelo físico macroscópico para describir el movimiento de los cuerpos en el espacio relacionando este movimiento con sus causas eficientes, es decir, las fuerzas (Hernández & de Melo, 2005). La capacidad de la mecánica newtoniana para describir con precisión los fenómenos naturales bajo observación se deriva de la aplicación de las tres leyes del movimiento del físico inglés Sir Isaac Newton, que incorporan la interrelación entre los conceptos físicos de fuerza, masa y aceleración (García & Dell'Oro, 2001). Las tres leyes de la dinámica que resumió Newton fueron (Miguel, 1986):

-Primera ley de Newton o Ley de la inercia, que establece que: Si la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo es nula, permanecerá a velocidad constante.

- Segunda ley de Newton o Ley de la fuerza: La aceleración de un objeto es proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa.  $F = m \cdot a$ , donde F es la fuerza neta, m es la masa del objeto y a es la aceleración del objeto.

- Tercera ley de Newton o Ley de acción y reacción: Por cada acción, hay una reacción igual y opuesta. Es decir, cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro objeto, el segundo objeto ejerce una fuerza igual y opuesta sobre el primer objeto.

Estas leyes han sido fundamentales para explicar y describir el movimiento de los cuerpos sometidos a una fuerza y una determinada aceleración. Además, son aplicables en cualquier situación en la que se describa el movimiento de los objetos, y han sido fundamentales para el desarrollo de la física y la ingeniería moderna. (Duarte et al., 2013).

#### 1.4. Justificación e importancia del tema

En la etapa de enseñanza secundaria, uno de los objetivos es que los estudiantes conozcan y comprendan cuestiones fundamentales de ciencia, como conceptos, leyes y teorías. En Física, la relación entre la fuerza y el movimiento, es decir, las leyes de Newton, ha generado una cantidad de investigaciones en el ámbito de la enseñanza que han puesto de manifiesto las dificultades que los estudiantes encuentran para la comprensión de conceptos como fuerza, masa, inercia e interacción (Sebastiá, 2013).

En la enseñanza, se busca que el aprendizaje sea significativo, es decir, que se relacione con ideas previas que los estudiantes tienen de años anteriores o de su propia experiencia personal. Sin embargo, en ocasiones, puede haber creencias e ideas erróneas que son difíciles de cambiar y perduran durante largos años y, por tanto, el aprendizaje científico no se logra debido a que prevalece las ideas previas de los estudiantes. Varios estudios ponen de manifiesto que las ideas previas de los alumnos juegan un papel primordial y que aquellos profesores que conocen las ideas previas de sus alumnos son capaces de mejorar su aprendizaje (Hestenes et al., 1992; Jones et al., 1999; Mora & Herrera, 2009; Rodríguez, 2022; Campanario & Otero, 2000). Por tanto, es importante que los profesores tengan en cuenta las ideas previas de los estudiantes para poder adaptar la enseñanza a sus necesidades y lograr una educación más efectiva y significativa. (Sebastiá, 2013).

En este Trabajo Fin de Máster se utilizan cuestionarios como herramienta para comprobar el grado de conocimiento y las ideas previas que tienen los alumnos de 4º E.S.O. y 1º de Bachillerato sobre los conceptos newtonianos antes (pretest) y después (postest) de haber estudiado los contenidos. Ambos cuestionarios pretest y postest consisten en varias preguntas de respuesta abierta diseñadas en colaboración por el departamento de física de las universidades de Valencia y del País Vasco para comprobar la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos del modelo newtoniano de fuerza y movimiento (Hestenes et al., 1992).

Por tanto, la finalidad de este trabajo es el estudio de la comprensión de las leyes de Newton, observar y analizar las diferencias pretest y postest y, por tanto, comprobar si se adquiere un aprendizaje significativo o, por el contrario, persisten las ideas previas de los estudiantes. Para llevar a cabo el estudio y realizar los dos cuestionarios (pretest y postest) a alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato en dos centros, uno de Valladolid y otro de Palencia, se ha contado con la colaboración de Beatriz Antolín, compañera y también alumna del presente Máster.

## 2. Objetivos

Con este Trabajo Fin de Máster se pretenden alcanzar los siguiente objetivos:

- I. Comprender cómo entienden los estudiantes de 4º E.S.O y 1º Bachillerato las leyes de Newton.
- II. Determinar el grado de adquisición de conocimiento sobre las leyes de Newton y el uso y comprensión de conceptos de masa, fuerza, aceleración, antes y después de estudiar los contenidos empleando como herramienta, cuestionarios.
- III. Investigar las posibles dificultades que tienen los alumnos cuando estudian las leyes de Newton.
- IV. Analizar si los conocimientos previos de los alumnos prevalecen sobre los contenidos estudiados sobre las leyes de Newton.
- V. Analizar y discutir los resultados obtenidos de las dificultades observadas con relación a estos contenidos específicos de la asignatura de Física y Química, según el nivel académico y centro de estudio.

### 3. Revisión bibliográfica y contenidos curriculares

#### 3.1. Antecedentes: dificultades de los alumnos

Existen varias investigaciones que han abordado las dificultades que tienen los alumnos para comprender y aplicar las leyes de Newton. La mayoría de estas investigaciones han puesto de relieve las dificultades que los estudiantes encuentran para la comprensión de conceptos como fuerza, masa, inercia e interacción. Algunos estudios relevantes en esta área incluyen los trabajos de (Thijs & Van Der Berg, 1995; Gil-Pérez & Carrascosa, 1992; García & Dell’Oro 2001; Furió et al., 2006; Mora & Herrera 2009; Hinojosa & Sanmarti, 2013; Bolaños & Giraldo, 2015; Carcavilla & Puey, 2019). Entre las dificultades sobre el aprendizaje de las leyes de Newton se encuentran:

-Falta de comprensión de la terminología y conceptos básicos: Los estudiantes a menudo tienen dificultades para entender términos como fuerza, masa, aceleración, inercia, acción y reacción, lo que dificulta su comprensión de las leyes de Newton.

-Las que tienen su origen en las ideas intuitivas de los estudiantes, como la concepción aristotélica del movimiento y las nociones de fuerza expuestas en la teoría del ímpetu. Se puede definir ímpetu como impulso, es decir, la “fuerza” que lleva un cuerpo cuando se encuentra en movimiento.

-Dificultades en la visualización de las fuerzas: Los estudiantes a menudo tienen dificultades para visualizar las fuerzas que actúan sobre un objeto y cómo interactúan entre sí.

-La física y las matemáticas presentan una estrecha relación, los fenómenos naturales se modelan por ecuaciones o funciones que describen el comportamiento del mundo que nos rodea, es decir, del universo. De hecho, la segunda ley de Newton se expresa matemáticamente. Por tanto, un estudiante que desee explorar esta ley debe conocer las matemáticas “ocultas” (como vectores) en la misma porque si no va a encontrar dificultades en la resolución de problemas de Newton.

-Otra dificultad se refiere a su concepción del peso. Muchos alumnos se refieren al peso como una fuerza de contacto que hacen las personas sobre los objetos con los que interactúan.

-Confusión de quien realiza la fuerza y quien la recibe, es decir, mezclan acciones y reacciones (2ª y 3ª ley de Newton).

Muchas de estas dificultades anteriormente nombradas se encuentran relacionadas con las ideas más frecuentes que los estudiantes tienen sobre el concepto de fuerza, como mencionan Mora & Herrera, 2009), que son:

-En ausencia de fuerza todo objeto permanece en reposo.

-Todo movimiento tiene una causa.

-Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, ésta lo único que hace es sostener el objeto, evitando así que éste se mueva.

-Los objetos para caer no requieren fuerza, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo.

-En el instante que se suelta una pelota, sobre ella no actúa fuerza alguna.

-Una fuerza constante produce una velocidad constante.

Cabe destacar que parte del alumnado es consciente sobre su inconsistencia de conocimiento y es por ello, que los lleva a la desmotivación de la materia y abandonan los modelos de física y se refugian en una lógica difusa (Hinojosa & Sanmartí, 2012).

Para intentar abordar estas dificultades, diversos estudios han propuesto varias estrategias pedagógicas y propuestas innovadoras, como el uso de demostraciones en vivo, actividades prácticas, basados en problemas (ABP) y uso de TIC's (juegos educativos y simulaciones en línea) (Mendoza & Rodríguez 2020; Ferreira & Rodríguez, 2011; Guayara et al., 2018; Vargas Durango, 2021; López Santos, 2022; Maya Reuto, 2013; Rojas Muñoz, 2022; Mariscal, 2013; Téllez Felipe, 2013). No obstante, es importante abordar estas dificultades para mejorar la comprensión de los estudiantes en esta área de la física y, en general, en la enseñanza de las ciencias. Por ello, conocer las ideas previas de los estudiantes se considera clave para conseguir un aprendizaje significativo y duradero, ya que ayudan a los estudiantes a poder pensar y reorganizar las nuevas ideas con las ideas previas para que el aprendizaje sea efectivo.

### 3.2. Contenidos curriculares

Sabiendo las dificultades conceptuales newtonianas que aparecen frecuentemente en el alumnado en la mayoría de las etapas educativas, hay que conocer cuáles son los contenidos y cómo se distribuyen para cada nivel educativo. Para ello, se ha empleado la Orden EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y

León (32051– 32480) y la Orden EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regulan la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León, 32481–32984.

Las leyes de Newton se introducen por primera vez en 4ºESO en la asignatura de Física y Química como se muestra en la Tabla 1, aunque ya en 2º y 3º de la ESO se comienza a ver la naturaleza de las fuerzas, fuerzas del universo, la fuerza de la gravedad o el peso de los cuerpos.

Tabla 1. Contenidos, Criterios y Estándares, 4º ESO (Bloque 2: El movimiento y las fuerzas).

(Bloque 2: El movimiento y las fuerzas) 4ºESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Naturaleza vectorial de las fuerzas. Composición y descomposición de fuerzas. Resultante.	Reconocer el papel de las fuerzas como causa de los cambios en la velocidad de los cuerpos y representarlas vectorialmente.	Identifica las fuerzas implicadas en fenómenos cotidianos en los que hay cambios en la velocidad de un cuerpo.
		Representa vectorialmente el peso, la fuerza normal, la fuerza de rozamiento y la fuerza centrípeta en distintos casos de movimientos rectilíneos y circulares.
Leyes de Newton	Utilizar el principio fundamental de la Dinámica en la resolución de problemas en los que intervienen varias fuerzas.	Identifica y representa las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento tanto en un plano horizontal como inclinado, calculando la fuerza resultante y la aceleración.
Fuerzas de especial interés: peso, normal, rozamiento, centrípeta.	Aplicar las leyes de Newton para la interpretación de fenómenos cotidianos.	Interpreta fenómenos cotidianos en términos de las leyes de Newton.
		Deduce la primera ley de Newton como consecuencia del enunciado de la segunda ley.
		Representa e interpreta las fuerzas de acción y reacción en distintas situaciones de interacción entre objetos.

Además, las leyes de Newton continúan como contenido en 1º bachillerato en la asignatura de Física y Química como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Contenidos, Criterios y Estándares, 1º Bachillerato (Bloque 7: Dinámica).

(Bloque 7: Dinámica) 1º Bachillerato		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
<p>La fuerza como interacción. Efectos de las fuerzas. Clasificación y propiedades de las fuerzas. Unidades. Composición de fuerzas. Diagramas de fuerzas.</p>	<p>Identificar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y resolver ejercicios de composición de fuerzas.</p>	<p>Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo la resultante, y extrayendo consecuencias sobre su estado de movimiento.</p>
		<p>Dibuja el diagrama de fuerzas de un cuerpo situado en el interior de un ascensor en diferentes situaciones de movimiento, calculando su aceleración a partir de las leyes de la dinámica.</p>
<p>Leyes de Newton. Fuerzas de contacto. Dinámica de cuerpos ligados y equilibrio de traslación. Concepto de tensión. Sistema de fuerzas en planos horizontales, planos inclinados y poleas. Fuerzas de rozamiento. Coeficiente de rozamiento y su medida en el caso de un plano inclinado.</p>	<p>Resolver situaciones desde un punto de vista dinámico que involucran planos horizontales o inclinados y/o poleas.</p>	<p>Calcula el módulo del momento de una fuerza en casos prácticos sencillos.</p>
		<p>Resuelve supuestos en los que aparezcan fuerzas de rozamiento en planos horizontales o inclinados, aplicando las leyes de Newton.</p>
		<p>Relaciona el movimiento de varios cuerpos unidos mediante cuerdas tensas y poleas con las fuerzas actuantes sobre cada uno de los cuerpos.</p>

## 4. Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo y cumplir con los objetivos anteriormente nombrados, ha sido necesario realizar cuestionarios con diferentes preguntas a estudiantes con el fin de sacar conclusiones analizando los resultados obtenidos.

### 4.1. Toma de datos: cuestionarios

Los cuestionarios son una herramienta que se emplea comúnmente tanto con fines educativos como de investigación (Pozzo et al., 2018; García, 2003; Hestenes et al., 1992; Sanmartí et al., 2011).

Los cuestionarios se pueden emplear como herramienta de diagnóstico inicial para analizar la situación de partida de cada estudiante antes de iniciar un proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir, evaluar el conocimiento previo de los estudiantes en un tema específico y adaptarlo a las necesidades detectadas. También pueden ser utilizados para evaluar la efectividad de las estrategias de enseñanza y para identificar las fortalezas y debilidades del plan de estudios, es decir, antes y después de haber dado unos determinados contenidos.

Además, los cuestionarios pueden ser utilizados para evaluar las actitudes de los estudiantes hacia un tema específico, lo que puede ayudar a los docentes a adaptar su enfoque de enseñanza para mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes.

Por tanto, los cuestionarios son una herramienta que pueden proporcionar información valiosa para guiar el diseño de la enseñanza, la planificación de las actividades de aprendizaje y la evaluación del progreso del estudiante en el ámbito educativo. No obstante, hay que tener en cuenta que los cuestionarios deben ser cuidadosamente diseñados para ser relevantes y efectivos. Deben estar estructurados de manera clara y coherente, y deben incluir preguntas que aborden los objetivos de aprendizaje específicos. También es importante asegurarse de que las preguntas sean apropiadas para el nivel de conocimiento y habilidades de los estudiantes.

En resumen, los cuestionarios son una herramienta valiosa para diagnosticar las necesidades educativas de los estudiantes, y pueden ser utilizados para guiar la planificación de la enseñanza y la evaluación del progreso del estudiante por lo que deben diseñarse adecuadamente para que sean relevantes y efectivos.

### 4.2. Muestra: contexto y características.

La muestra de este estudio son 63 estudiantes de ciencias en dos niveles de enseñanza, 4ºESO

y 1º de Bachillerato. De ellos 37 son alumnos que actualmente cursan 4º ESO y 26 son alumnos de 1º de Bachillerato. Los alumnos de 4º ESO pertenecen a los dos centros educativos, al concertado de Valladolid, del que corresponden 23 alumnos y al otro público de Palencia del que forman parte los alumnos restantes, es decir, 14 alumnos. Los alumnos de bachillerato pertenecen únicamente al centro de Palencia de la rama de ciencias.

Al número de alumnos anterior, se han realizado cuestionarios sobre las leyes de Newton. Los cuestionarios pretest, se realizan antes de ver los contenidos y los postest después de haber dado los contenidos y haberse examinado de ellos. Los cuestionarios se encuentran en el Anexo del presente trabajo.

Algunas características generales de los dos centros involucrados en este estudio son:

-El centro concertado de Valladolid cuenta con un total de 652 alumnos repartidos entre todos los cursos desde 1º de infantil hasta 4º ESO mayoritariamente de origen urbano, aunque también cuenta con alumnos de los pueblos de alfoz. El nivel de estudios de las familias podría considerarse medio y el nivel de paro coincide con el de la media nacional. Es un centro familiar y no muy grande y cuenta con un equipo docente formado por 44 profesores, la mayoría de los cuales llevan muchos años en el centro, lo que da mucha estabilidad y organización al centro.

-En el centro público de Palencia, este cuenta con un total de 1400 alumnos de ESO, Bachillerato y ciclos formativos. Los alumnos son de origen urbano, aunque también se encuentran alumnos que proceden de núcleos rurales cercanos. Los alumnos proceden de tanto alumnos de colegios públicos como privados y concertados de las zonas colindantes. Predomina un contexto social y económico medio. En el presente curso 22/23, la plantilla de docentes ha estado formada por 108 profesores de entre todas las especialidades.

No obstante, cabe destacar que los cuestionarios se han realizado durante el periodo de prácticas de forma presencial en los Centros, por lo que se ha tenido que adaptar a los contenidos del curso que llevaba cada centro, y en ocasiones, ya habían dado los contenidos por lo que solo fue posible hacer el cuestionario postest.

### 4.3. Objetivos epistemológicos

El análisis epistemológico de las leyes de Newton sobre fuerza y movimiento es imprescindible tanto para impartir la materia como para evaluar la adquisición de esta. El resultado de este análisis es un conjunto de ideas clave que deben ser estructuradas para enseñar a los estudiantes (Guisasola et al., 2021). Como consecuencia de esas ideas claves, (Leturiondo Uriona, 2022)

junto con los estándares de aprendizaje establecidos en los contenidos anteriormente mencionados en la Tabla 1 y 2, se desarrollan los indicadores de aprendizaje que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Elementos de la epistemología e indicadores de aprendizaje.

Elementos de la epistemología del modelo newtoniano de fuerza y movimiento.	Indicadores de aprendizaje	Cuestión
C.1. El concepto de fuerza es una medida de la interacción entre dos cuerpos A y B. Por tanto, un cuerpo aislado no puede experimentar una fuerza.	i.1. Para un sistema dado: i.1.1. Reconoce las fuerzas que ejercen sobre el mismo y cuál es el agente de estas. i.1.2. Dibuja el diagrama del cuerpo libre.	Q1 (Conejo-caballo). Q2 (mesa-libro). Q3 (dos patinadores-dos sillas).
C.2. La fuerza ejercida por el cuerpo A tiene exactamente la misma magnitud que la ejercida por el cuerpo B, y son simultáneas (3ª ley de Newton). Naturaleza vectorial de la fuerza.		
C.3. La 2ª ley de Newton relaciona la fuerza ejercida sobre un cuerpo y el cambio en su estado de movimiento (la aceleración; magnitud vectorial) que adquiere a través de la magnitud masa inercial.	i.2. Aplica la 2ª ley de Newton al sistema definido: i.2.1. Escribe las ecuaciones con relación al sistema de referencia elegido. i.2.2. Calcula la fuerza resultante del sistema, así como la aceleración tangencial y las diferentes fuerzas que actúan sobre esta.	Q4 (Ane-Jon y Ane). Q5 (movimiento parabólico).
C.4. Como consecuencia de lo anterior, la masa inercial es una propiedad de los cuerpos que mide su resistencia al cambio de su estado de movimiento (1ª ley de Newton).		
C.5. La aceleración resultante se puede descomponer en dos componentes. Una aceleración tangencial (cambia el módulo de la velocidad) y otra normal (cambia la dirección).	i.3. Reconoce que la aceleración resultante puede cambiar tanto el módulo como la dirección del movimiento del sistema: calcula la componente normal de la aceleración.	Q6 (MCR)
	i.4. Habilidades para resolver problemas utilizando procedimientos científicos: plantear problemas, emitir hipótesis, analizar datos, contrastar resultados...	

#### 4.4. Metodología de análisis: fenomenografía

El análisis de las respuestas a las preguntas de los cuestionarios se ha realizado empleando una metodología cualitativa que se conoce como fenomenografía. Esta metodología, que consiste en identificar las diferentes formas en las que los alumnos perciben un fenómeno y clasificar esos razonamientos, ya ha sido previamente usada en otros estudios anteriores (Leturiondo Uriona, 2022; Campos et al., 2021; Rodríguez, 2022; González de Castro, 2022).

Por tanto, la fenomenografía se enfoca en las relaciones que se establecen entre los humanos y el mundo que les rodea, incluyendo las concepciones erróneas que se tienen sobre la realidad. Sin embargo, estas relaciones se consideran interrelacionadas y no se consideran los fenómenos y las concepciones sobre ellos como independientes del sujeto que los experimenta.

Durante las últimas cuatro décadas, la metodología descrita ha sido altamente beneficiosa en la investigación del aprendizaje de los estudiantes (Richardson, 1999). Es especialmente útil para analizar preguntas de respuesta abierta, ya que permite no solo distinguir entre respuestas correctas e incorrectas, sino también evaluar las dificultades que surgen en torno a la temática abordada, establecer una gradación y evaluar la evolución de las respuestas. Por estas razones, se considera que esta metodología es la mejor opción para la investigación llevada a cabo en este trabajo de fin de máster.

Para aplicar esta metodología, una vez que se han obtenido los datos, se debe evaluar al menos el 25% de las respuestas para establecer categorías preliminares en cuanto a la manera de razonar que tienen los estudiantes para cada una de las preguntas realizadas. A partir de esta primera clasificación, se procede a categorizar todas las respuestas, y si se percibe la necesidad de establecer nuevas categorías, estas se agregan y se revisan nuevamente todas las respuestas que podrían encajar en ellas.

Una vez obtenidas las categorías definitivas, en ocasiones otra persona investigadora del trabajo ha de clasificar todas las respuestas obtenidas en las categorías construidas para evaluar la eficacia de las mismas. Una herramienta utilizada para medir la eficacia de la concordancia entre los correctores considerando interpretaciones subjetivas es el coeficiente kappa de Cohen. Este parámetro proporciona una medida cuantitativa del acuerdo entre los correctores y puede tomar valores entre -1 y 1, donde 0 indica un resultado esperado si las categorías se asignaran de manera aleatoria, un número negativo indica una mayor diferencia de lo esperado con respuestas aleatorias, y 1 indica un acuerdo perfecto entre los observadores (Viera & Garrett, 2005; Campos et al., 2020, 2021).

En este trabajo, se emplearon las categorías ya propuestas en un estudio anterior de la temática (Rodríguez, 2022), en donde ya tuvo que modificar y realizar cambios para obtener las categorías definitiva y demostró que las categorías propuestas eran válidas para el análisis debido a que el coeficiente de kappa de Cohen fue muy próximo a 1 en todas las preguntas.

Tabla 4. Interpretación del valor de Kappa.

<b>Valoración del índice Kappa</b>	
<b>Valor de k</b>	<b>Concordancia entre evaluadores.</b>
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Débil
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Buena
0,81 - 1,00	Muy buena

Cuando el valor de kappa se encuentra entre 0.8 y 1 ( $0.8 \leq \kappa \leq 1$ ), se considera que los resultados obtenidos son fiables y que la categorización es válida. Si el valor está fuera de ese rango entonces quizá habría que replantear la clasificación. El valor de kappa se calcula con la fórmula (1):

$$\kappa = \frac{P_0 - P_E}{1 - P_E} \quad (1)$$

Donde  $P_0$  indica la probabilidad en la que los observadores están de acuerdo y  $P_E$  la probabilidad en la que los observadores están de acuerdo por casualidad (Cohen, 1960; Gwet, 2002).

En este trabajo, cuando se han presentado dudas en la categorización de alguna de las respuestas de los alumnos se ha consultado con otro analizador, en este caso Manuel Ángel, tutor del presente TFM, para discutir la categorización adecuada.

Además, en la realización de este trabajo, se ha colaborado con grupos de investigación docente, entre los que destacan Genaro Zavala del Tecnológico de Monterrey y Jenaro Guisasola y Kristina Zuza de la Universidad de País Vasco. Ellos nos han proporcionado herramientas de análisis que han sido utilizadas en este estudio.

#### 4.5. Herramientas de análisis: índice de ganancia de Hake y prueba de Fisher

- Índice de ganancia de Hake

El índice de Hake nos da información acerca de la ganancia en el aprendizaje de los alumnos

comparando el porcentaje de respuestas correctas en el pretest y el porcentaje de respuestas correctas en el postest (Hake, 1998). Se calcula según la fórmula (2) (Coletta et al., 2007):

$$g = \frac{\text{post test (\%)} - \text{pre test (\%)}}{100 - \text{pre test (\%)}} \quad (2)$$

Esta ganancia se considera despreciable cuando  $g < 0,1$ , baja cuando  $g \leq 0,3$ , media si  $0,3 < g \leq 0,7$  y alta cuando  $g > 0,7$  (Castañeda et al., 2018).

- Prueba de Fisher

La prueba de Fisher es una herramienta que se puede utilizar para ver si la diferencia entre dos grupos que han realizado un test es o no significativa, y puede ser de una o dos colas siendo la segunda más exacta. Se calcula de la siguiente manera (Fisher, 1922, Pértega & Pita, 2004):

$$p = \frac{(a + b)! (c + d)! (a + c)! (b + d)!}{a! b! c! d! (a + b + c + d)!} \quad (3)$$

Donde a y b son las frecuencias de respuestas correctas e incorrectas de un grupo, y c y d las del otro grupo. Esta fórmula se obtiene calculando todas las posibles formas en las que podemos disponer n sujetos en una tabla 2 x 2 de modo que los totales de filas y columnas sean siempre los mismos, (a+b), (c+d), (a+c) y (b+d).

*Tabla 5. Comparación de dos variables en dos grupos.*

	Grupo X	Grupo Y	Total
Respuestas correctas	a	c	a+c
Respuestas incorrectas	b	d	b+d
Total	a+b	c+d	n

Considerando como hipótesis nula que no hay diferencias significativas y como hipótesis alternativa que sí las hay, se podrá considerar rechazada la primera y por tanto las diferencias serán significativas siempre y cuando  $p < 0,05$ .

A través de esta investigación, se pretende obtener conclusiones basadas en la comparación de grupos. En este estudio, se analizará la diferencia tanto entre estudiantes de diferentes niveles educativos como dentro del mismo centro y curso.

## 5. Análisis de los resultados

En este apartado se muestran los resultados que se han extraído de los cuestionarios pretest y postest llevados a cabo en el presente Trabajo Fin de Máster para los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato en dos centros, uno en Valladolid (Centro 1) y otro en Palencia (Centro 2). En el Centro 1, se pudo realizar los cuestionarios pretest y postest en 4º ESO. En el Centro 2, se pudo realizar postest en 4º ESO (ya que cuando se pudo realizar el cuestionario habían impartido las leyes de Newton) y pretest en 1º de Bachillerato, ya que no se pudo hacer el postest por falta de disponibilidad de tiempo.

A continuación, se muestran las categorías utilizadas para las respuestas de los cuestionarios, y posteriormente se realizará el análisis y discusión de los resultados obtenidos.

### 5.1. Categorización de las respuestas del alumnado en los pretest y postest.

En este apartado, se analizará cada una de las cuestiones de los pretest y postest, y las respuestas se clasificarán en diferentes categorías. A continuación, se muestran las categorías utilizadas, con ejemplos de respuestas de los alumnos extraídas de los cuestionarios, y posteriormente se realizará el análisis y discusión de los resultados obtenidos. Las categorías empleadas en el presente trabajo ya fueron empleadas y su validez fue comprobada en estudios anteriores (Leturiondo Uriona, 2022; Rodríguez, 2022).

- Cuestión 1

El objetivo de la primera cuestión es comprobar la capacidad que tienen los alumnos para dibujar el diagrama de fuerzas correctamente en una situación en la que solo influye el peso. En el pretest se les pide a los alumnos que identifiquen y dibujen la o las fuerzas que están actuando sobre un conejo que ha saltado y está en el aire. De igual forma, en el postest se muestra un caballo que está saltando vallas.

En la figura 1, se muestran los dibujos de la cuestión 1, del pretest y del postest, respectivamente.

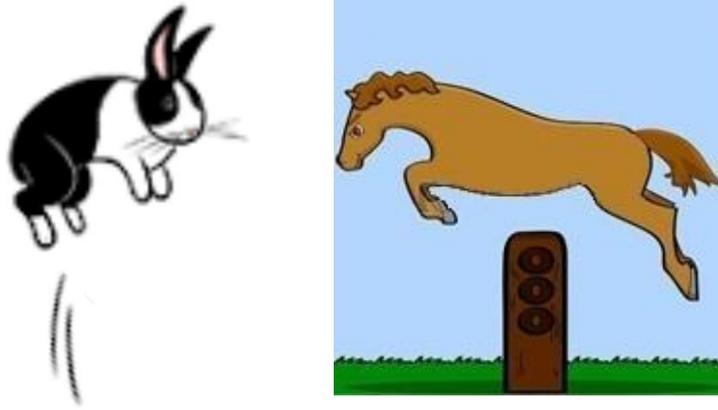


Figura. 1. Imágenes de los enunciados pretest y postest de la cuestión 1.

En la siguiente Tabla 6 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 1, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada categoría en el pretest (N=48) y el postest (N= 38).

Tabla 6. Categorización de la cuestión 1 en pretest y postest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Postest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a la pregunta. Solo dibuja el peso (y la fricción del aire).</b>	<b>16.67</b>	<b>0.00</b>
A1	Correcta y completa.	0.00	0.00
A2	Correcta sin razonamiento.	6.25	0.00
A3	Correcta sin dibujo.	10.42	0.00
<b>B</b>	<b>Aparece la idea de ímpetu.</b>	<b>47.92</b>	<b>92.11</b>
B1	Considera el peso y el ímpetu, y en algunos casos la fuerza de rozamiento.	33.33	71.05
B2	Considera el ímpetu y otras fuerzas.	8.33	15.79
B3	Solo considera el ímpetu.	6.25	5.26
B4	Representa el ímpetu, pero no lo razona.	0.00	0.00
B5	Razona el ímpetu, pero no lo dibuja.	0.00	0.00
<b>C</b>	<b>Dibuja o menciona fuerzas de más: duplica la fuerza gravitatoria.</b>	<b>22.92</b>	<b>0.00</b>
<b>D</b>	<b>Confunde la fuerza con otros conceptos: inercia, masa, velocidad, aceleración, etc.</b>	<b>4.17</b>	<b>5.26</b>
<b>E</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>
<b>F</b>	<b>No responde.</b>	<b>0.00</b>	<b>2.63</b>

En esta cuestión, se encuentran recogidas en la categoría A aquellas respuestas que se han considerado correctas, es decir, aquellas en las que solo se ha dibujado el peso hacia abajo y, opcionalmente, la fricción del aire.

Como puede observarse en la tabla 6, el porcentaje más elevado de respuestas corresponde a la categoría B, en donde aparece la idea de ímpetu, es decir, a aquellas respuestas donde se sugiere que el movimiento de un cuerpo se debe a la acción continua de una fuerza. Además, se destaca el elevado porcentaje de respuestas en esta categoría en el postest. Sin embargo, los resultados en el postest no son representativos debido a que en uno de los centros un alumno dio su opinión en alto y todos contestaron igual, siendo todas las respuestas de la categoría B1. Aun así, la idea del ímpetu sigue muy presente en la mente de los alumnos después de ver los contenidos sobre las leyes de Newton como muestran estudios anteriores (Leturiondo Uriona, 2022; Rodríguez, 2022).

En resumen, se puede apreciar que los alumnos presentan dificultades para identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, tanto en el pretest como en el postest. Tal y como se recoge en la tabla 6, únicamente el 16,7% de los alumnos responde de forma correcta a la cuestión 1 en el pretest, pero no correcta completamente. Esto muestra el escaso conocimiento sobre la dinámica con el que los alumnos llegan a Bachillerato. En el postest, llama la atención que no hay ninguna respuesta correcta, aunque en este trabajo no es del todo concluyente debido a que los resultados no son válidos en uno de los grupos como ya se ha comentado anteriormente. No obstante, se ha visto en la literatura como la idea del ímpetu es una de las principales ideas previas de los alumnos tienen tan arraigadas que incluso puede llegar a aumentar aún más después de ver los contenidos sobre las leyes de Newton (Hestenes et al., 1992). Esto puede deberse a que el contenido impartido, la nueva información, no encaja en los esquemas previos de los alumnos y en vez de modificar los esquemas y reorganizar las ideas, la nueva información se queda fuera de esos esquemas previos no llegando a producir un aprendizaje significativo (Prada et al., 2022).

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 1. Respuesta clasificada en la categoría A3 en el pretest. Estudiante nº 7, 4º ESO del centro 1 (pretest): “Está actuando la gravedad por eso el conejo al poco de saltar cae al suelo”.

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 23, 4º ESO del centro 1 (pretest): “*El conejo ejerce una fuerza contra el suelo, haciéndolo que esa fuerza, pero en sentido contrario lo impulse hacia arriba. (3ª ley de Newton)*”.

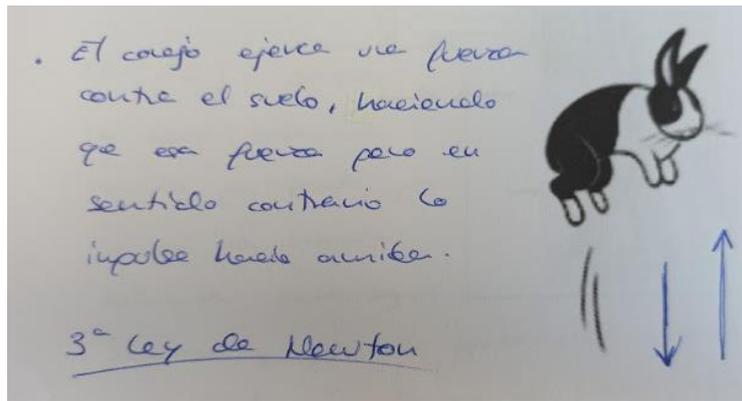


Figura. 2. Ejemplo cuestión 1 categoría B1.

Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 4, 4º ESO del centro 2 (postest): Dibuja el ímpetu y otras fuerzas.

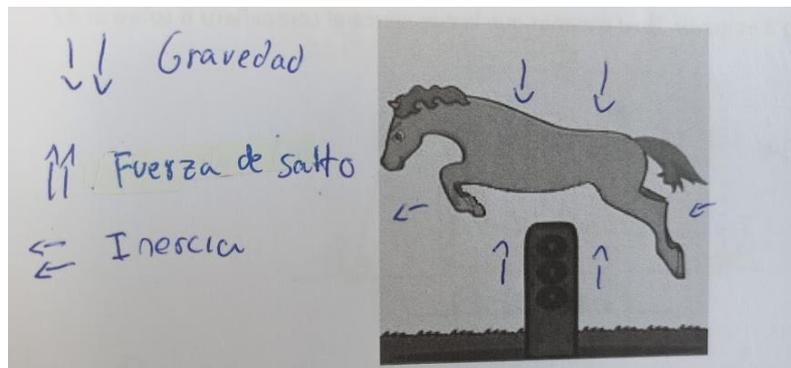


Figura. 3. Ejemplo cuestión 1 categoría B2.

Respuesta clasificada en la categoría C. Estudiante nº 38, 4º ESO del centro 2 (pretest): Dibuja fuerza del peso y la gravedad.

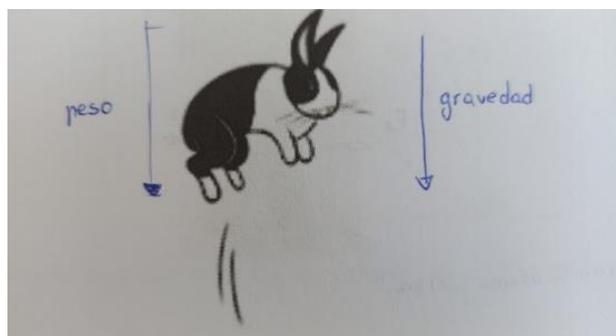


Figura. 4. Ejemplo cuestión 1 categoría C.

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 13, 4º ESO del centro 2 (postest): Considera fuerzas cinética y potencial.

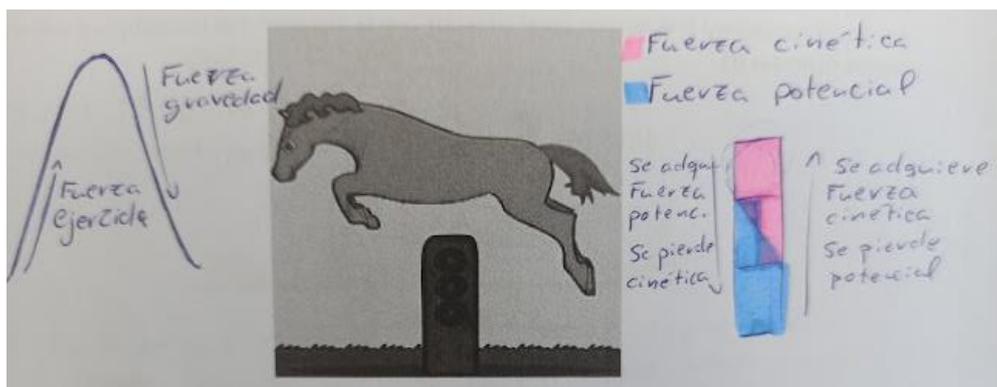


Figura. 5. Ejemplo cuestión 1 categoría D.

Respuesta clasificada en la categoría E. Estudiante nº 12, 4º ESO del centro 1 (pretest):  
*Considera la gravedad y la dibuja hacia arriba.*

- Cuestión 2

Con esta cuestión se pretende analizar la capacidad del alumnado para identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en reposo y observar si dibujan de forma correcta el diagrama de fuerzas. En el pretest se muestra un libro encima de una mesa y se les pide a los alumnos que dibujen las fuerzas que actúan sobre él. También se les pregunta si hay pares de acción-reacción entre las fuerzas que han dibujado. Las preguntas del postest son las mismas, pero en este caso tenemos dos cajas una encima de la otra y se les pregunta lo mismo que en el pretest.

En la figura 6, se muestran los dibujos de la cuestión 2, del pretest y del postest, respectivamente.



Figura. 6. Imágenes de los enunciados pretest y postest de la cuestión 2.

En la tabla 7 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 2, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada categoría en el pretest (N=48) y el postest (N= 38).

Tabla 7. Categorización de la cuestión 2 en pretest y postest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Postest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a la pregunta.</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>B</b>	<b>Dibuja correctamente las fuerzas que actúan (el peso y la fuerza normal), pero no justifica su respuesta de forma correcta.</b>	<b>35.42</b>	<b>52.63</b>
B1	Cree que el peso y la normal son pares de acción-reacción.	6.25	39.47
B2	No responde a la pregunta sobre los pares de acción-reacción.	20.83	13.16
B3	Las razones con las que concluye que no hay pares de acción-reacción no son correctas.	8.33	0.00
<b>C</b>	<b>Dibuja fuerzas de más y/o falta alguna fuerza.</b>	<b>54.17</b>	<b>36.84</b>
C1	No dice nada sobre la acción-reacción.	35.42	21.05
C2	Hace referencia a la acción-reacción existente entre los dos objetos.	14.58	13.16
C3	Solo se representa el peso hacia abajo.	2.08	2.63
C4	Confunde la fuerza con otras magnitudes físicas.	2.08	0.00
<b>D</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>10.42</b>	<b>7.89</b>
<b>E</b>	<b>No responde.</b>	<b>0.00</b>	<b>2.63</b>

En la categoría A se recogen las respuestas que se consideran correctas, es decir, aquellas en las que se han dibujado el peso y la fuerza normal, y se concluye que no son un par de acción-reacción.

Como se observa en la tabla 7, los porcentajes más elevados en el pretest corresponden a la categoría C con un 54.17%, dentro del cual predomina con un 35.42% los alumnos que dibujan fuerzas de más o falta alguna fuerza y no dicen nada sobre la acción-reacción. Sin embargo, en el postest, el porcentaje más alto corresponde con la categoría B con un 52.63%, es decir, dibujan dos fuerzas (peso y normal) pero no justifican correctamente y la mayoría de los alumnos mencionan que son pares de acción-reacción con un 39.47 % (categoría B1). Los resultados indican que en el pretest el porcentaje de alumnos que no respondía a la pregunta era elevado con un 56.25 % (suma de B2 y C1) y en el postest de un 34.21%, ya que después de ver los contenidos parece que lo tenían más claro. Cabe destacar que aumenta el porcentaje de alumnos que mencionan que hay pares de acción-reacción, ya que en el pretest había un 20.83% y en el postest un 52.63% (suma de B1 y C2). Esto puede indicar que la 3ª ley de Newton les crea confusión tras verlo en clase y examinarse de ello. Es posible que quizás los estudiantes asocien la existencia de fuerzas en sentidos opuestos y entiendan que una es de acción y la otra de reacción, pero sin comprender plenamente su significado.

Por tanto, se podría decir que el alumnado presenta grandes dificultades para identificar las fuerzas que actúan sobre un objeto en contacto con otros. Los alumnos que más se acercan a la respuesta correcta, son los que identifican las fuerzas, pero responden mal sobre el par de acción de fuerzas o no responden, es decir, en el pretest un 35.42% y en el posttest un 52.63%, ha aumentado un 17.21% después de impartir los contenidos sobre las leyes de Newton, aunque no esté correcta completamente. Por otro lado, se ha reducido el porcentaje de la categoría C, en donde falta dibujar alguna fuerza o dibujan fuerzas de más entre el pretest (54.17 %) y el posttest (36.84 %) antes y después de la impartición de los contenidos. Por tanto, aunque no hayan alcanzado el conocimiento máximo deseado, una parte considerable del alumnado ha incrementado su conocimiento en esta cuestión.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 2.

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 4, 4º ESO del centro 1 (posttest): *Si, la caja A empuja a la B hacia abajo, y a la vez la B ("empuja") devuelve esa fuerza a la A hacia arriba, lo que hace que la caja A se mantenga encima de la B.*

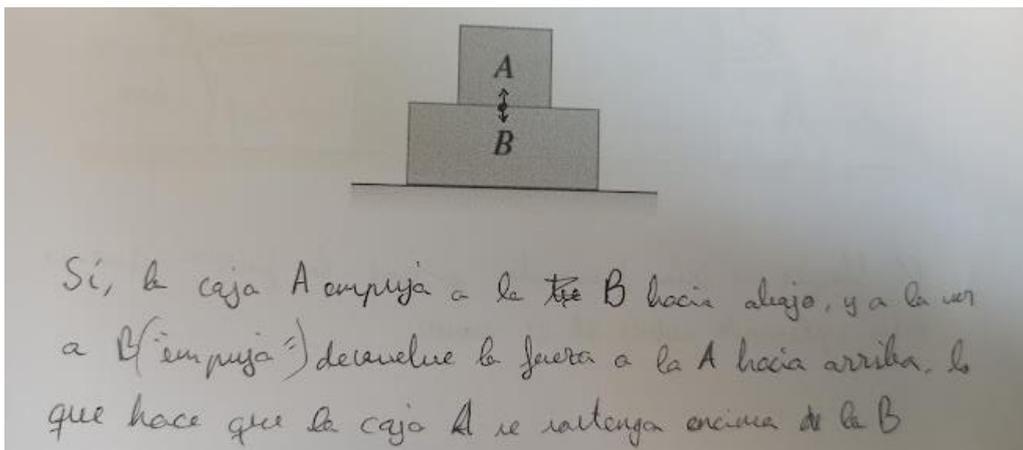


Figura. 7. Ejemplo cuestión 2 categoría B1.

Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 44, 1º Bachillerato del centro 2 (pretest):  
Dibuja fuerza gravedad y normal pero no explica.

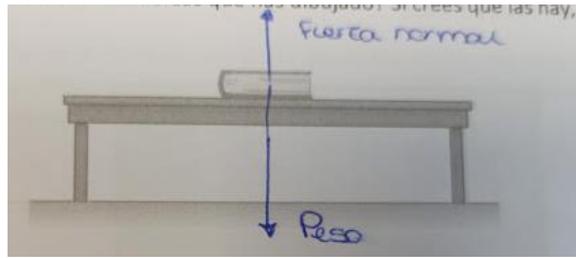


Figura. 8. Ejemplo cuestión 2 categoría B2.

Respuesta clasificada en la categoría C2. Estudiante nº 17, 4º ESO del centro 1 (postest): *Si que hay, el cuerpo A está ejerciendo fuerza sobre el B y este reacciona ejerciendo la misma fuerza, pero en sentido contrario sobre el A.*

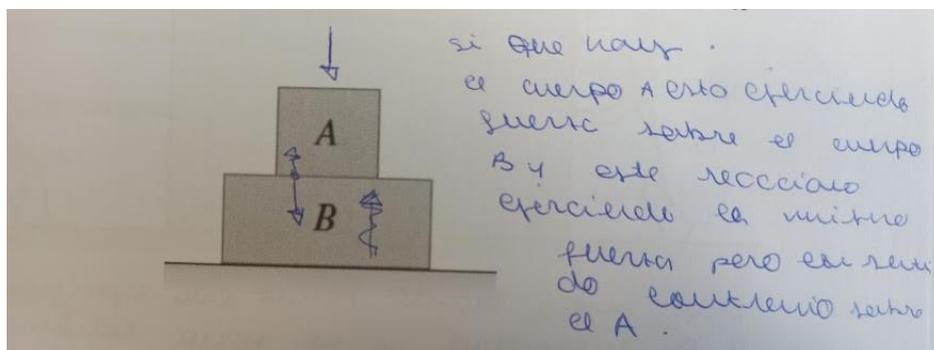


Figura. 9. Ejemplo cuestión 2 categoría C2.

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 12, 4º ESO del centro 1 (pretest): *Si que hay la fuerza de la gravedad envuelta por la mesa.*

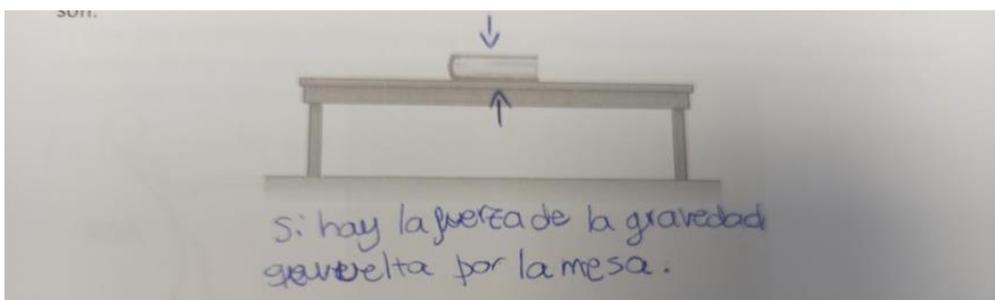


Figura. 10. Ejemplo cuestión 2 categoría D.

- Cuestión 3

El objetivo de esta cuestión es ver si los alumnos entienden las fuerzas como una interacción simultánea entre dos cuerpos y comprenden que estas fuerzas tienen la misma magnitud, independientemente de la masa de los cuerpos y de la fricción con el suelo. En el pretest se muestra a un padre patinando con su hija sobre hielo, y cuando están de frente, se empujan el

uno al otro y empiezan a alejarse. Se les pide a los alumnos que expliquen si creen que la fuerza que ejerce el padre sobre su hija es mayor, igual o menor que la que hace la hija sobre su padre. De igual manera, en el postest se muestra a dos compañeros de diferentes masas que se encuentran el uno frente al otro en sillas de oficina con ruedas y se pregunta lo mismo que en el pretest.

En la figura 11, se muestran los dibujos de la cuestión 3.

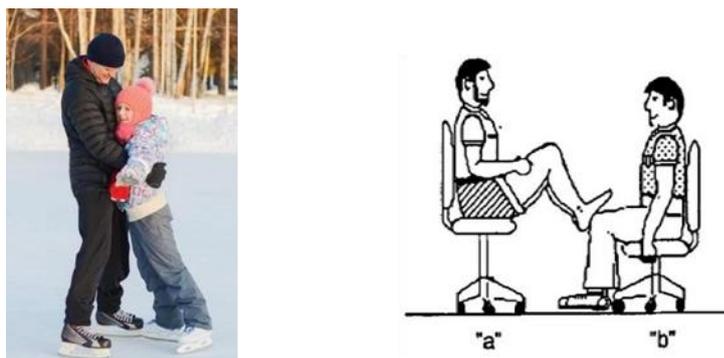


Figura. 11. Imágenes de los enunciados pretest y postest de la cuestión 3.

En la tabla 8 se muestran las categorías para la cuestión 3 y el porcentaje de respuestas de cada una de ellas obtenidas en el pretest (N=48) y el postest (N= 38).

Tabla 8. Categorización de la cuestión 3 en pretest y postest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Postest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a la pregunta. La fuerza que ejerce A sobre B es la misma que ejerce B sobre A.</b>	<b>31.25</b>	<b>18.42</b>
A1	Completa y bien justificada.	12.50	13.16
A2	La explicación no está completa o la terminología no es acertada.	18.75	5.26
<b>B</b>	<b>La fuerza depende de otras variables.</b>	<b>58.33</b>	<b>76.32</b>
B1	Depende de la masa.	31.25	60.53
B2	Depende de la fuerza que "tiene" cada cuerpo.	12.50	0.00
B3	Depende de la distancia que se mueve.	6.25	0.00
B4	Depende de la velocidad que adquiere cada uno.	0.00	0.00
B5	Responde sin razonar.	8.33	15.79
B6	Limita la ley de acción-reacción a casos donde no hay fricción.	0.00	0.00
<b>C</b>	<b>Elige mal el sistema/aplica todas las fuerzas sobre el mismo cuerpo.</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>D</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>8.33</b>	<b>0.00</b>
<b>E</b>	<b>No responde.</b>	<b>2.08</b>	<b>5.26</b>

En la categoría A se encuentran recogidas las respuestas correctas, aquellas en las que los alumnos concluyen que la fuerza que ejerce A sobre B tiene la misma magnitud que la que ejerce B sobre A y son simultáneas, ya que según la tercera ley de Newton para cada fuerza (acción) hay una fuerza igual y opuesta (reacción). Por lo tanto, si tienen distintas masas lo que cambiará será la aceleración.

Esta cuestión ha sido la más fácil de corregir en mi opinión, ya que las respuestas cuadran perfectamente en las categorías empleadas. En la tabla 8, se muestra que el porcentaje más elevado de respuestas corresponde a aquellas donde los alumnos argumentan que la fuerza depende de otras variables (categoría B). Los porcentajes más elevados en el pretest corresponden a los alumnos que creen que la fuerza depende de la masa (B1) con un 31.25 %, y a los que creen que depende de la fuerza que “tiene” cada cuerpo (B2) con un 12.50%. Mientras que en el postest predominan los alumnos que responden que la fuerza depende de la masa (B1) con un porcentaje elevado (60.53%). Además, cabe destacar que disminuye un 12.83% el porcentaje de respuestas completamente correctas (A) en el postest y se reduce a 0 el porcentaje de respuestas incoherentes (D). Esta diferencia de respuestas correctas en la categoría A podría atribuirse al hecho de que en el postest se proporcionaron explicaciones más detalladas y se realizó una categorización más adecuada de las respuestas. En contraste, en el pretest, al contar con menos información, las respuestas se categorizaron de manera más favorable, aunque en la categoría A2 (correcta pero incompleta o terminología no acertada), que es realmente el porcentaje que disminuye un 13.49%, por lo que cuando dieron más detalles se pudo ver que realmente no entienden la 3ª ley de Newton y les crea confusión.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 3.

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 1, 4º ESO del centro 1 (postest): *El compañero A ejerce una fuerza sobre el B, que el B devuelve idéntica al A por la 3ª ley de Newton. La fuerza de rozamiento es igual en ambos casos, pero debido a que la masa es distinta la aceleración que experimentan es distinta, siendo mayor en el caso A que en el caso B.*

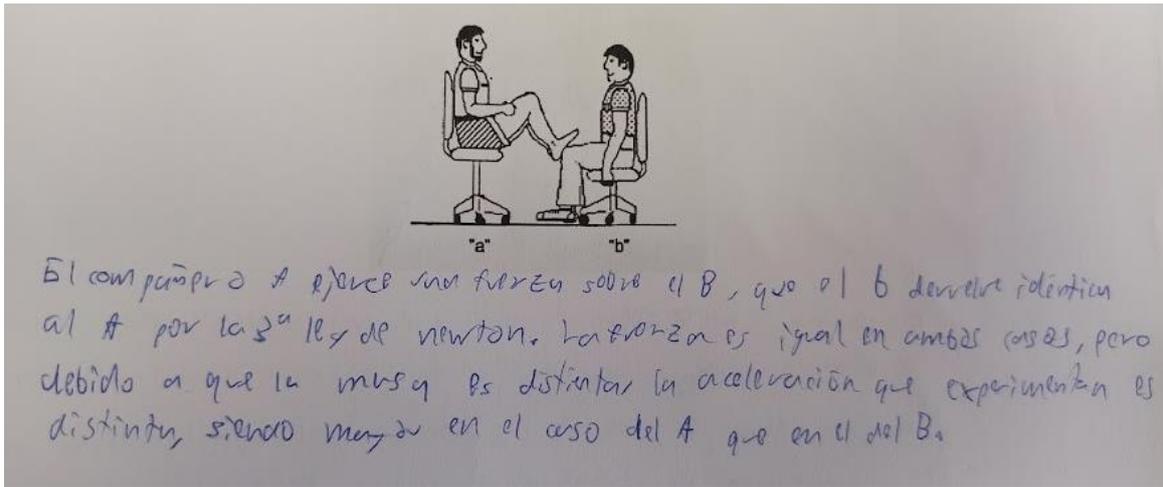


Figura. 12. Ejemplo cuestión 3 categoría A1.

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 6, 4º ESO del centro 1 (pretest):  
*Es igual porque se empujan mutuamente.*

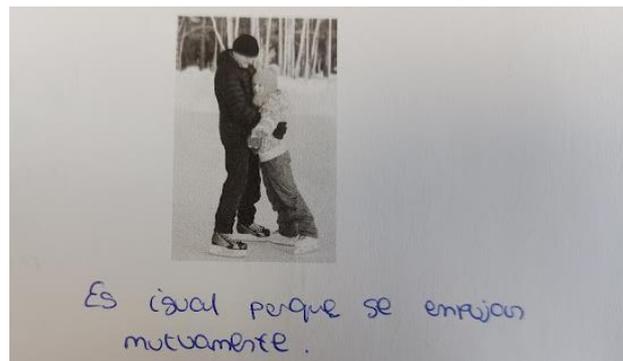


Figura. 13. Ejemplo cuestión 3 categoría A2.

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 26, 4º ESO del centro 2 (postest): *Hace más fuerza el B porque tiene mayor masa. ( $F=m \cdot a$ )*



Figura. 14. Ejemplo cuestión 3 categoría B1.

Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 28, 1º Bachillerato del centro 2 (pretest):  
*La fuerza que ejerce el padre es mayor, ya que él tiene más fuerza que la hija.*

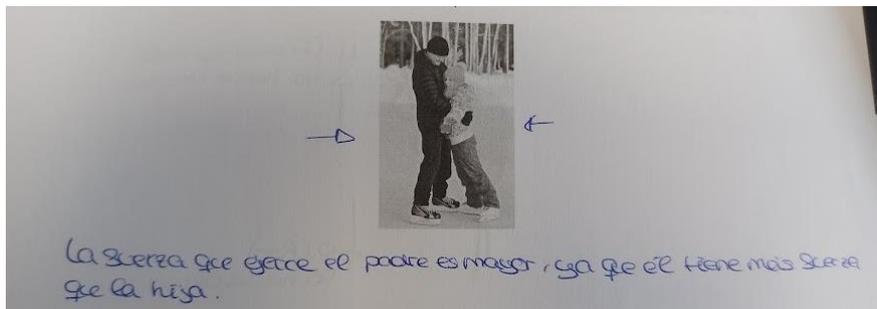


Figura. 15. Ejemplo cuestión 3 categoría B2.

Respuesta clasificada en la categoría B5. Estudiante nº 32, 4º ESO del centro 2 (postest): A  
*ejerce una fuerza sobre B, que es mayor que la fuerza que ejerce B, ya que le está empujando.*



Figura. 16. Ejemplo cuestión 3 categoría B5.

En resumen, si relacionamos estas respuestas con las obtenidas en la cuestión 2, parece que los datos no concuerdan. Se cree que esto puede deberse a que los alumnos “recuerdan” bastante bien la 3ª ley de Newton, pero no la comprenden realmente, ya que, si así fuera, el porcentaje de respuestas correctas en esta cuestión 3 sería mayor en el postest, al igual que en la cuestión 2 deberían de concluir que no hay par de fuerzas acción-reacción y en cambio, la mayoría entiende que sí las hay.

- Cuestión 4

Con esta cuestión se quiere conocer si los alumnos comprenden la relación fuerza-aceleración. En el pretest se muestra a Ane tirando de un bloque y el enunciado dice que el bloque se está desplazando a velocidad constante. En este caso, se les pide a los alumnos que expliquen qué pasaría si Ane dejase de tirar del bloque. En el postest la situación es similar, en este caso Ane

está tirando del bloque y Jon lo está empujando. De igual forma que en el pretest, se les pide a los alumnos que expliquen que es lo que pasaría si Jon dejase de empujar.

En la figura 17, se muestran los dibujos de la cuestión 4, del pretest y del posttest.

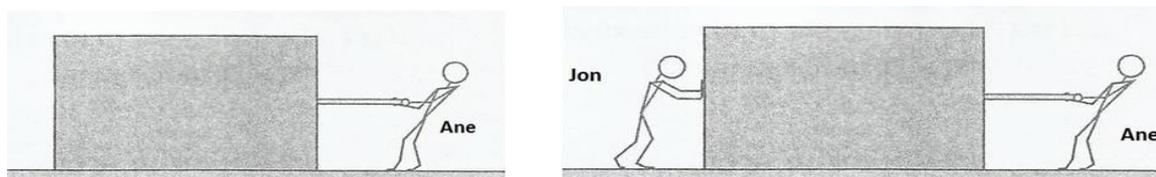


Figura. 17. Imágenes de los enunciados pretest y posttest de la cuestión 4.

Esta cuestión se ha modificado parcialmente y en vez de hacer dos preguntas como en estudios anteriores, se ha plantado una sola pregunta para facilitar el análisis de los resultados.

En la tabla 9 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 4, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada test siendo el número de muestra del pretest (N=48) y el posttest (N= 38).

Tabla 9. Categorización de la cuestión 4 en pretest y posttest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Posttest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a las dos preguntas planteadas.</b>	<b>2.08</b>	<b>13.16</b>
A1	Correcta completa y bien justificada.	0.00	2.63
A2	Correcta incompleta, mal justificada o terminología incorrecta.	2.08	10.53
<b>B</b>	<b>Es necesaria una fuerza para detenerse. No responde a la primera pregunta.</b>	<b>43.75</b>	<b>39.47</b>
B1	Señala la necesidad de una fuerza de fricción para detener el bloque.	18.75	7.89
B2	Señala la necesidad del peso y la fuerza de fricción para detener el bloque.	4.17	2.63
B3	No ven necesaria la fricción y responden mal.	20.83	28.95
<b>C</b>	<b>Para que v sea constante es necesaria una fuerza.</b>	<b>47.92</b>	<b>34.21</b>
C1	Necesidad de una fuerza constante para que la caja se mueva a velocidad constante.	4.17	5.26
C2	Se basa en el peso para explicar la velocidad constante del objeto.	0.00	0.00
C3	Responde intuitivamente sin justificar la respuesta.	20.83	28.95
C4	El bloque se detendrá a causa de la fricción.	22.92	0.00
<b>D</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>2.08</b>	<b>10.53</b>
<b>E</b>	<b>No responde.</b>	<b>4.17</b>	<b>2.63</b>

Tal y como se ha hecho en las demás cuestiones, las respuestas consideradas correctas se recogen en la categoría A.

Como puede observarse en la tabla 9, en el pretest el porcentaje más elevado de respuestas corresponde a la categoría C (47.92%), donde un 20.83% (C3) de los alumnos responden de forma intuitiva sin justificar y un 22.92% (C4) hacen referencia a que el bloque se detendrá a causa de la fricción. Además, en la categoría B, un 43.75% de respuestas se encuentran dentro de esta categoría, predominando un 18.75% (B1) los que ven la necesidad de una fuerza de fricción para detener el bloque, o, por el contrario, un 20.83% (B3) los que no ven necesaria la fricción y consideran que para que un cuerpo se mueva a velocidad constante es necesaria una fuerza constante. Estas ideas también son las más persistentes en el posttest predominando las categorías B (39.47%) y C (34.21%). Por otro lado, se ve un aumento del 11.08% entre el pretest y posttest de respuestas correctas categorizadas en A, luego parece que ha mejorado la concepción del alumnado y entienden mejor la relación fuerza-aceleración.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 4.

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 4, 4º ESO del centro 1 (posttest): *El bloque se iría frenando ya que la fuerza que se está aplicando sobre él es menor.*

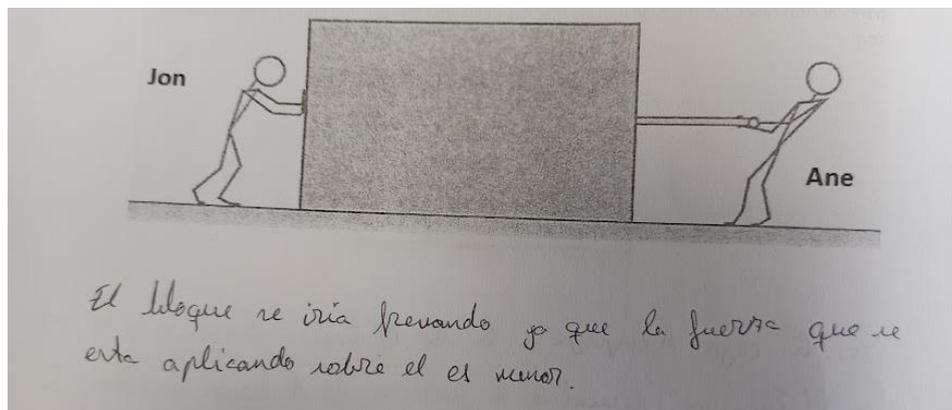


Figura. 18. Ejemplo cuestión 4 categoría A2.

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 44, 1º Bachillerato del centro 2 (pretest): *Que el bloque sigue desplazándose hasta que la fuerza de rozamiento lo detiene.*

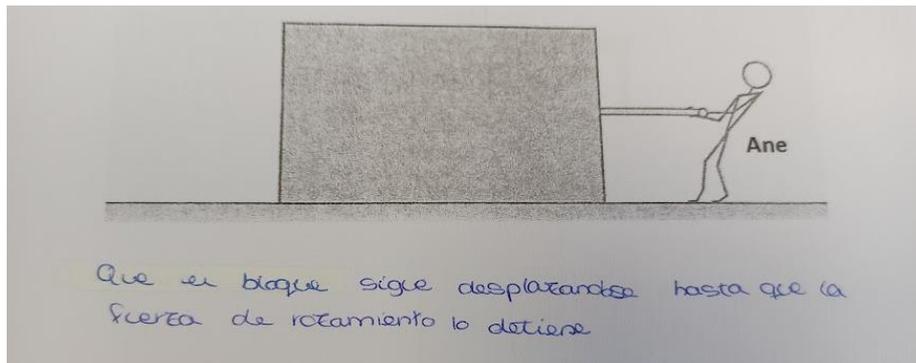


Figura. 19. Ejemplo cuestión 4 categoría B1.

Respuesta clasificada en la categoría B3. Estudiante nº 8, 4º ESO del centro 1 (pretest): *Que el bloque dejaría de moverse ya que no hay ninguna fuerza actuando sobre él.*

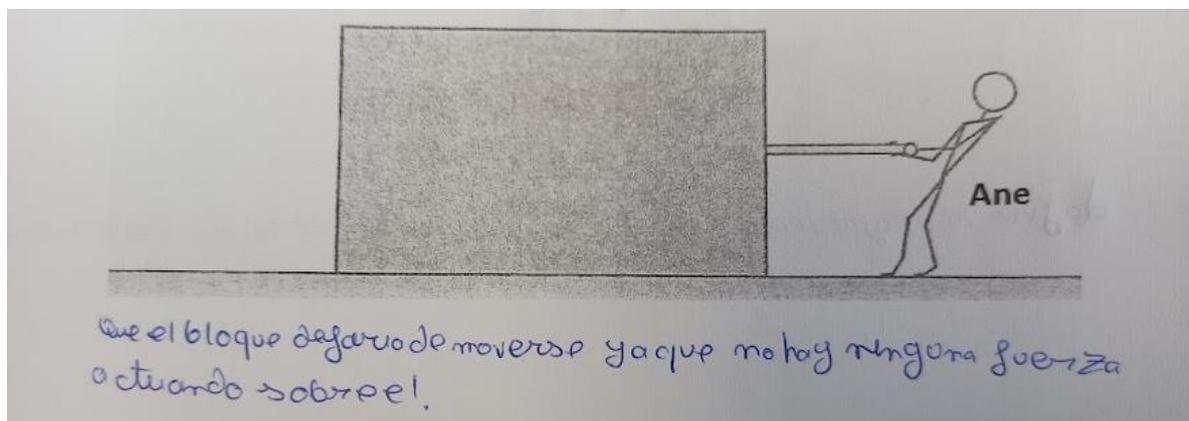


Figura. 20. Ejemplo cuestión 4 categoría B3.

Respuesta clasificada en la categoría C3. Estudiante nº 35, 4º ESO del centro 2 (postest): *Se reduciría la velocidad.*

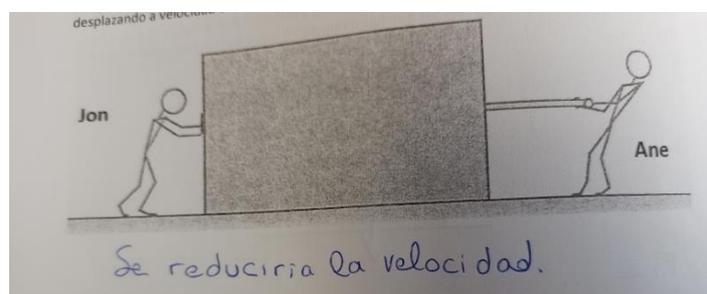


Figura. 21. Ejemplo cuestión 4 categoría C3.

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 45, 1º Bachillerato centro 2 (pretest): *Ane se caerá y el bloque se seguirá moviendo por la fuerza de rozamiento y luego se parará.*

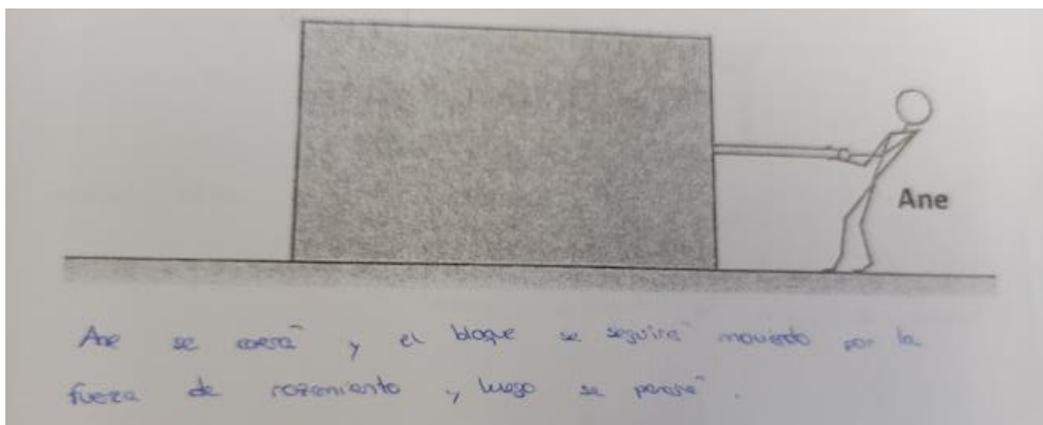


Figura. 22. Ejemplo cuestión 4 categoría D.

- Cuestión 5

En la cuestión 5 se quiere conocer si los alumnos entienden el movimiento parabólico como una composición de dos movimientos independientes: un movimiento horizontal rectilíneo uniforme y un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado. En el pretest se muestra un cañón disparando una bola y se les pide a los alumnos que seleccionen la trayectoria que seguirá la bola y que justifiquen su respuesta. Asimismo, en el postest se muestra un avión que suelta una caja y al igual que en el pretest se les pide a los alumnos que identifiquen la trayectoria seguida por la caja, justificando la respuesta.

En esta cuestión, a diferencia de las anteriores cuestiones, se presentan diferentes opciones tanto en el pretest como en el postest, entre las que el alumno debe elegir la correcta y justificar su respuesta. Para la categorización de las respuestas no se ha considerado la opción que ha seleccionado el alumno, sino el razonamiento o explicación que ha empleado para justificar su elección, ya que, si no podría acertar al azar, pero sin comprenderlo. En la figura 23, se muestran los dibujos de la cuestión 5, del pretest y del postest, respectivamente.

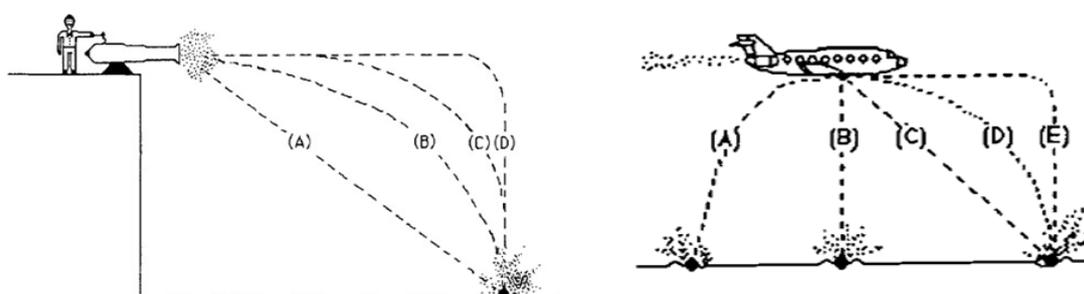


Figura. 23. Imágenes de los enunciados pretest y postest de la cuestión 5.

En la siguiente tabla 10 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas de los cuestionarios pretest (N=48) y el postest (N= 38) para la cuestión 5.

Tabla 10. Categorización de la cuestión 5 en pretest y postest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Postest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a la pregunta.</b>	<b>37.50</b>	<b>28.95</b>
A1	Responde correctamente y justifica la respuesta.	4.17	5.26
A2	Responde correctamente, pero la explicación no está completa.	33.33	23.68
<b>B</b>	<b>Menciona la idea de ímpetu.</b>	<b>22.92</b>	<b>2.63</b>
<b>C</b>	<b>No tiene en cuenta la primera ley de Newton.</b>	<b>20.83</b>	<b>52.63</b>
C1	No tiene en cuenta la primera ley de Newton en el eje horizontal.	2.08	34.21
C2	No tiene en cuenta la primera ley de Newton en el eje vertical.	18.75	18.42
<b>D</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>14.58</b>	<b>10.53</b>
<b>E</b>	<b>No responde/ No explica.</b>	<b>4.17</b>	<b>5.26</b>

En la tabla 10, se muestra que el porcentaje de respuestas más elevado corresponde a la categoría A (37.50%), es decir, correcta pero un 33.33% de los alumnos no dan la explicación completa. A continuación, destaca la categoría B y C, donde los alumnos vuelven a mencionar la idea del ímpetu (B) y los que no tienen en cuenta la ley de Newton en el eje vertical (C2). Por otro lado, en el postest se reduce el porcentaje de respuestas correctas categorizadas en A siendo 28.95% y aumenta significativamente la categoría C (52.63%) debido a que es uno de los grupos, varios alumnos preguntaron o crearon confusión con la pregunta si había o no viento, si se mira desde el avión o desde el suelo y eso ha influido en el porcentaje de respuestas correctas. También señalar que el número de respuestas incoherentes o que no responden o explican es similar tanto en el pretest como en el postest.

A continuación, se muestran varios ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 5.

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 29, 1º Bachillerato centro 2 (pretest): *Es la B, ya que en cuanto sale del cañón entra en contacto con las fuerza gravitatoria y la empieza a descender ya que es un movimiento parabólico.*

Respuesta clasificada en la categoría B. Estudiante nº 17, 4º ESO centro 1 (pretest): *La C porque al principio va con mucha fuerza, pero va disminuyendo, ya que cada vez va más despacio.*

Respuesta clasificada en la categoría C1. Estudiante nº 37, 1º Bachillerato centro 2 (postest): *Es la B porque el cargamento se ve expuesto a la fuerza de la gravedad, que interrumpe su movimiento.*

Respuesta clasificada en la categoría C2. Estudiante nº 1, 4º ESO centro 1 (pretest): *Es la C primero va en línea recta y luego por el rozamiento irá cayendo hacia abajo.*

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 7, 4º ESO centro 1 (pretest): *Podrían ser todas las opciones dependiendo de la masa de la bola.*

- Cuestión 6

El objetivo de la sexta y última cuestión es analizar si los alumnos entienden la relación entre las fuerzas y el movimiento circular. Mediante estas cuestiones se pretende medir el conocimiento de los alumnos sobre conceptos como fuerza centrípeta y aceleración normal, y su importancia en el movimiento circular. En el pretest el enunciado les dice que la Luna gira alrededor de la Tierra en una órbita prácticamente circular con un periodo constante, y se les plantean dos preguntas en las que se les pide que justifiquen su respuesta. En la primera se les pregunta si la velocidad de la luna es constante, y en la segunda se les pregunta que, si no es así, que es lo que cambia y por qué. De igual manera, en el postest se les plantea que la Estación Espacial Internacional orbita la tierra con un periodo constante, y se les plantean las mismas preguntas que en el pretest.

En la tabla 11 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios pretest (N=48) y el postest (N= 38) y el porcentaje de respuestas de cada categoría.

Tabla 11. Categorización de la cuestión 6 en pretest y postest.

Categoría	Descripción de categoría	Pretest (%)	Postest (%)
<b>A</b>	<b>Responde correctamente a la pregunta.</b>	<b>2.08</b>	<b>5.26</b>
A1	Responde de manera correcta y justifica bien la respuesta.	0.00	5.26
A2	Responde correctamente, pero justifica mal o utiliza terminología incorrecta.	2.08	0.00
<b>B</b>	<b>Responde que <math>v</math> es constante. Expone razones científicas.</b>	<b>22.92</b>	<b>23.69</b>
B1	Responde que la fuerza que la Tierra ejerce sobre la Luna o la estaciones constante y la velocidad también, o responde que la fuerza no es constante y que la velocidad tampoco lo es.	4.17	13.16
B2	Considera que la $v$ es constante debido a la inercia.	0.00	0.00
B3	No actúa ninguna fuerza sobre el satélite/ estación, se mueve a velocidad constante.	2.08	2.63
B4	La velocidad del satélite o estación es constante porque lo es el periodo.	16.67	7.89
<b>C</b>	<b>Responde que <math>v</math> es constante/no constante sin justificar su respuesta.</b>	<b>16.67</b>	<b>21.05</b>
<b>D</b>	<b>Responde que <math>v</math> es constante/no constante. Expone razones no científicas como argumento.</b>	<b>37.50</b>	<b>18.42</b>
<b>E</b>	<b>Respuesta incoherente.</b>	<b>6.25</b>	<b>21.05</b>
<b>F</b>	<b>No responde.</b>	<b>14.58</b>	<b>10.53</b>

En la tabla 11 se observa que la categoría A tiene un porcentaje muy bajo de respuestas siendo la justificación no correcta en el pretest (2.08%), aunque en el postest la justificación sí que es correcta o se acerca bastante (5.26%). Una respuesta completa correcta sería aquella en la que los estudiantes reconocen que la velocidad en un movimiento circular uniforme es constante en módulo, es decir, en términos de magnitud, pero no en dirección. En todos los movimientos, la aceleración se puede descomponer en aceleración tangencial, que afecta al módulo de la velocidad, y aceleración centrípeta o normal, que cambia la dirección. Dado que en este caso la velocidad es constante, no habrá aceleración tangencial, pero sí aceleración centrípeta o normal.

También se observa en la tabla 11 que el porcentaje de respuestas más elevado en el pretest corresponde a aquellas donde los alumnos responden que la velocidad es o no constante sin exponer razones científicas, categoría D, con un 37.50%. Mientras que en el postest el porcentaje más alto corresponde a aquellos alumnos que responden que la velocidad es constante y exponen razones científicas categoría B (23.69%). También cabe mencionar que el porcentaje de alumnos que responde sin justificar su respuesta (categoría C) o no responde (F) es bastante elevado tanto en el pretest como en el postest. Además, el número de respuestas incoherentes en el postest es 21.05 %, porcentaje bastante elevado. En resumen, la cuestión 6

es la que menos respuestas ha tenido o ha creado una mayor confusión en los alumnos. Esto demuestra que el movimiento circular crea dificultades en los alumnos.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 6.

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 20, 4º ESO centro 1 (pretest): *La velocidad es constante porque la velocidad de rotación es siempre la misma.*

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 20, 4º ESO centro 1 (postest): *No es constante porque la tierra atrae de forma diferente cuando está cerca o lejos.*

Respuesta clasificada en la categoría B4. Estudiante nº 34, 1º Bachillerato centro 2 (pretest): *Es constante ya que tarda el mismo tiempo en dar una vuelta cada día.*

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 9, 4º ESO centro 1 (pretest): *Si es contante, ya que si no habría cosas que perjudican a la Tierra.*

Respuesta clasificada en la categoría E. Estudiante nº 18, 4º ESO centro 1 (postest): *La velocidad cambia porque se va parando o se tiene que parar.*

## 5.2. Análisis y discusión de los resultados.

En este apartado se van a analizar los resultados obtenidos mediante distintas comparaciones para poder visualizar gráficamente y extraer mejor algunas de las conclusiones del trabajo.

### 5.2.1. Comparación del pretest y postest de los alumnos de 4º ESO del centro 1.

Para llevar a cabo esta comparación se han estudiado las 47 respuestas obtenidas de alumnos de un centro de Valladolid, en concreto, 23 resultados de pretest y 24 resultados de postest. En esta comparación se va a comprobar si ha habido un aprendizaje sobre las leyes de Newton y cuáles son las ideas previas de los alumnos y los errores conceptuales más frecuentes. Para ello, se comparan los porcentajes de las respuestas obtenidas en los cuestionarios pre y post para cada cuestión de los alumnos de 4º ESO del centro 1. Además, los resultados obtenidos han sido comparados con los de una muestra anterior de 56 alumnos de 4º de ESO, para los cuales también se obtuvieron resultados pre y post.

- Cuestión 1

Los resultados obtenidos en el pretest y postest de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 1 se encuentran recogidos en la tabla 12. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas anteriormente (ver página 22).

*Tabla 12. Porcentaje de los resultados de la cuestión 1, 4ºESO centro 1.*

<b>Cuestión 1</b>	<b>Pretest</b>	<b>Postest</b>
Categoría	%	%
A1	0.00	0.00
A2	0.00	0.00
A3	21.74	0.00
B1	43.48	100.00
B2	8.70	0.00
B3	13.04	0.00
B4	0.00	0.00
B5	0.00	0.00
C	8.70	0.00
D	0.00	0.00
E	4.35	0.00
F	0.00	0.00

Como puede observarse en la tabla 12, esta cuestión no se puede comparar debido a los resultados del postest que contestaron todos igual debido a que un alumno dijo su opinión en alto. No obstante, si nos fijamos en los resultados del pretest, se puede observar como el porcentaje más alto de respuesta corresponde con la categoría B con un 65.22 %. Esta categoría se corresponde con la idea del ímpetu, una de las ideas previas erróneas que los alumnos suelen tener, como también comentan estudios anteriores de una muestra de 56 alumnos en donde se encontró un 60.71 % en el pretest y un 75% en el postest en la categoría B y que hace referencia la necesidad de una “fuerza” que empuje o tire de un cuerpo para que se mueva hacia arriba (Rodríguez, 2022).

- Cuestión 2

Los resultados obtenidos de los cuestionarios para la cuestión 2 se encuentran recogidos en la tabla 13 y las categorías de esta cuestión se encuentran detalladas anteriormente en la página 26.

Tabla 13. Porcentaje de los resultados de la cuestión 2, 4ºESO centro 1.

Cuestión 2	Pretest	Postest
Categoría	%	%
A	0.00	0.00
B1	0.00	50.00
B2	0.00	4.17
B3	8.70	0.00
C1	39.13	20.83
C2	26.09	16.67
C3	4.35	4.17
C4	4.35	0.00
D	17.39	4.17
E	0.00	0.00

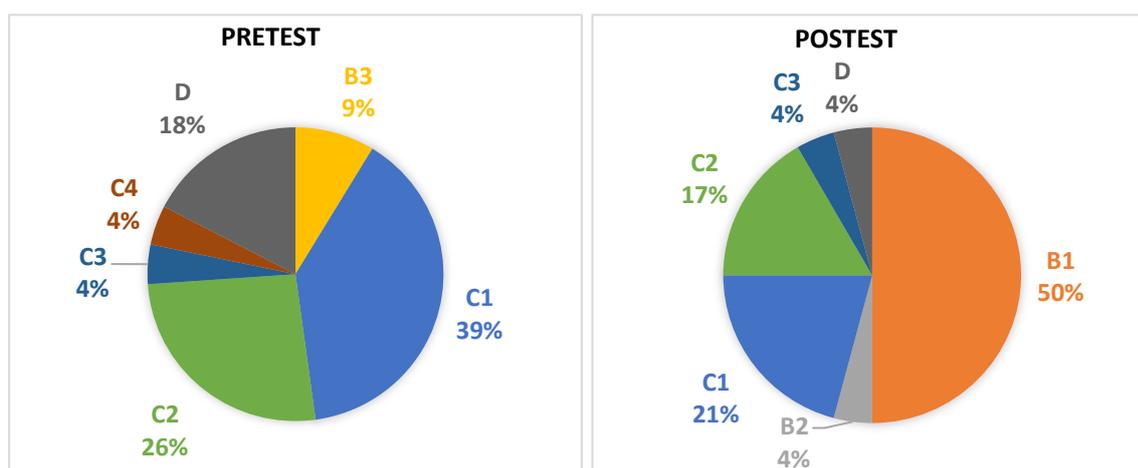


Figura. 24. Gráficas de los resultados de la cuestión 2, 4º ESO centro 1.

En la figura 24, los porcentajes más elevados en el pretest corresponde a la categoría C (69%) siendo también bastante altos en el postest pero algo menos con un 42%, en donde dibujan fuerzas de más y/o falta alguna fuerza y o no dicen nada sobre el par de fuerzas acción-reacción (C1) o hacen referencia a que si que hay par de acción de fuerzas acción-reacción (C2). En el postest cabe destacar que el número de respuestas en la categoría B, en especial, B1 aumenta un 50%, es decir, dibujan bien las fuerzas que actúan, pero hacen referencia que el peso y la normal son pares de acción de fuerza. Esto también ocurrió en la comparativa de un estudio anterior con un número de muestras algo mayor (N=56) empleando el mismo cuestionario pre y postest en el mismo centro en donde se vio que los porcentajes que aumentaron en el postest

correspondían con las categorías que mencionan que hay par acción-rección (categoría B1 y C2) (Rodríguez., 2022). Esto demuestra que no comprenden la tercera ley de Newton.

Cabe destacar que no se observa ninguna respuesta correcta ni el pretest ni el postest (categoría A), por lo que los alumnos tienen dificultades para entender que la normal y el peso son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo, por lo que no obedecen a la tercera ley de Newton.

- Cuestión 3

Los resultados obtenidos de las preguntas de la cuestión 3 se encuentran recogidos en la tabla 14 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 29.

*Tabla 14. Porcentaje de los resultados de la cuestión 3, 4ºESO centro 1.*

<b>Cuestión 3</b>	<b>Pretest</b>	<b>Postest</b>
<b>Categoría</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
A1	21.74	8.33
A2	17.39	8.33
B1	26.09	79.17
B2	13.04	0.00
B3	13.04	0.00
B4	0.00	0.00
B5	4.35	4.17
B6	0.00	0.00
C	0.00	0.00
D	0.00	0.00
E	4.35	0.00

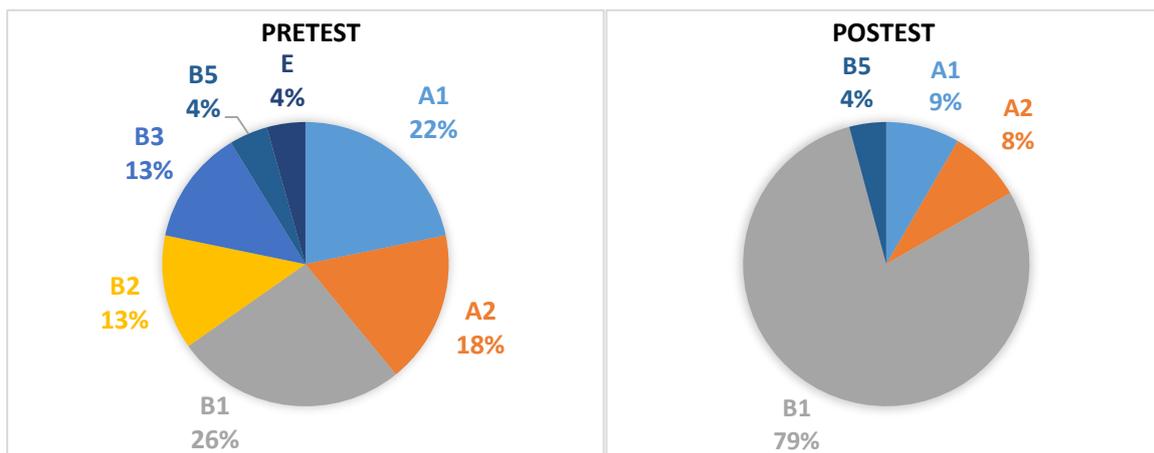


Figura. 25. Gráficas de los resultados de la cuestión 3, 4º ESO centro 1.

En la figura 25, se observa un empeoramiento del porcentaje de alumnos que responden correctamente a la pregunta en el posttest (9%), frente al pretest (22%). Cabe señalar que la categoría B es la más destacada tanto en el pretest (56%) como en el posttest (83%) produciéndose un aumento significativo en la categoría B1 en el posttest del 53%, es decir, por lo que no consideran la tercera ley de Newton. Esto ocurre porque consideran que un cuerpo con mayor masa hace más fuerza que el que tiene menor masa. Esta idea, aunque ya la tenían antes de ver los contenidos en el pretest se acentúa en el posttest, por lo que realmente no han entendido la tercera ley de Newton (Hernández & de Melo, 2005). Además, si comparamos los resultados con un estudio anterior también de 4º ESO y N=56, el porcentaje de alumnos que creyeron que la fuerza depende de la masa fue de un 26,79% en el pretest, y un 41,07% en el posttest, por lo que en este caso también ocurre que no solo se mantiene esa creencia o idea previa, sino que aumenta (Rodríguez, 2022). Esto puede deberse a que inicialmente ya tienen, entre otras ideas previas, la idea de que a mayor masa mayor fuerza. Y, tras la formación recibida, la 3ª ley de Newton les crea confusión, no relacionan correctamente la nueva información relacionada con la 3ª ley de Newton y se acentúa aún más la idea que ya tenían. Ninguna respuesta incoherente se ha encontrado en esta cuestión (categoría D).

- Cuestión 4

Los resultados obtenidos de las preguntas de la cuestión 4 se encuentran recogidos en la tabla 15 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 33.

Tabla 15. Porcentaje de los resultados de la cuestión 4, 4ºESO centro 1.

Cuestión 4	Pretest	Postest
Categoría	%	%
A1	0.00	4.17
A2	4.35	8.33
B1	13.04	8.33
B2	0.00	0.00
B3	26.09	41.67
C1	4.35	0.00
C2	0.00	0.00
C3	26.09	29.17
C4	26.09	0.00
D	0.00	8.33
E	0.00	0.00

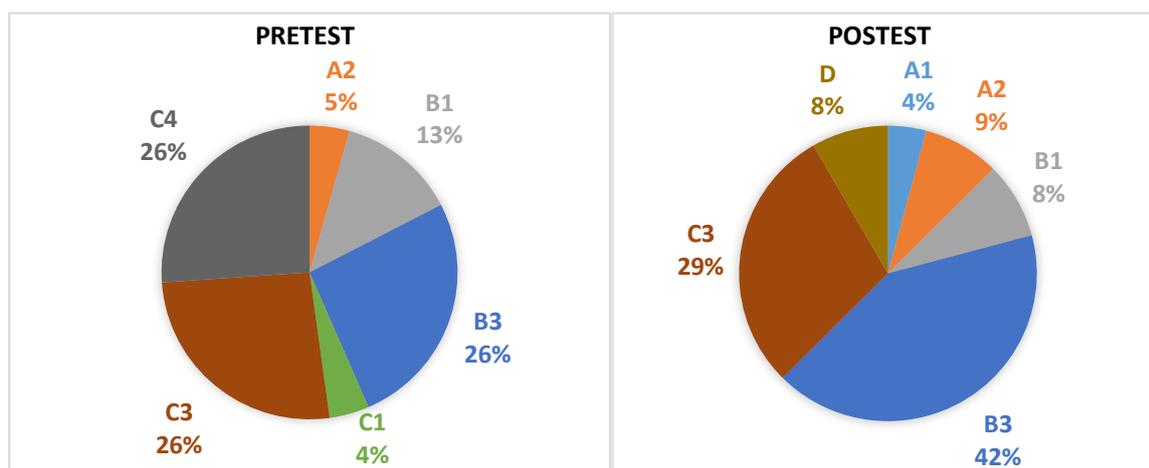


Figura. 26. Gráficas de los resultados de la cuestión 4, 4º ESO centro 1.

En la figura 26, se observa una pequeña mejoría del 4% de alumnos que responden correctamente a la pregunta en el postest. El porcentaje más alto de respuestas que hay tanto en el pretest como en el postest corresponden a dos categorías, B y C, dentro de las cuales destacan B3 (no ven necesaria la fricción) y C3 (responde intuitivamente sin justificar). En el pretest hay un 26% de B3 y 26% de C3 y en el postest un 42% de B3 y un 29% de C3, es decir, las respuestas categorizadas en B3 aumentan debido a que no ven necesaria la fricción y entienden la necesidad de una fuerza constante para que un cuerpo se mueva a velocidad constante. Estos resultados evidencian que las ideas previas de los alumnos, que atribuyen la fuerza como la responsable de la velocidad de los objetos, persisten a lo largo del tiempo, a pesar de la

formación que han recibido. La respuestas a esta pregunta no son equiparables al estudio anterior comparativo pre y post de 4º ESO (Rodríguez, 2022), esto puede deberse a que se modificó parcialmente la pregunta y es por ello por lo que quizás se muestran resultados diferentes. Sin embargo, en el estudio anterior se observó una gran dispersión en las respuestas, posiblemente debido a la inclusión de dos preguntas que se han reducido a una en este trabajo para facilitar la categorización.

- Cuestión 5

Los resultados obtenidos en el pretest y postest de los alumnos de 4º ESO del centro 1 para la cuestión 5 se encuentran recogidos en la tabla 16. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas anteriormente (ver página 37).

Tabla 16. Porcentaje de los resultados de la cuestión 5, 4ºESO centro 1.

Cuestión 5	Pretest	Postest
Categoría	%	%
A1	0.00	8.33
A2	43.48	33.33
B	13.04	0.00
C1	0.00	25.00
C2	26.09	20.83
D	8.70	8.33
E	8.70	4.17

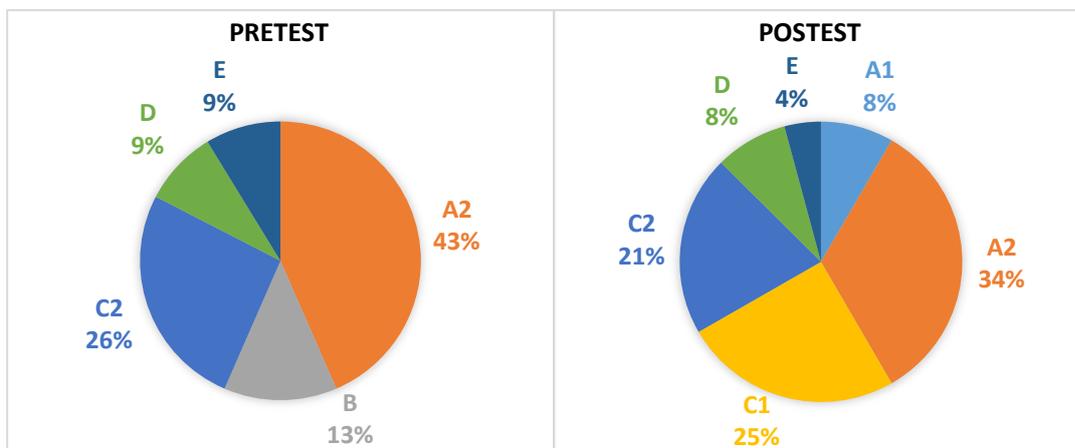


Figura. 27. Gráficas de los resultados de la cuestión 5, 4º ESO centro 1.

Como se observa en la figura 27, los resultados obtenidos en el pretest y en el postest son bastante similares, salvo la excepción de que en el pretest existe la categoría B (13%) y en el postest en su lugar aparece la categoría C1 (25%). Sin embargo, el resto de las categorías son parecidas y hay un porcentaje elevado de respuesta correcta en comparación con el resto de las cuestiones (categoría A), siendo A2 con explicación incompleta y A1 correcta completamente. En el pretest aparece un 42% de respuesta correcta incompleta A2 y en el postest un 8% de respuesta correcta completa (A1) y 34% correcta incompleta (A2). Por tanto, en esta cuestión parece que hay una leve mejoría en cuanto a que la respuesta es correcta y completa pero no hay un cambio notable entre las respuestas del pretest y postest entre el resto de las categorías. La única diferencia encontrada es que en el pretest mencionan la idea del ímpetu (B) mientras que en el postest aparece en su lugar respuestas en las que no tienen en cuenta la primera ley de Newton en el eje horizontal (C1). También se puede observar como el porcentaje de respuestas correctas, en la categoría A, es bastante mayor en comparación con el resto de las cuestiones para esta comparativa, algo que también se observó en otro estudio en donde se obtuvo 29% en el pretest y un 32% en el postest en la categoría A, en la comparativa de 56 respuestas de 4º ESO (Rodríguez, 2022).

- Cuestión 6

Los resultados obtenidos de las preguntas de la cuestión 6 se encuentran recogidos en la tabla 17 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 39.

*Tabla 17. Porcentaje de los resultados de la cuestión 6, 4ºESO centro 1.*

<b>Cuestión 6</b>	<b>Pretest</b>	<b>Postest</b>
Categoría	%	%
A1	0.00	8.33
A2	4.35	0.00
B1	4.35	12.50
B2	0.00	0.00
B3	4.35	4.17
B4	8.70	0.00
C	8.70	20.83
D	47.83	29.17
E	13.04	16.67
F	8.70	8.33

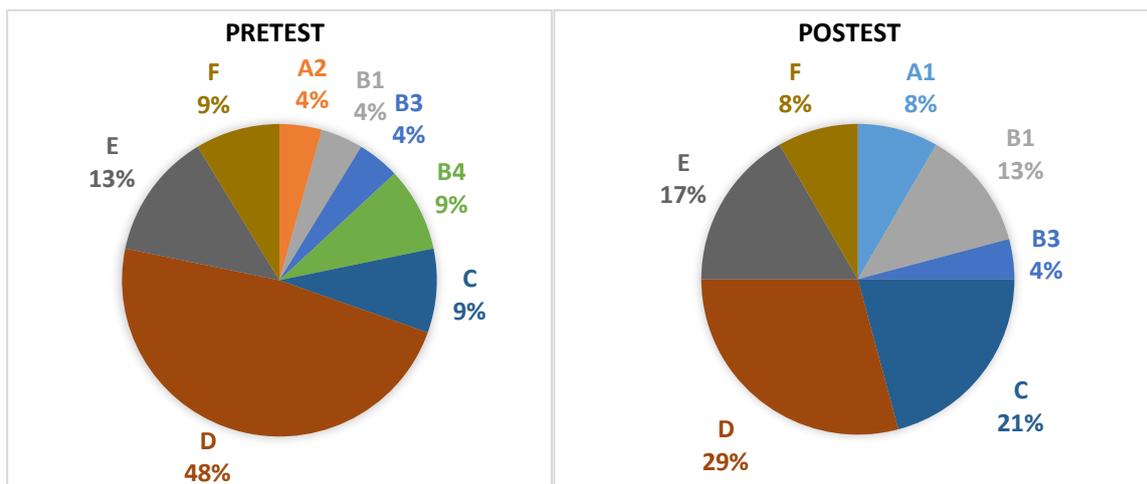


Figura. 28. Gráficas de los resultados de la cuestión 6, 4º ESO centro 1.

En la figura 28, se observa que los alumnos tienen dificultades para entender conceptos que intervienen en el movimiento circular como son la fuerza centrípeta y la aceleración normal (Videla et al., 2019). Esta cuestión destaca por el elevado % que hay tanto en el pretest como en el posttest en las categorías C, D, E y F. En la categoría C que es o no constante sin justificar, en la categoría D se encuentran las respuestas en las que responden si la velocidad del satélite es o no constante, pero expone razones no científicas, la categoría E se encuentran aquellas respuestas que son incoherentes y en la categoría F no responden. Sumando estas cuatro categorías nombradas, en el pretest es un 79% y en el posttest un 83%. Se puede concluir que la mayoría de los alumnos que han respondido a la pregunta 6 carecen de la capacidad para justificar su respuesta de manera adecuada, presentan razones no científicas, responden de manera incoherente o simplemente optan por no responder. Esto también se observó en un estudio reciente comparativo de los cuestionarios pre y post de 56 alumnos de 4º ESO, que encontró 82% en el pretest y 65% en el posttest en las categorías C, D E y F (Rodríguez, 2022). Entre las respuestas justificadas, en el pretest destaca B4 (9%), responden que es constante porque lo es el periodo y en el posttest destaca B1 (13%) que hacen referencia a la fuerza de atracción de la Tierra.

- Cálculo del índice de ganancia de Hake

El índice de Hake permite medir el aprendizaje antes y después de ver los contenidos de Newton, en este caso en 4º de la ESO del centro 1, haciendo uso de los resultados obtenidos en el pretest y posttest como se indica en la fórmula (2) (Hake, 1998) (Coletta et al., 2007) y se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Índice de ganancia de Hake para el curso 4ºESO del centro 1.

Cuestión	Pretest %	Postest %	Índice Hake de ganancia, g
1	0	0	0.00
2	0	0	0.00
3	39.13	16.66	-0.37
4	4.35	12.5	0.09
5	43.48	41.66	-0.03
6	4.35	8.33	0.04

Para considerar que ha habido una ganancia en el aprendizaje, el valor del índice de Hake (g) debe ser mayor que 0.7. Si el índice es  $0,3 < g \leq 0,7$ , la ganancia es media y si el índice es  $g \leq 0,3$ , la ganancia en el aprendizaje es baja (Castañeda et al., 2018).

Por tanto, teniendo en cuenta los datos recogidos en la tabla 18, la cuestión 1 se elimina por no ser concluyente como hemos comentado anteriormente y no se considera que haya ganancia de conocimiento en ninguna de las cuestiones ya que los alumnos no mejoran significativamente el aprendizaje tras dar los contenidos sobre las leyes de Newton pese a que habían hecho el examen correspondiente.

- Prueba de Fisher

Mediante la prueba de Fisher se va a comprobar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en el pretest y el postest de los alumnos de 4º ESO del centro 2. Para que haya diferencias significativas, el valor de la prueba de Fisher debe ser inferior a 0,05, es decir,  $p < 0,05$ .

Tabla 19. Valores p de dos colas de Fisher en el curso de 4º ESO (pretest y postest), centro 1.

Cuestión	p
1	0.022
2	1.000
3	0.062
4	0.261
5	0.230
6	0.391

El valor de la cuestión 1 no es concluyente, por lo que no se tiene en cuenta debido a que los datos no son representativos. En cuanto al resto de resultados que se han obtenido como se muestra en la tabla 19, no hay diferencias significativas entre el pretest y posttest, por lo que el grado de conocimiento antes y después de que los alumnos vean las leyes de Newton es estadísticamente equivalente. Cabe señalar que la cuestión que más diferencias presenta es la cuestión 3 y que un aumento del tamaño muestral podría dar lugar a mayores diferencias significativas en alguna de las cuestiones.

#### 5.2.2. Comparación del posttest de 4º ESO y pretest de los alumnos de 1º de Bachillerato del centro 2.

Para realizar esta comparación se han estudiado 14 cuestionarios de alumnos de 4º ESO y 25 cuestionarios de alumnos de 1º Bachillerato del centro 2. Hay que tener en cuenta para futuros trabajos que, en este caso, el tamaño muestral es muy pequeño, por lo que los resultados serán imprecisos y por ello, esta comparativa sería representativa con un número de resultados mayor. Con esta comparativa se pretende conocer si el grado de conocimiento de los alumnos, de una etapa a otra y sin enseñanza de por medio puede llegar a cambiar en términos promedio. Es un estudio únicamente orientativo y puede servir para indicar posibles futuros trabajos. Se comentarán los resultados obtenidos y los fallos e ideas que predominan en los alumnos de cada etapa.

- Cuestión 1

Los resultados obtenidos en el posttest de 4º ESO y pretest de los alumnos de 1º de bachillerato del centro 2 para la cuestión 1 se encuentran recogidos en la tabla 20. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas anteriormente (ver página 22).

Tabla 20. Porcentaje de los resultados de la cuestión 1, postest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Cuestión 1	Postest 4ºESO	Pretest 1º Bachillerato
Categoría	%	%
A1	0.00	0.00
A2	0.00	12.00
A3	0.00	0.00
B1	21.43	24.00
B2	42.86	8.00
B3	14.29	0.00
B4	0.00	0.00
B5	0.00	0.00
C	0.00	36.00
D	14.29	8.00
E	0.00	12.00
F	7.14	0.00

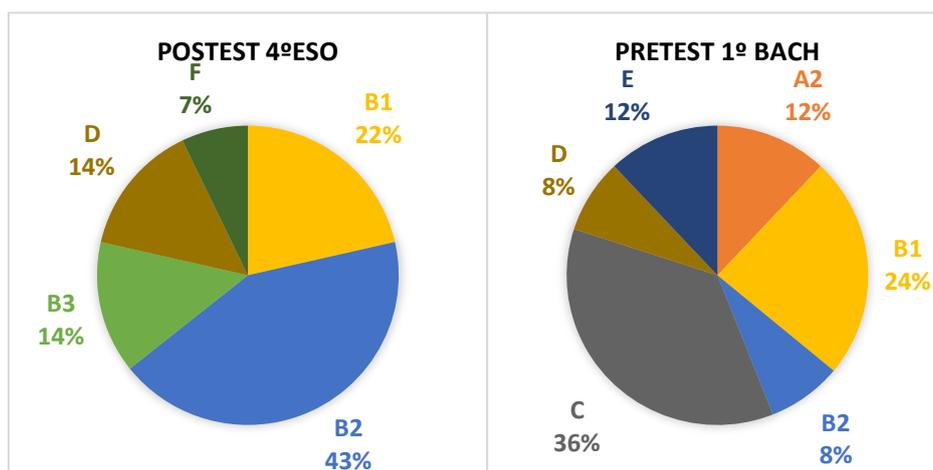


Figura. 29. Gráficas de los resultados de la cuestión 1, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Como se observa en la figura 29, el porcentaje de alumnos de 1º Bachillerato que responde correctamente a la pregunta es doce veces mayor (12%) que el de 4º ESO que es nulo, por lo que parece que tienen más claros los conceptos los alumnos de 1º Bachillerato que los de 4º ESO, aunque no puede deberse a nuevos conocimientos recibidos sino otros factores, quizás madurez o seriedad a la hora de realizar el test. En 4º de la ESO predomina la categoría B (63%) que mencionan la idea del ímpetu, porcentaje también considerable en 1º de bachillerato, pero se reduce a la mitad el número de respuestas (32%). Cabe señalar que en 1º de bachillerato destaca la categoría C (36%), en donde dibuja o menciona

fuerzas de más y duplica la fuerza gravitatoria. En resumen, se aprecia que la idea del ímpetu sigue presente entre los alumnos, aunque puede llegar a reducirse con el tiempo.

- Cuestión 2

Los resultados obtenidos de las preguntas de la cuestión 2 se encuentran recogidos en la tabla 21 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 26.

Tabla 21. Porcentaje de los resultados de la cuestión 2, postest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Cuestión 2	Postest 4ºESO	Pretest 1º Bachillerato
Categoría	%	%
A	0.00	0.00
B1	21.43	12.00
B2	28.57	40.00
B3	0.00	8.00
C1	21.43	32.00
C2	7.14	4.00
C3	0.00	0.00
C4	0.00	0.00
D	14.29	4.00
E	7.14	0.00

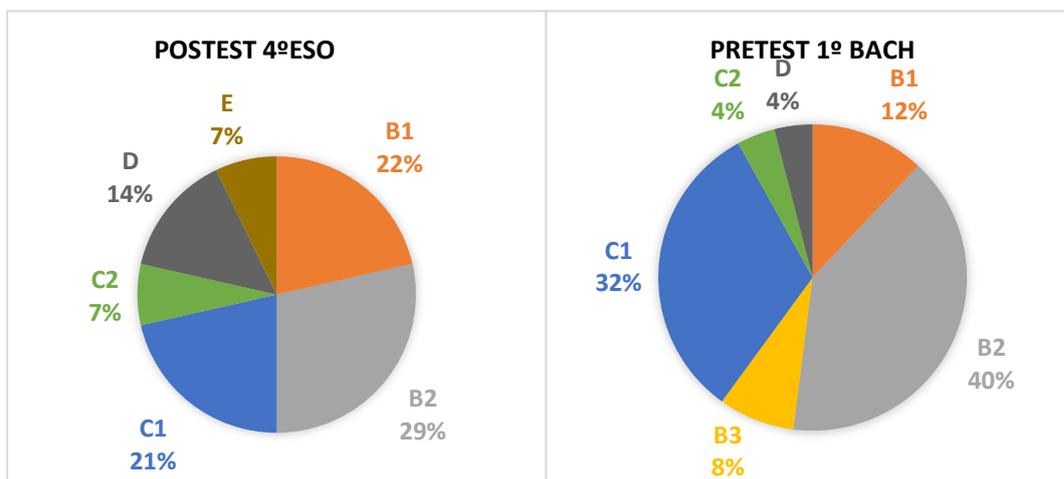


Figura 30. Gráficas de los resultados de la cuestión 2, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

En la figura 30, se observa que ningún alumno ha contestado correctamente a la cuestión, por lo que tienen dificultades para entender que la normal y el peso son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo y no son par de fuerza de acción-reacción.

Como se observa, ambas gráficas son muy similares y predomina B1 (creen que son par de acción de fuerzas el peso y la normal), B2 (no responden, pero dibujan bien las fuerzas), C1 (consideran fuerzas de más y/o falta alguna fuerza y no responden si son par de acción de fuerzas). En 4º ESO, un 50 % de alumnos no responden si son par de acción de fuerzas (B2 + C1) y en 1º de bachillerato un 72%, luego el se acentúa la inseguridad al contestar y no tienen clara la respuesta.

- Cuestión 3

Los resultados obtenidos de la cuestión 3 se encuentran recogidos en la tabla 22 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 29.

*Tabla 22. Porcentaje de los resultados de la cuestión 3, postest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.*

<b>Cuestión 3</b>	<b>Postest 4ºESO</b>	<b>Pretest 1º Bachillerato</b>
Categoría	%	%
A1	21.43	4.00
A2	0.00	20.00
B1	28.57	36.00
B2	0.00	12.00
B3	0.00	0.00
B4	0.00	0.00
B5	35.71	12.00
B6	0.00	0.00
C	0.00	0.00
D	0.00	16.00
E	14.29	0.00

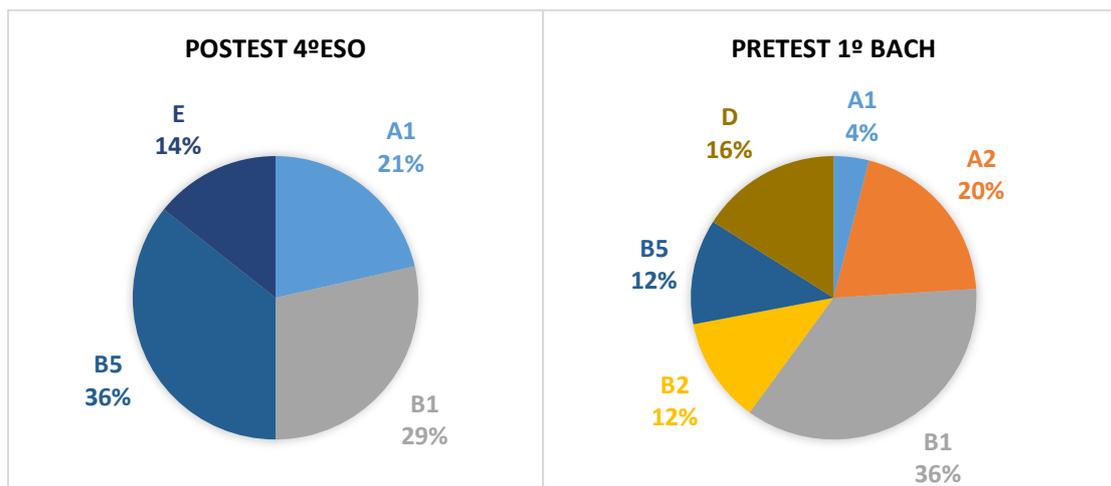


Figura. 31. Gráficas de los resultados de la cuestión 3, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

La figura 31, muestra como los alumnos de 1º Bachillerato que responden correctamente, categoría A es un 24%, muy similar al 21% de los alumnos de 4ºESO. Cabe señalar que el 29% de los alumnos de 4º ESO creen que la fuerza depende de la masa, respuestas recogidas en la categoría B1 y en 1º de bachillerato un 36%, bastante similar también dentro del ruido estadístico al estudiar una muestra tan pequeña. En cambio, el porcentaje en 4ºESO que responde sin razonar (B5) se reduce un tercio en 1º de bachillerato y responden haciendo referencia a alguna variable, aunque la respuesta no sea correcta.

- Cuestión 4

Los resultados obtenidos de la cuestión 4 se encuentran recogidos en la tabla 23 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 33.

Tabla 23. Porcentaje de los resultados de la cuestión 4, postest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Cuestión 4	Postest 4ºESO	Pretest 1º Bachillerato
Categoría	%	%
A1	0.00	0.00
A2	14.29	0.00
B1	7.14	24.00
B2	7.14	8.00
B3	7.14	16.00
C1	14.29	4.00
C2	0.00	0.00
C3	28.57	16.00
C4	0.00	20.00
D	14.29	4.00
E	7.14	8.00

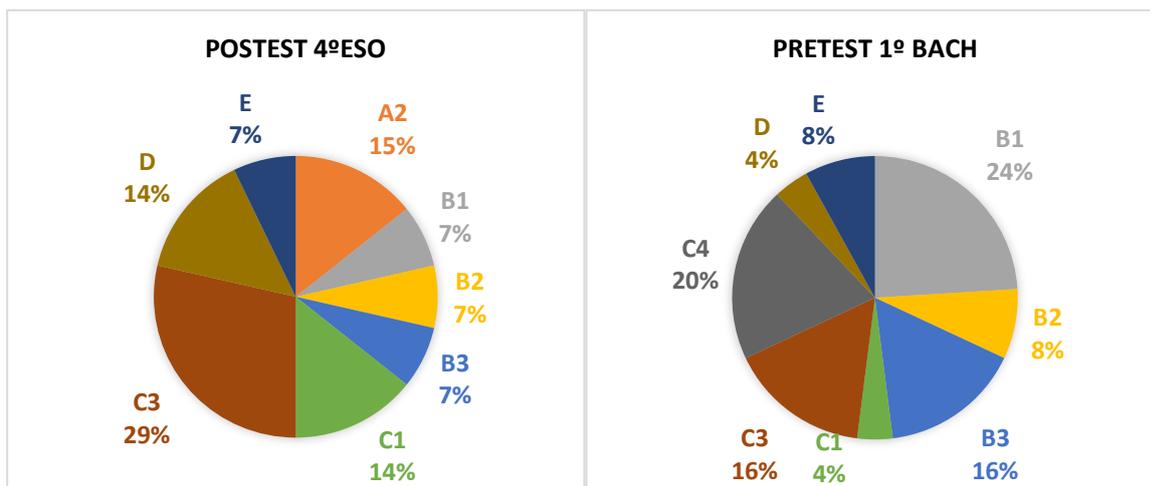


Figura. 32. Gráficas de los resultados de la cuestión 4, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

En la figura 32, se aprecia que el porcentaje de respuestas correctas solo se aprecia en 4ºESO con un 15% mientras que no hay ninguna en el curso de 1º Bachillerato.

Los resultados en 4º muestran unas respuestas muy diversas, predominando la categoría C (43%), en especial C3(29%), en donde no justifican la respuesta y también C1(14%) que mencionan idea de que para que la velocidad sea constante es necesaria una fuerza constante. En los resultados de 1º, destaca la categoría B (48%), donde señalan la necesidad de una fuerza para detener el bloque, en especial la categoría B1(24%), que señalan la necesidad de la fricción para detener un cuerpo. En 1º también señalar que la categoría C4 tiene un porcentaje alto (20%) y en donde mencionan que el bloque se detendrá a causa de la fricción, por lo que en 1º tienen muy en cuenta la idea de la fricción y el rozamiento y lo tienen muy en cuenta para justificar.

- Cuestión 5

Los resultados obtenidos en el postest de 4º ESO y pretest de los alumnos de 1º de bachillerato del centro 2 para la cuestión 5 se encuentran recogidos en la tabla 24. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas anteriormente en la página 37.

Tabla 24. Porcentaje de los resultados de la cuestión 5, postest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Cuestión 5	Postest 4ºESO	Pretest 1º Bachillerato
Categoría	%	%
A1	0.00	8.00
A2	7.14	24.00
B	7.14	32.00
C1	50.00	4.00
C2	14.29	12.00
D	14.29	20.00
E	7.14	0.00

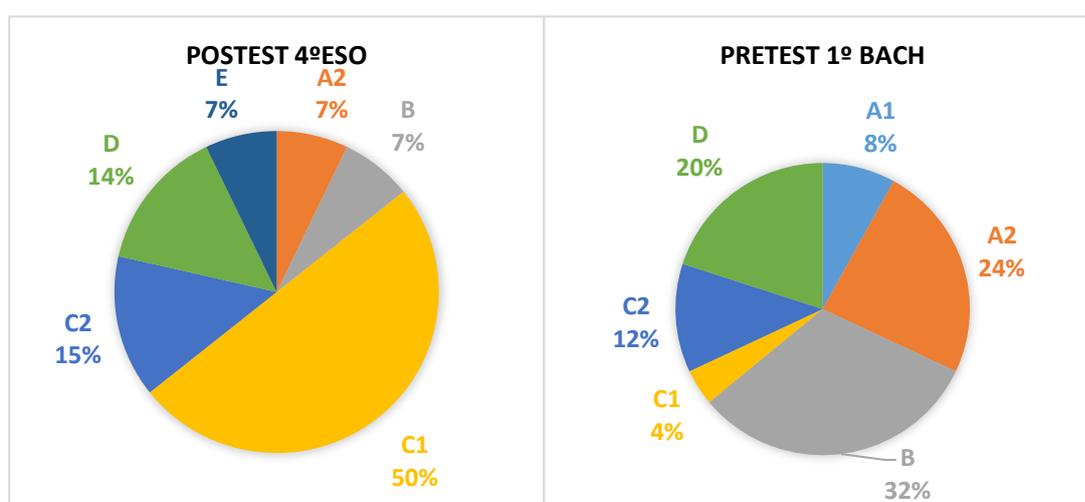


Figura. 33. Gráficas de los resultados de la cuestión 5, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

En la figura 33, se observa que el porcentaje de alumnos de 1º Bachillerato que responden correctamente a la pregunta, categoría A es el más alto de todas las cuestiones con un 32% frente al 7% de 4º de la ESO. En 4º se puede ver como destaca la categoría C (65%), en donde no tiene en cuenta la ley de Newton en el eje horizontal (C1) o vertical (C2) y en 1º esta categoría C es mucho menor (16%). Sin embargo, en 1º destaca la categoría B (32%), en donde se menciona la idea del ímpetu, que ya hemos comentado que es una idea que prevalece en los alumnos en el tiempo.

- Cuestión 6

Los resultados obtenidos de la cuestión 6 se encuentran recogidos en la tabla 25 y las categorías de esta cuestión se encuentran anteriormente detalladas en la página 39.

Tabla 25. Porcentaje de los resultados de la cuestión 6, posttest 4ºESO pretest 1º Bachillerato del centro 2.

Cuestión 6	Postest 4ºESO	Pretest 1º Bachillerato
Categoría	%	%
A1	0.00	0.00
A2	0.00	0.00
B1	14.29	4.00
B2	0.00	0.00
B3	0.00	0.00
B4	21.43	24.00
C	21.43	24.00
D	0.00	28.00
E	28.57	0.00
F	14.29	20.00

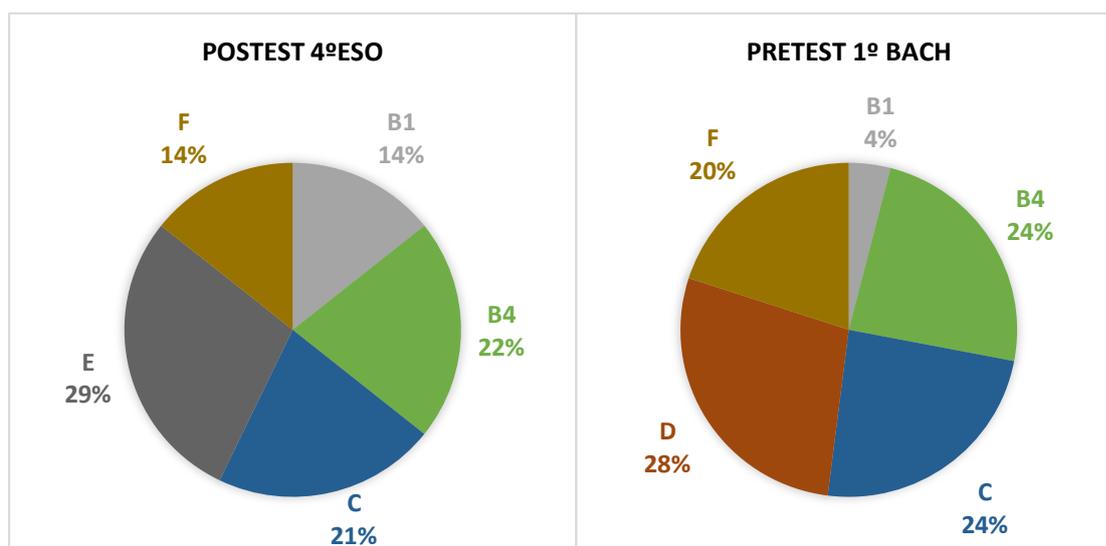


Figura. 34. Gráficas de los resultados de la cuestión 6, postest 4ºESO- pretest 1º Bachillerato del centro 2.

En la figura 34, se observa que no hay ninguna respuesta correcta en ninguno de los cursos del centro 2, por lo que muestra que los alumnos tienen dificultades para entender conceptos que intervienen en el movimiento circular. Esta cuestión destaca por el elevado % que hay en ambos cursos en las categorías B, C y F. La categoría B, responden que es o no constante en función de la atracción de la Tierra (B1) o porque lo es o no el periodo (B4). La categoría C, se encuentran aquellos que han respondido sin justificar la respuesta y en la categoría F los que no han respondido. La diferencia que se encuentra entre los cursos es que en 4º, hay un 29% de

respuesta categorizadas en E, de respuesta incoherente y en 1º en la categoría D (28%), que responde, pero menciona razones no científicas como justificación. Por lo general, en esta pregunta son muy similares las respuestas y destaca porque es la cuestión en la que menos alumnos responden, o si responden no justifican la respuesta o exponen razones no científicas o incoherentes.

- Prueba de Fisher

La realización de la prueba de Fisher nos permite comprobar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en los cuestionarios postest de los alumnos de 4º ESO y los pretest de 1º Bachillerato del centro 2. Por tanto, si existen diferencias significativas se podría decir que el aprendizaje no es duradero en el tiempo, ya que el conocimiento en el postest de 4º de ESO debería ser el mismo o similar que el pretest de 1º de Bachillerato. Para que las diferencias entre los dos grupos de diferente etapa sean significativas, como ya se mencionó anteriormente, el valor de la prueba de Fisher debe ser inferior a 0,05, es decir,  $p < 0,05$ .

*Tabla 26. Valores p de dos colas de Fisher en postest 4º ESO y pretest 1º Bachillerato del centro 2.*

Cuestión	p
1	0.252
2	1.000
3	0.304
4	0.123
5	0.071
6	1.000

Los resultados de la prueba de Fisher que se muestran en la tabla 26, indican que no hay diferencias significativas en las 6 cuestiones, siendo la cuestión 5 la que se acerca más, por lo que podría ser que si se aumenta el tamaño muestral podría llegar a ser significativo. Por tanto, se puede concluir que, en este caso, con el número de muestra con el que se ha trabajado, no hay diferencias en el conocimiento entre el postest de 4º y pretest de 1º de bachillerato, algo que se podía esperar debido a que no hay una enseñanza de por medio y aunque la hubiera, se observa que los alumnos responden bastante mal no habiendo aprendizaje significativo y prevaleciendo sus ideas previas. No obstante, parece que en 1º de bachillerato tienen más claro el movimiento parabólico relacionado con la cuestión 5. Incrementar el tamaño de la muestra posibilitaría obtener conclusiones estadísticamente más sólidas.

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo fin de máster se ha llevado a cabo un estudio sobre la comprensión sobre las leyes de Newton que tienen los alumnos de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. Tras el análisis de las preguntas de los cuestionarios y las comparaciones realizadas, se pueden extraer las principales conclusiones:

- ✓ Las principales respuestas y dificultades que se han encontrado en los alumnos tras la categorización de los cuestionarios pretest y postest sobre las leyes de Newton son:
  - Existe una idea errónea común sobre el concepto de ímpetu con relación al movimiento de los cuerpos.
  - Creen que la normal y el peso que actúan sobre un cuerpo son fuerzas de acción-reacción o no saben justificar la respuesta. Por tanto, no entienden que son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo y no comprenden la 3ª ley de Newton.
  - Piensan que los objetos con mayor masa hacen más fuerza, es decir, la fuerza depende de otras variables.
  - Ven la necesidad de una fuerza para que haya movimiento o la existencia de una fuerza para detener un cuerpo en movimiento.
  - Tienen dificultades, en general, para entender el movimiento circular y los conceptos que ello conlleva como son la aceleración normal y aceleración tangencial. Además de interpretar vectores y que se componen de un módulo y una dirección.
- ✓ En la comparación realizada en 4º de ESO del centro 1 entre el pretest y el postest sobre las leyes de Newton, tanto el índice de ganancia de Hake, que muestra si hay ganancia en el grado de conocimiento, y la prueba de Fisher, que muestra si hay diferencias significativas antes y después de dar los contenidos sobre Newton, se concluye que no ha habido diferencias significativas antes y después de ver los contenidos de Newton. Por tanto, las ideas y percepción que los alumnos tienen inicialmente prevalecen frente a los conceptos dados en clase sobre las leyes de Newton.
- ✓ Los resultados que muestran la comparación pretest de los alumnos de 4º ESO y postest 1º Bachillerato del centro 2, indican que no hay diferencias en el conocimiento entre el postest de 4º y pretest de 1º de bachillerato, algo que se podía esperar debido a que no hay una enseñanza de por medio. No obstante, a la vista de los resultados de la prueba de Fisher,

los alumnos de 1° de bachillerato parece que tienen más claro el movimiento parabólico relacionado con la cuestión 5, siendo el valor  $p$  de 0.07 muy próximo a 0.05.

- ✓ El tamaño muestral, así como la posibilidad de realizar el cuestionario en periodo lectivo durante un periodo de tiempo reducido, ha sido la debilidad de este trabajo. Para obtener resultados más precisos y unas conclusiones más robustas, es necesario un aumento del tamaño muestral. Además, la posibilidad de tener más cuestionarios pretest y posttest de cada grupo y etapa, permitiría obtener mejores comparaciones. No obstante, las comparaciones realizadas en el presente trabajo se pueden extrapolar a un número de muestras mayor y se pueden usar para futuros trabajos para comparar otras variables, como grupos, centros, comunidades autónomas, por sexo, etc.
- ✓ En general, los estudiantes suelen superar los problemas parecidos a los presentados durante las clases. Sin embargo, al cambiar la forma de preguntar, se observan dificultades de comprensión a nivel conceptual. Esto puede indicar que en algunos casos no se alcance realmente el nivel de conocimiento requerido en los contenidos de Newton en la asignatura de Física y Química.
- ✓ La predisposición de los alumnos a realizar el cuestionario ha sido negativa, dando a entender que van a “suspender” y que seguramente estén poniendo “barbaridades”. Esto pone de manifiesto la actitud con la que los alumnos ven la Ciencia, en este caso, la Física, y su dificultad a la hora de enfrentarse a problemas relacionados con la materia.
- ✓ Es necesario fomentar actividades educativas que se basen en los conocimientos previos de los estudiantes y les brinden la oportunidad de reconstruir sus conocimientos de manera clara, estable y organizada. Estas actividades deben permitir a los alumnos enfrentar y resolver diversas situaciones, al mismo tiempo que adquieren conocimientos que requieren un mayor nivel de abstracción en el mismo campo.
- ✓ Para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje sobre las leyes de Newton, se considera importante conocer previamente las ideas de los alumnos, ya que ayudara al docente a diseñar mejor las clases y su impartición teniendo en cuenta las ideas previas de los alumnos sobre el tema.
- ✓ Por último, hay que destacar que la investigación y el trabajo con personas es complejo debido a la diversidad de factores involucrados y la interacción entre ellos.

- Futuras consideraciones
- ✓ Este trabajo contribuye a entender cómo entienden los alumnos los conceptos relacionados con las fuerzas y coincide con estudios anteriores sobre las dificultades que los alumnos muestran y la poca eficacia del proceso-enseñanza-aprendizaje basado en la metodología tradicional. Por ello, para mejorar la práctica docente y lograr un aprendizaje significativo, existen diversos estudios que han trabajado con diferentes metodologías innovadoras para abordar esas dificultades y han obtenido resultados positivos, por lo que hay que tenerlos en consideración (Mendoza & Rodríguez 2020; Ferreira & Rodríguez, 2011; Guayara et al., 2018; Vargas Durango, 2021; López Santos, 2022; Maya Reuto, 2013; Rojas Muñoz, 2022; Mariscal, 2013; Téllez Felipe, 2013).
- ✓ Para obtener un análisis estadístico robusto, hay que tener en cuenta un tamaño muestral considerable y una buena organización de la toma de datos para extraer mejores conclusiones.
- ✓ Se aconseja a los docentes realizar una prueba de diagnóstico inicial antes de empezar el periodo lectivo o un tema en particular para conocer las bases que tiene cada estudiante y de esa manera saber cómo empezar a abordar el tema con el que se iniciará las clases.
- ✓ La actitud del profesor hacia su profesión docente, la formación continua, la mejora de la metodología educativa, así como la planificación y mejora constante es uno de los pilares fundamentales para mejorar la calidad educativa.
- ✓ Las metodologías pedagógicas innovadoras, adaptadas a las necesidades de los estudiantes, pueden tener un impacto positivo en su proceso de aprendizaje.
- ✓ La investigación educativa continua es esencial para comprender mejor los desafíos y las mejores prácticas en el ámbito educativo, y así poder implementar políticas y estrategias efectivas.

## 7. Bibliografía

- Agra, G., Formiga, N. S., Oliveira, P. S. D., Costa, M. M. L., Fernandes, M. D. G. M., & Nóbrega, M. M. L. D. (2019). Analysis of the concept of meaningful learning in light of the Ausubel's theory. *Revista brasileira de enfermagem*, 72(1), 248–255. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0691>
- Ausubel, D. P., & Fitzgerald, D. (1961). Meaningful Learning and Retention: Intrapersonal Cognitive Variables. *Review of Educational Research*, 31(5), 500–510. <https://doi.org/10.2307/1168901>
- Barrios Gaxiola, M. I. & Frías Armenta, M. (2016). Factores que influyen en el desarrollo y rendimiento escolar de los jóvenes de bachillerato. *Revista Colombiana de Psicología*, 25(1), 63-82. <https://doi.org/10.15446/rcp.v25n1.46921>.
- Bermeo Mendoza, E. J., & Rodríguez Macías, A. J. (2020). *El aprendizaje significativo de la primera ley de Newton utilizando el aula invertida y las simulaciones digitales* [Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49425>
- Bolaños, E. J., & Giraldo, L. M. (2015). La concepción del movimiento “segunda ley de Newton” desde una perspectiva histórica-epistemológica: ideas previas de los estudiantes y sus implicaciones en la formación de docentes. *RECME*, 1(1), 496-501.
- Campanario, J. M., & Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2), 155-169.
- Campos, E., Hernandez, E., Barniol, P., & Zavala, G. (2021). Phenomenographic analysis and comparison of students' conceptual understanding of electric and magnetic fields and the principle of superposition. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 1–17. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020117>.
- Campos, E., Zavala, G., Zuza, K., & Guisasola, J. (2020). Students' understanding of the concept of the electric field through conversions of multiple representations. *Physical*

*Review Physics Education Research*, 16(1), 1–19.

<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010135>

Carcavilla, A., & Puey, M. L. (2019). Reflexiones didácticas sobre algunos razonamientos lógicos con la primera ley de Newton y su relación con las ideas previas de los alumnos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0277>

Castañeda, J. A., Carmona, L. H., & Mesa, Fernando. (2018). Determinación de la Ganancia en el Aprendizaje de La Cinemática Lineal Mediante el uso de Métodos Gráficos con Estudiantes de Ingeniería en la Universidad de Caldas. *Scientia et Technica*, 23(1), 99–103.

Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.

<https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

Coletta, V. P., Phillips, J. A., & Steinert, J. J. (2007). Interpreting force concept inventory scores: Normalized gain and SAT scores. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(1), 010106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.010106>

Duarte, J. E., Caballero, F. R., & Morales, F. H. F. (2013). La enseñanza de la física en los currículos de ingeniería. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación: RIDI*, 4(1), 45–55.

Ferreira, J., & Rodríguez, R. (2011). Efectividad de las actividades experimentales demostrativas como estrategia de enseñanza para la comprensión conceptual de la tercera ley de Newton en los estudiantes de fundamentos de Física del IPC. *Revista de investigación*, 35(73), 61-84. Recuperado en 14 de junio de 2023, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142011000200005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142011000200005&lng=es&tlng=es).

Fisher, R. A. (1922). On the Interpretation of  $\chi^2$  from Contingency Tables, and the Calculation of P. *Journal of the Royal Statistical Society*, 85(1), 87–94.

<https://doi.org/10.2307/2340521>

- Furió-Gómez, C., Solbes, J., & Furió-Mas, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 4(3), 461–475.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2007.v4.i3.05](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i3.05)
- Furió-Mas, C., Solbes, J. & Carrascosa, J. (2006), Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique*, 48, 64-77.
- García, M., & Dell’Oro, G. (2001). Algunas dificultades en torno a las leyes de Newton: una experiencia con maestros. *Revista Iberoamericana de Educación*, 1-12.  
<https://rieoei.org/historico/deloslectores/210DellOro.PDF>
- Gil Pérez, D., & Carrascosa Alís, J. (1992). Concepciones alternativas en mecánica. Dinámica: Las fuerzas como causa del movimiento. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 314-328.
- González de Castro, C. (2022). *Análisis y detección de errores conceptuales básicos en la comprensión del Primer Principio de la Termodinámica en Bachillerato*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58435>.
- González, T. B., & Hernández Fernández, J. (2016). *Equidad Educativa: Avances en la definición de su concepto*. X Congreso Nacional de Investigación Educativa, México.  
[https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v10/pdf/area\\_tematica\\_10/ponencias/1852-F.pdf](https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v10/pdf/area_tematica_10/ponencias/1852-F.pdf)
- Guayara Murillo, G., Cortés Hernández, C. I., González Ruiz, J. N., & Sierra Bocanegra, D. M. (2018). *La gamificación como estrategia de enseñanza en el área de Ciencias Naturales*. [Tesis Doctoral, Universidad de los Andes, Colombia]. <http://hdl.handle.net/1992/34671>
- Guisasola Aranzabal, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(1), 1–18.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1801](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801)

- Gwet, K. (2002). Inter-Rater Reliability: Dependency on Trait Prevalence and Marginal Homogeneity. *Statistical Methods for Inter-Rater Reliability Assessment Series*, 2(1), 9.
- 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), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hernández, L., & de Melo, O. (2005). El laberinto de las leyes de Newton. *Revista cubana de física*, 22(1), 60–66. <http://www.revistacubanadefisica.org/RCFextradata/OldFiles/2005/FIS%2022105/FIS%2022105-111.pdf>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hinojosa, J. & Sanmartí, N. (2012). *La autoevaluación en la resolución de problemas de física*. XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales (pp. 59-66), Universidad de Santiago de Compostela.
- Jones, M. G., Carter, G., & Rua, M. J. (1999). Children's concepts: Tools for transforming science teachers' knowledge. *Science Education*, 83(5), 545–557. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199909\)83:5<545::AID-SCE3>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199909)83:5<545::AID-SCE3>3.0.CO;2-U)
- Leturiondo Uriona, G. (2022). *Estudio de la eficacia de una secuencia de enseñanza-aprendizaje basada en la investigación: las leyes de Newton para primero de Bachillerato*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad Internacional de Valencia].
- López Santos, C. (2022). Experimento docente sobre Dinámica I (Leyes de Newton): una propuesta de innovación teórico-práctica. En *Ciclos de mejora en el aula. Año 2021: experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 1985-2001). Sevilla: Universidad de Sevilla. <https://doi.org/10.12795/9788447222865.113>
- Mariscal, A. J. F. (2013). Enseñanza y aprendizaje de la física a través de la lectura del quijote en 4.º de eso. Las leyes de Newton y la aventura de los molinos de viento. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(2), 31-53. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.746>.

- Maya Reuto, O. A. (2013). *Estrategias didácticas de enseñanza aplicadas a las leyes de Newton*. [Maestría en Docencia de la Educación Superior, Universidad el Bosque, Colombia]. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/6416>.
- Miguel, O. (1986). Análisis comportamental de las leyes de Newton. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 4(1), 51-55.
- Mora, C., & Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(1), 72–86. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/10737>
- Muñoz, T. G. (2003). El cuestionario como instrumento de investigación/evaluación. *Centro Universitario Santa Ana*, 1(1), 1-47. [https://www.academia.edu/8713679/EL\\_CUESTIONARIO\\_COMO\\_INSTRUMENTO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_EVALUACION](https://www.academia.edu/8713679/EL_CUESTIONARIO_COMO_INSTRUMENTO_DE_INVESTIGACION_EVALUACION)
- OCDE (2013) Síntesis: Diez pasos hacia la equidad en la educación. Paris: OCDE, consultado el 03/05/2023 en: <https://www.oecd.org/education/school/40043349.pdf>
- Orden EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula su implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la comunidad de castilla y león. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86(8 de mayo de 2015), 32051–32480. <http://www.educa.jcyl.es/es/resumenbocyl/orden-edu-362-2015-4-mayo-establece-curriculo-regula-implan.ficheros/549394-BOCYL-D-08052015-4.pdf>
- Orden EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86(8 de mayo de 2015), 32123–32124. <http://www.educa.jcyl.es/es/resumenbocyl/orden-edu-363-2015-4-mayo-establece-curriculo-regula-implan.ficheros/549395-BOCYL-D-08052015-5.pdf>
- Pértega Díaz, S., & Pita Fernández, S. (2004). Asociación de variables cualitativas: El test exacto de Fisher y el test de McNemar. *Cadernos de Atención Primaria*, 11(5), 304–308.
- Pozzo, M. I., Borgobello, A., & Pierella, M. P. (2018). Uso de cuestionarios en investigaciones sobre universidad; análisis de experiencias desde una perspectiva situada. *Revista*

*Latinoamericana De Metodología De Las Ciencias Sociales*, 8(2).  
<https://doi.org/10.24215/18537863e046>.

Prada Núñez, R., Hernández Suarez, C. A., & Gamboa Suarez, A. A. (2021). Evaluación del aprendizaje en física: Un análisis del concepto de fuerza. *Revista Boletín Redipe*, 10(13), 734–743. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i13.1784>

Richardson, J. T. E. (1999). The Concepts and Methods of Phenomenographic Research. *Review of Educational Research*, 69(1), 53–82. <https://doi.org/10.3102/00346543069001053>

Rodríguez Rodríguez, L. (2022). *Análisis de errores conceptuales relacionados con las leyes de Newton en alumnos de 4º ESO y de 1º Bachillerato*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/57628>.

Rojas Muñoz, E. (2022). *Elaboración de un catálogo de videos como recurso didáctico para la enseñanza de las tres leyes de Newton, y validación por docentes en ejercicio de Instituciones Educativas de la región Piura*. [Tesis para optar el título de Licenciado en Educación, Nivel Secundaria, especialidad Matemática y Física, Universidad de Piura, Facultad de Ciencias de la Educación. Piura, Perú]. <https://hdl.handle.net/11042/5504>.

Rosalind Driver. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education*, 11(5), 481–490. <https://doi.org/10.1080/0950069890110501>.

Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 67, 62-69.

Sebastiá, J. S. M. (2013). Las Leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, 199-217. <https://doi.org/10.7203/dces.27.2241>

Téllez Felipe, A. (2013). *Secuencias didácticas abp para principios de la dinámica y leyes de newton en bachillerato* [Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional, Mexico]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11722/700.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Thijs, G.D. & Van Der Berg, E. (1995). Cultural factors in the origin and the remediation of *alternative* conceptions in physics, *Science & Education*, 4(4), 317-347. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00487756>
- Vargas Durango, M. A. (2021) *Diseño de estrategias para el desarrollo del pensamiento analítico en problemas correspondientes al concepto de fuerza postulado por Isaac Newton a través de la gamificación* (Master's thesis, Universidad de La Sabana). <http://hdl.handle.net/10818/46960>
- Videla, F. A., Torroba, P. L., Devece, E., & Aquilano, L. (2019). *Experiencia didáctica mediada por tic y elementos tradicionales para el estudio del movimiento circular*. In V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75047>
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360–363.

## 8. Anexos

### 8.1. Cuestionario pretest.

1. Un conejo está corriendo, escapando de un águila que lo sobrevuela. Ha saltado en vertical para sortear un tronco. Al poco de saltar, el conejo va hacia arriba, ¿qué fuerza o fuerzas están actuando sobre el conejo? Dibuja las fuerzas y explica.



2. Hay un libro de física encima de una mesa. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el libro. ¿Hay pares acción reacción entre las fuerzas que has dibujado? Si crees que las hay, explica cuáles son.



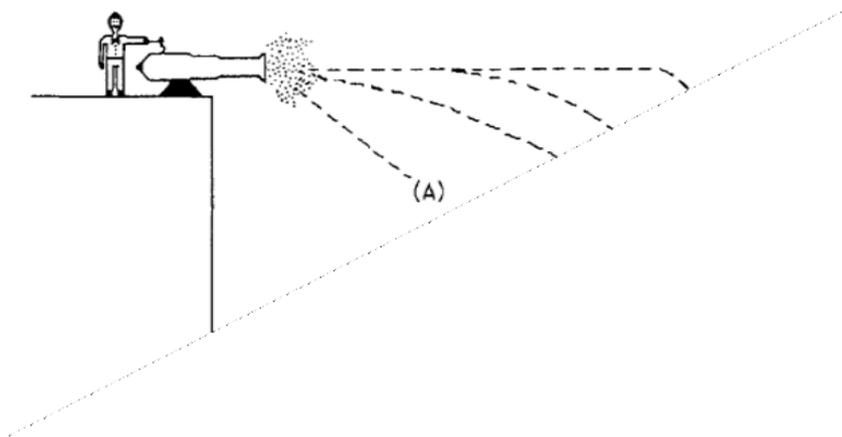
3. Un padre está patinando sobre hielo con su hija. Estando de frente, se empujan el uno al otro y empiezan a alejarse. ¿La fuerza que ejerce el padre sobre su hija es mayor, igual o menor que el que hace la hija sobre su padre? Razona tu respuesta.



4. Ane está tirando del bloque de la figura. El bloque se está desplazando a velocidad constante. ¿Qué pasaría si Ane dejara de tirar?



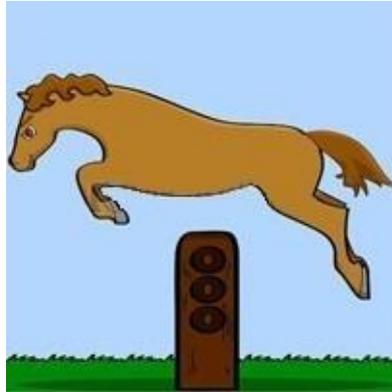
5. ¿Cuál de las siguientes trayectorias seguirá la bola lanzada por el cañón? Explica la elección de la trayectoria escogida.



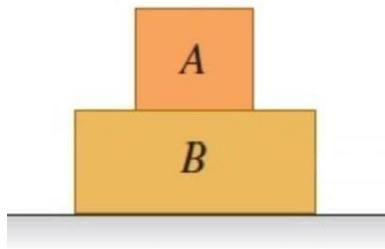
6. La Luna gira alrededor de la Tierra en una órbita prácticamente circular en la que el periodo de alrededor 28 días es constante. ¿Es constante la velocidad de la luna? ¿Si no es así qué es lo que cambia y por qué cambia? Razona tu respuesta.

## 8.2. Cuestionario postest.

1. Un caballo está saltando vallas. En la imagen se muestra el momento en el que está subiendo hacia arriba, ¿qué fuerza o fuerzas están actuando sobre el caballo? Dibuja las fuerzas y explica.



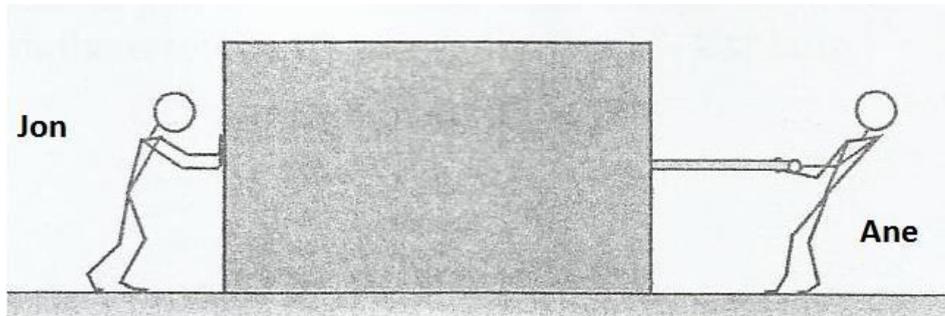
2. Hay dos cajas una encima de otra. Dibuja las fuerzas que actúan sobre la caja de arriba. ¿Hay pares acción reacción entre las fuerzas que has dibujado? Si crees que las hay, explica cuáles son.



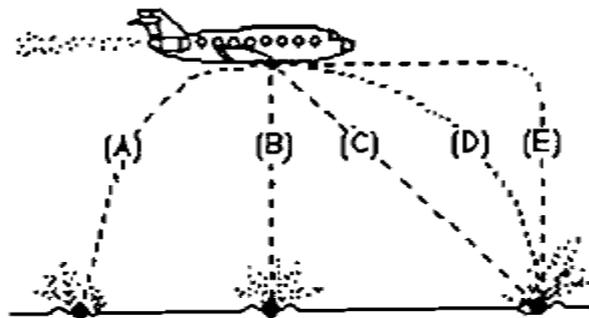
3. Dos compañeros de clase están el uno en frente del otro con silla de oficina que tienen ruedas. El compañero a tiene una masa de 70 Kg y el compañero b 90 Kg. El compañero A tiene las piernas sobre las rodillas del compañero B al cual empuja. ¿La fuerza que ejerce el compañero A sobre el compañero B es mayor, igual o menor que la que ejerce el compañero B sobre el A? Razona tu respuesta.



4. Ane está tirando del bloque de la figura y Jon lo está empujando. El bloque se está desplazando a velocidad constante. ¿Qué pasaría si Jon dejara de empujar?



5. Un avión suelta una caja de ayuda humanitaria sobre un campamento de refugiados. ¿Cuál de las siguientes trayectorias seguirá la caja? Razona tu respuesta.



6. La Estación Espacial Internacional orbita la tierra a una altura de 350 km con un periodo constante de unos 90 minutos. ¿Es constante la velocidad de la Estación Espacial Internacional? ¿Si no es así qué es lo que cambia y por qué cambia? Razona tu respuesta.