



Universidad de Valladolid

Trabajo Fin de Máster

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

Análisis de errores conceptuales relacionados con las leyes de Newton en alumnos de 4º ESO y de 1º Bachillerato.

Autora: Laura Rodríguez Rodríguez

Tutor: Manuel Ángel González Delgado

ÍNDICE

1. Resumen/Abstract	4
2. Introducción	5
2.1 Contexto científico.....	6
2.2 Justificación	6
3. Objetivos	9
4. Plan de trabajo.....	10
5. Metodología.....	11
5.1 Metodología de análisis de los cuestionarios.....	14
5.2 Herramientas de análisis: índice de ganancia de Hake y prueba de Fisher.	15
6. Resultados.....	17
6.1 Categorización de las respuestas del alumnado en los pre y post test.....	17
6.1.1 Cuestión 1	18
6.1.2 Cuestión 2	21
6.1.3 Cuestión 3	24
6.1.4 Cuestión 4	27
6.1.5 Cuestión 5	30
6.1.6 Cuestión 6	33
6.2 Análisis y discusión de los resultados obtenidos.....	35
6.2.1 Comparación del pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2.	35
6.2.2 Comparación del pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2.	47
6.2.3 Comparación del post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1.	57
7. Conclusiones	67
8. Bibliografía	69

9. Listado de tablas e ilustraciones.	72
9.1 Índice de tablas.....	72
9.2 Índice de ilustraciones	73
10. Anexos	75
10.1 Cuestionario previo a la explicación de los contenidos.	75
10.2 Cuestionario posterior a la explicación de los contenidos y a la realización del examen.	77

1. Resumen

Los alumnos comienzan a estudiar las leyes de Newton con unas creencias o ideas previas que provienen de años de experiencia personal y comentarios o explicaciones previas, a veces poco rigurosas, recibidas en su formación anterior. En el presente Trabajo Fin de Máster se ha realizado un estudio utilizando como herramienta cuestionarios (pre-test y post-test) destinados a alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato en dos centros de Valladolid.

Mediante los resultados obtenidos de esos cuestionarios se comprobará cuáles son las ideas previas de las que parten los alumnos, se verá si estas prevalecen sobre los contenidos estudiados, y se evaluará el aprendizaje de los alumnos viendo si es significativo o no después de haber estudiado las leyes de Newton.

Los resultados que se presentan pueden ser de utilidad para futuras investigaciones docentes, y permitirán diseñar secuencias de enseñanza-aprendizaje que tengan en cuenta las ideas previas de los alumnos, de modo que facilitarán lograr un aprendizaje más significativo.

Abstract

Students begin to study of Newton's laws with some prior beliefs or ideas that come from years of personal experience and previous comments or explanations received in their previous education, that sometimes is not too scientifically rigorous. In this work, a study has been carried out by using questionnaires (pre-test and post-test) and has been focused on students of two consecutive courses, 4th course of ESO and 1st course of the Spanish Bachillerato in two high schools in Valladolid.

The results obtained with these questionnaires were used to check students' prior misconceptions, and to analyse if those misconceptions prevail after the students were taught the corresponding contents. Another aim is to evaluate students' learning, and discuss how significant it is, or if there is any, after they have studied Newton's laws.

The results shown in this work can be useful for future teaching research, and can also allow the design of teaching-learning sequences taking into account the students' previous ideas, thus facilitating more meaningful learning.

2. Introducción

El objetivo principal de la Física y la Química, como el de todas las Ciencias de la Naturaleza, es comprender el mundo que nos rodea y tratar de ordenar el amplio campo de los fenómenos tal y como aparecen ante la observación humana.

La enseñanza de la Física se ha basado tradicionalmente en la visión del profesor sobre el contenido y la percepción del estudiante. La característica principal es que su enseñanza y aprendizaje están orientados hacia el conocimiento y no hacia el proceso de aprendizaje (Elizondo Treviño, 2013).

En todos los niveles de enseñanza de esta materia se manifiesta que la diferencia entre lo que se enseña y lo que se aprende es mucho mayor de lo que los profesores creen, y los estudiantes no alcanzan el grado de aprendizaje esperado por los profesores.

Muchos estudiantes comienzan a estudiar física con un sistema establecido de creencias acerca de cómo funciona el mundo físico proveniente de años de experiencia personal. Diversas investigaciones sobre la educación de la física han establecido que las ideas previas que tienen los alumnos juegan un papel dominante en la física introductoria, de forma que aquellas enseñanzas que no las tienen en cuenta son prácticamente ineficaces para la mayoría de los estudiantes (Hestenes et al., 1992).

Las ideas previas son muy difíciles de cambiar y en ocasiones perduran durante largos años de instrucción científica, por lo que no son exclusivas de los estudiantes. Diversos estudios muestran que aquellos profesores que conocen las ideas previas de sus alumnos son capaces de mejorar su aprendizaje (Jones et al., 1999; Mora & Herrera, 2009).

En este Trabajo Fin de Máster se utilizarán cuestionarios como herramienta para comprobar el grado de conocimiento y las ideas previas que tienen los alumnos sobre conceptos newtonianos. El cuestionario consiste en una prueba de respuesta abierta diseñada 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).

El cuestionario de conceptos de fuerza se desarrolló por primera vez en América del Norte y se utiliza como una herramienta de evaluación de diagnóstico en todos los niveles de

enseñanza de física, desde la escuela secundaria hasta la universidad. El propósito de la prueba es determinar el conocimiento y la comprensión de los estudiantes sobre la mecánica newtoniana e inicialmente se proporcionó en forma de respuesta abierta a estudiantes universitarios de nivel introductorio (Savinainen & Scott, 2002).

2.1 Contexto científico

A mediados del siglo XVI, surgió la teoría newtoniana del movimiento mecánico siendo la teoría más completa que existió entonces y aún en la actualidad posee una vigencia permanente (Hernández & de Melo, 2005). Newton resumió las leyes de la dinámica en tres: la primera o ley de la inercia donde incorporó las ideas de Galileo, se enuncia así: “Si la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo es nula, permanecerá a velocidad constante (en un sistema de referencia inercial); la segunda que estableció como determinar los cambios de velocidad bajo diferentes interacciones llamadas fuerzas, se enuncia así: “la fuerza resultante ejercida sobre un cuerpo es igual al producto de su masa (inercial) por la aceleración que la fuerza le produce”; y la tercera que ofrece una norma para las fuerzas: éstas cuando interactúan entre los cuerpos son iguales y opuestas, por lo que se enuncia de la siguiente manera: “Cuando dos cuerpos interactúan, la fuerza que el primer cuerpo ejerce sobre el segundo (acción) es igual y opuesta a la fuerza que el segundo ejerce sobre el primero (reacción) (Miguel, 1986).

2.2 Justificación

El presente trabajo es un trabajo de investigación que se sitúa en el ámbito de investigación de la enseñanza de la Física, y que toma como punto de partida el proceso de enseñanza-aprendizaje de los contenidos correspondientes a las leyes de Newton de la asignatura de Física y Química en los cursos de 4º ESO y de 1º Bachillerato. Para ello, se parte de los contenidos que se recogen en la ORDEN EDU/362/2015 y EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establecen los currículos y se regula la implantación, evolución y desarrollo de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato, respectivamente en la Comunidad de Castilla y León.

Las leyes de Newton son contenidos que se comienzan a estudiar en el nivel de 4º ESO de la asignatura de Física y Química y continúan viéndose en el curso de 1º Bachillerato en la asignatura de Física y Química. En las siguientes tablas (1 y 2) se muestran los contenidos, los

critérios de evaluación, los estándares de aprendizaje y el bloque al que corresponden los contenidos que se van a trabajar en el presente trabajo (“Orden EDU/362/2015”, 2015; “Orden EDU/363/2015”, 2015).

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.

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

(Bloque 7: Dinámica) 1º Bachillerato		
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
La fuerza como interacción. Efectos de las fuerzas. Clasificación y propiedades de las fuerzas. Unidades. Composición de fuerzas. Diagramas de fuerzas.	Identificar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y resolver ejercicios de composición de fuerzas.	Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo la resultante, y extrayendo consecuencias sobre su estado de movimiento.
		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.
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.	Resolver situaciones desde un punto de vista dinámico que involucran planos horizontales o inclinados y/o poleas.	Calcula el módulo del momento de una fuerza en casos prácticos sencillos.
		Resuelve supuestos en los que aparezcan fuerzas de rozamiento en planos horizontales o inclinados, aplicando las leyes de Newton.
		Relaciona el movimiento de varios cuerpos unidos mediante cuerdas tensas y poleas con las fuerzas actuantes sobre cada uno de los cuerpos.

La finalidad de este trabajo es analizar los errores conceptuales sobre las leyes de Newton, ver como varían las concepciones que tienen los alumnos antes y después de haberlas estudiado, y medir el aprendizaje, es decir, comprobar si los alumnos adquieren los conocimientos esperados, que son los expuestos más arriba en este escrito. Para poder llevarlo a cabo, se realizan dos cuestionarios (pre-test y post-test) a alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato de dos centros de Valladolid. Cabe destacar que en este trabajo se ha contado con la colaboración de Carolina González de Castro, compañera del Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación profesional y Enseñanzas de Idiomas, de la especialidad de Física y Química. Posteriormente, se le mencionará como segunda analizadora.

3. Objetivos

En este Trabajo Fin de Máster se ha realizado un estudio sobre los conocimientos que tienen los alumnos de la ESO y Bachillerato sobre las leyes de Newton antes y después de estudiarlas. Con ello, los objetivos que se pretenden alcanzar son:

1. Comprender cómo entienden las leyes de Newton los alumnos.
2. Determinar las dificultades que tienen los alumnos cuando estudian las leyes de Newton.
3. Medir el aprendizaje de los alumnos sobre las leyes de Newton mediante la realización de cuestionarios para evaluar los conocimientos antes y después de impartirse los contenidos, y analizar posibles ganancias en el aprendizaje.
4. Analizar si los conocimientos previos de los alumnos prevalecen sobre los contenidos estudiados acerca de las leyes de Newton.

4. Plan de trabajo

Para poder alcanzar los objetivos planteados en el apartado anterior se parte de un cuestionario previo, y el trabajo se ha desarrollado en las siguientes etapas:

1. Revisión bibliográfica.
2. Utilización de la fenomenografía para realizar las categorías de la cuestión 5 añadida en nuestro trabajo.
3. Corrección de todas las cuestiones de los cuestionarios, clasificando las respuestas en las categorías utilizadas.
4. Cálculo del coeficiente Kappa de Cohen para asegurar que la clasificación es correcta.
5. Cálculo del índice de Hake en los alumnos de 4º ESO del centro 2 para medir la ganancia en el aprendizaje.
6. Realización de la prueba de Fisher en los alumnos de 4º ESO del centro 2 (pre-test y post-test) para comparar las dos situaciones de este grupo.
7. Realización de la prueba de Fisher en los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test) para comparar ambos grupos antes de recibir la formación.
8. Realización de la prueba de Fisher en los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 (post-test) para comparar los dos grupos después de recibir la formación.
9. Discusión de los datos obtenidos.
10. Redacción del TFM.

5. Metodología

El estudio de las ideas previas de los alumnos es importante dado que ciertas teorías de aprendizaje afirman que el sujeto que aprende busca adecuar los nuevos conocimientos a las estructuras conceptuales ya conocidas por él (Miguel, 1986). Por lo que puede ocurrir que los nuevos conceptos no armonicen con las ideas previas, de forma que el alumno puede rechazar lo que se intenta enseñar o directamente ignorarlo.

Los cuestionarios son una herramienta que se puede utilizar tanto con fines educativos como de investigación. Tienen diversas aplicaciones que se dividen en tres categorías principales (Hestenes et al., 1992; Hestenes & Halloun, 1995):

- 1) Como herramienta de diagnóstico, el cuestionario se puede utilizar para identificar y clasificar conceptos erróneos que tengan los alumnos. Para ello es importante que los alumnos justifiquen sus respuestas.
- 2) Para evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje, el cuestionario es un instrumento muy preciso y fiable, por lo que se puede utilizar antes y después de ver los contenidos. Según varios estudios, para una instrucción efectiva solo cuentan los resultados obtenidos en los cuestionarios posteriores, debido a que los resultados obtenidos en las pruebas previas son muy bajos para los alumnos principiantes en física. La variación entre los resultados obtenidos antes y después de haber estudiado los contenidos es muy grande si los resultados obtenidos en el cuestionario previo a los contenidos son bajos, pero pequeña si los resultados obtenidos en el cuestionario previo son altos.
- 3) Como examen de ubicación, el cuestionario tiene un valor limitado en la educación secundaria. No se trata de una prueba de capacidad, y puede realizarse en colegios y universidades para ver si los alumnos comprenden la física introductoria de forma idónea para pasar al siguiente curso.

Los instrumentos empleados en este TFM se utilizarán como herramienta de diagnóstico y para evaluar el proceso de aprendizaje. Son dos cuestionarios en papel (pre y post) realizados en el aula, formados por 6 cuestiones de respuesta abierta sobre las leyes de Newton. Estos cuestionarios fueron elaborados mediante una colaboración de las universidades de Valencia y el País Vasco, y constaban de cinco cuestiones, a los que se les

ha añadido una sexta cuestión en este trabajo. Antes de realizar los cuestionarios se informó a los alumnos de que no serían pruebas evaluables y que los datos extraídos se utilizarían para realizar un Trabajo Fin de Máster, por lo que debían responder a todas las cuestiones justificando sus respuestas.

En la tabla 3, se muestra el análisis epistemológico y los indicadores de aprendizaje, también conocidos como estándares de aprendizaje evaluables. Se propone este análisis epistemológico (Leturiondo Uriona, 2022), de modo que el resultado es un conjunto de ideas clave que deben ser estructuradas para enseñar a los estudiantes (Guisasola Aranzabal et al., 2021). A partir de esas ideas clave (Leturiondo Uriona, 2022) desarrolla los indicadores de aprendizaje que se definen para la consecución de los objetivos de aprendizaje fijados.

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 fatos, contrastar resultados...	

5.1 Metodología de análisis de los cuestionarios

Para realizar el análisis de las respuestas de los cuestionarios se han utilizado una serie de categorías que han sido propuestas por otro estudio anterior (Leturiondo Uriona, 2022). La metodología que emplearon para elaborar esas categorías fue la fenomenografía, que consiste en identificar las diferentes formas en las que los alumnos perciben un fenómeno y clasificar esos razonamientos.

En el caso de la cuestión 5, para la cual no había categorías previas, también se ha empleado la fenomenografía. Para llevarla a cabo, se ha revisado más del 80% de las respuestas obtenidas, identificando los diferentes razonamientos y las dificultades comunes entre los alumnos, y proponiendo unas categorías provisionales. Tras volver a leer las respuestas y asignarlas a las categorías provisionales, se vio que había algunas respuestas que no encajaban en ninguna de las categorías propuestas, por lo que se realizaron modificaciones hasta obtener las categorías definitivas.

En el caso de las cuestiones 1, 2, 3, 4 y 6 se utilizaron las categorías propuestas por otro estudio anterior, como ya se mencionó anteriormente, pero tras haber clasificado las respuestas, se vio que algunas de las respuestas obtenidas en estos cuestionarios no encajaban en ninguna de las categorías, por lo que se decidió añadir alguna categoría para que la categorización se ajustase bien a las respuestas.

Una vez obtenidas las categorías definitivas, una segunda analizadora y la autora de este trabajo clasificaron todas las respuestas obtenidas en las categorías y se calculó el coeficiente Kappa de Cohen, utilizando herramientas de análisis que han sido desarrolladas por Genaro Zavala y Esmeralda Campos del Tecnológico de Monterrey en su investigación docente (Campos et al., 2020, 2021).

La estadística Kappa permite medir el acuerdo entre dos o más evaluadores, teniendo en cuenta que a veces estarán de acuerdo o en desacuerdo simplemente por casualidad (Viera & Garrett, 2005). El coeficiente Kappa de Cohen puede alcanzar valores entre 0, indica un acuerdo equivalente al azar, y 1, indica un acuerdo perfecto entre los evaluadores. Varios autores han sugerido pautas de interpretación para los valores entre 0 y 1 (Landis & Koch, 1977), como se ve en la tabla 4.

Tabla 4: Interpretación de los valores Kappa.

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

Por lo tanto, cuando $0,8 \leq k \leq 1$, se considera que los resultados obtenidos son fiables y que la categorización es válida.

El valor de kappa se calcula de la siguiente forma:

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

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).

5.2 Herramientas de análisis: índice de ganancia de Hake y prueba de Fisher.

El índice de Hake indica la ganancia en el aprendizaje de los alumnos comparando el porcentaje de respuestas correctas en el pre-test y el porcentaje de respuestas correctas en el post-test (Hake, 1998), y se obtiene según la fórmula (Coletta et al., 2007):

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

Esta ganancia se establece según los siguientes rangos (Castañeda et al., 2018): baja ($g \leq 0,3$), media ($0,3 < g \leq 0,7$), alta ($g > 0,7$). Se considera que no hay ganancia o que es despreciable cuando $g < 0,1$.

La prueba de Fisher 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.

La prueba de Fisher se calcula de la siguiente manera (Fisher, 1922; Pértega Díaz & Pita Fernández, 2004):

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

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

6. Resultados.

En este Trabajo Fin de Máster se ha realizado un estudio con los diferentes datos obtenidos de los cuestionarios propuestos a los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato. Como ya se mencionó anteriormente, los cuestionarios se han realizados en dos centros de Valladolid, que posteriormente mencionaremos como centro 1 y centro 2 para mantener su privacidad. En el centro 1, solo se pudieron obtener datos del post-test, ya que cuando se pudo disponer del cuestionario en este centro ya habían estudiado las leyes de Newton. Se consiguieron resultados de cuestionarios de 18 alumnos de 4º ESO y de 48 alumnos de 1º Bachillerato. En cambio, en el centro 2 aun no habían estudiado las leyes de Newton, por lo que se pudieron obtener 56 cuestionarios pre y post de alumnos de 4º ESO. En el caso de los alumnos de 1º Bachillerato, solo fue posible realizar el pre-test, debido a que no se pudo disponer de tiempo para que los alumnos realizaran el post-test en clase y se consiguieron datos de 36 alumnos.

6.1 Categorización de las respuestas del alumnado en los pre y post test.

Para estudiar los resultados obtenidos, se analizará cada una de las cuestiones de los pre y post test, y las respuestas se clasificarán en diferentes categorías. Se describirán las categorías utilizadas, se mostrarán algunas de las respuestas de los alumnos extraídas de los cuestionarios, y se procederá a realizar el análisis y discusión de los resultados obtenidos. Las categorías utilizadas en este TFM para las cuestiones 1, 2, 3, 4 y 6, ya se han empleado en investigaciones anteriores (Leturiondo Uriona, 2022), por lo que su validez ya se ha comprobado anteriormente.

La categorización de las respuestas de los cuestionarios pre y post ha sido realizada por una segunda analizadora y la autora de este trabajo. El coeficiente Kappa de Cohen (k) es mayor o igual que 0,8 para todas las cuestiones, tanto en el pre-test como en el post-test, por lo que la categorización entre ambas concuerda y las categorías son válidas. En la tabla 6, se muestran los valores del coeficiente Kappa de Cohen obtenidos en la categorización de las cuestiones.

Tabla 6: Valores obtenidos del coeficiente Kappa de Cohen al categorizar las respuestas de los cuestionarios.

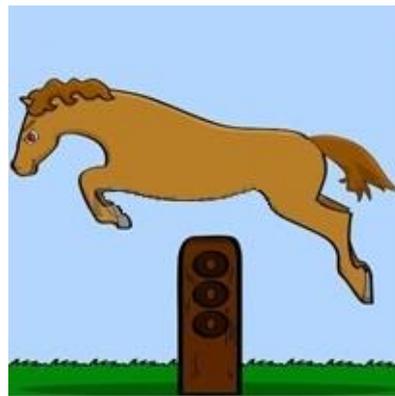
Cuestión	Coeficiente de la kappa de Cohen	
	Pre-test	Post-test
1	0,98	0,94
2	0,95	0,99
3	0,97	0,99
4	0,91	0,90
5	0,85	0,93
6	1,00	0,99

6.1.1 Cuestión 1

Esta cuestión se plantea con el objetivo de comprobar la capacidad de los alumnos para dibujar el diagrama de fuerzas de forma correcta en una situación en la que solo influye el peso. En el pre-test 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 manera, en el post-test se muestra un caballo que está saltando vallas en el momento que está subiendo.

En la ilustración 1, se muestran los dibujos de la cuestión 1, del pre-test y del post-test, respectivamente.

Ilustración 1: Dibujos cuestión 1 pre-test y post-test, respectivamente.



En la tabla 7 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 pre-test y el post-test. El dato se muestra en porcentaje debido a que el número de alumnos que han respondido al pre-test (N=92) no es el mismo que el del post-test (N= 122).

Tabla 7: Categorización de la cuestión 1.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a la pregunta. Solo dibuja el peso (y la fricción del aire).	9,78	21,31
A1	Correcta y completa.	5,43	18,03
A2	Correcta sin razonamiento.	0,00	1,64
A3	Correcta sin dibujo.	4,35	1,64
B	Aparece la idea de ímpetu.	60,87	65,57
B1	Considera el peso y el ímpetu, y en algunos casos la fuerza de rozamiento.	48,91	44,26
B2	Considera el ímpetu y otras fuerzas.	10,87	19,67
B3	Solo considera el ímpetu.	0,00	1,64
B4	Representa el ímpetu, pero no lo razona.	0,00	0,00
B5	Razona el ímpetu, pero no lo dibuja.	1,09	0,00
C	Dibuja o menciona fuerzas de más: duplica la fuerza gravitatoria.	4,35	7,38
D	Confunde la fuerza con otros conceptos: inercia, masa, velocidad, aceleración, etc.	11,96	2,46
E	Respuesta incoherente.	7,61	2,46
F	No responde.	5,43	0,82

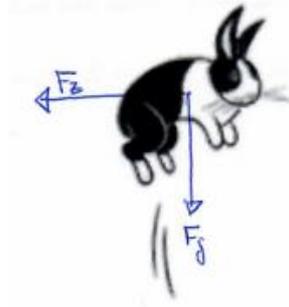
En esta cuestión, se encuentran recogidas en la categoría A aquellas respuestas que se han considerado correctas, es decir, aquellas en las que solo se ha dibujado el peso hacia abajo y, opcionalmente, la fricción del aire.

Como puede observarse en la tabla 7, el porcentaje más elevado de respuestas corresponde a la categoría B, 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. Más adelante, igual que para el resto de las preguntas, se discutirán con más detalle los errores cometidos en diferentes cursos y centros.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las respuestas obtenidas para la cuestión 1.

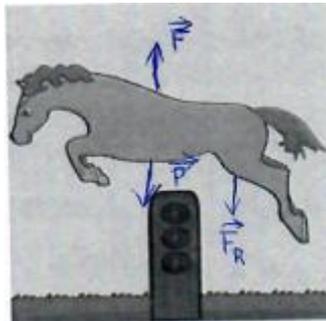
Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 65, 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test): *“En el momento que está arriba, sobre el conejo actúan la fuerza gravitatoria y el rozamiento del aire”*.

Ilustración 2: Ejemplo cuestión 1 categoría A1.



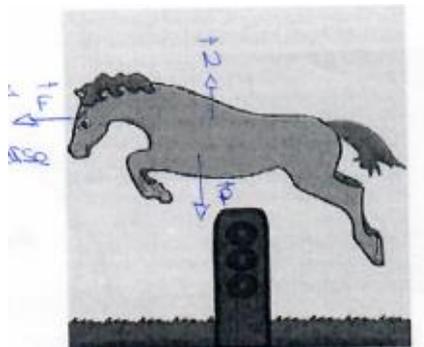
Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 2, 4º ESO del centro 2 (post-test): *La fuerza que el caballo ejerce hacia arriba, su propio peso hacia abajo, y la fuerza de rozamiento hacia abajo.*

Ilustración 3: Ejemplo cuestión 1 categoría B1.



Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 64, 4º ESO del centro 1 (post-test): *Fuerza que aplica el caballo al saltar e impulsarse. Fuerza peso por la masa del caballo y la gravedad le tiran hacia abajo. Fuerza normal que eleva al caballo al darse impulso para saltar la valla.*

Ilustración 4: Ejemplo cuestión 1 categoría B2.



Respuesta clasificada en la categoría C. Estudiante nº 71, 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test): *La fuerza del salto, hacia arriba (F_s). El peso del conejo, hacia abajo (P). La gravedad, hacia abajo (g).*

Ilustración 5: Ejemplo cuestión 1 categoría C.



Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 68, 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test): *Las fuerzas que actúan sobre el conejo son: la velocidad ya que iba corriendo, la gravedad y la fuerza peso del conejo ya que salta.*

Respuesta clasificada en la categoría E. Estudiante nº 80, 1º Bachillerato del centro 1 (post-test): *El peso (por la fuerza de la gravedad) se dirige hacia abajo, así como la normal.*

Ilustración 6: Ejemplo cuestión 1 categoría E.



6.1.2 Cuestión 2

Esta cuestión se plantea con el objetivo de comprobar la capacidad de los alumnos para identificar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en reposo y dibujar de forma correcta el diagrama de fuerzas. En el pre-test se les pide a los alumnos que dibujen las fuerzas que actúan sobre un libro que se encuentra encima de una mesa y se les pregunta si hay pares de acción-reacción entre las fuerzas que han dibujado. En el post-test se muestran dos cajas,

una sobre la otra y de igual manera se les pide a los alumnos que dibujen las fuerzas que actúan sobre la caja de arriba y se les pregunta lo mismo.

En la ilustración 7, se muestran los dibujos de la cuestión 2, del pre-test y del post-test, respectivamente.

Ilustración 7: Dibujos cuestión 2 pre-test y post-test, respectivamente.



En la tabla 8 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 pre-test (N=92) y el post-test (N= 122).

Tabla 8: Categorización de la cuestión 2.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a la pregunta.	2,17	0,00
B	Dibuja correctamente las fuerzas que actúan (el peso y la fuerza normal), pero no justifica su respuesta de forma correcta.	18,48	48,36
B1	Cree que el peso y la normal son pares de acción-reacción.	4,35	27,05
B2	No responde a la pregunta sobre los pares de acción-reacción.	13,04	18,03
B3	Las razones con las que concluye que no hay pares de acción-reacción no son correctas.	1,09	3,28
C	Dibuja fuerzas de más y/o falta alguna fuerza.	52,18	40,99
C1	No dice nada sobre la acción-reacción.	10,87	2,46
C2	Hace referencia a la acción-reacción existente entre los dos objetos.	11,96	36,89
C3	Solo se representa el peso hacia abajo.	7,61	0,82
C4	Confunde la fuerza con otras magnitudes físicas.	21,74	0,82
D	Respuesta incoherente.	19,57	7,38
E	No responde.	7,61	3,28

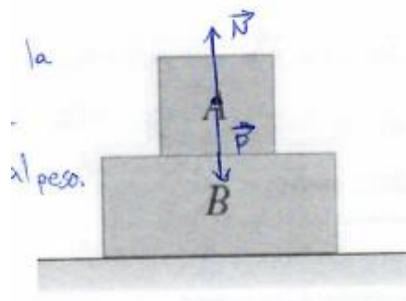
De la misma forma que en la cuestión anterior, en la categoría A se encuentran recogidas solo las respuestas que se consideran correctas, es decir, aquellas en las que dibujan el peso y la normal, y concluyen que no son un par de acción-reacción.

Como puede observarse en la tabla 8, los porcentajes más elevados en el pre-test corresponden a los alumnos que confunden la fuerza con otras magnitudes físicas (categoría C4) y a los alumnos que responden de forma incoherente (categoría D). Por otro lado, en el post-test los porcentajes más grandes corresponden a respuestas donde los alumnos mencionan la acción-reacción existente (categorías B1 y C2).

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

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 2, 4º ESO del centro 2 (post-test): *Sí que hay pares acción-reacción, ya que la caja de arriba, al estar apoyada, actúa sobre ella la normal (N), que será igual al peso.*

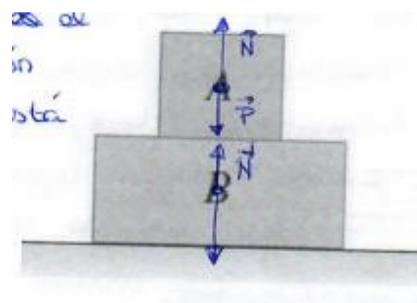
Ilustración 8: Ejemplo cuestión 2 categoría B1.



Respuesta clasificada en la categoría B3. Estudiante nº 29, 4º ESO del centro 2 (post-test): *No creo que se trate de acción-reacción porque en realidad ninguna de las fuerzas está actuando por la otra, es decir, esas fuerzas están ahí igual que podrían estar por separado.*

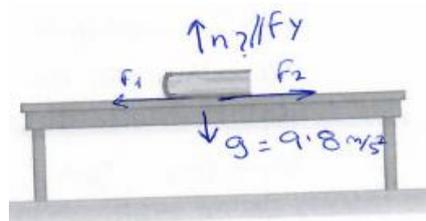
Respuesta clasificada en la categoría C2. Estudiante nº 14, 4º ESO del centro 2 (post-test): *Yo creo que la Normal de la B y el Peso de la A, son pares de acción-reacción ya que la N de la B está haciendo que el P de la A no se caiga.*

Ilustración 9: Ejemplo cuestión 2 categoría C2.



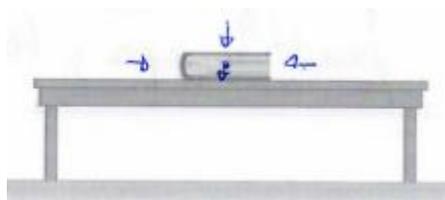
Respuesta clasificada en la categoría C4. Estudiante nº 90, 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test): *Yo creo que sí que hay fuerzas hacia arriba y abajo que se contrarrestan. Gravedad y normal.*

Ilustración 10: Ejemplo cuestión 2 categoría C4.



Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 35, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *Se aplica la presión del principio de Arquímedes y la fuerza de la gravedad. No hay acción-reacción, porque el libro no puede caer más.*

Ilustración 11: Ejemplo cuestión 2 categoría D.



6.1.3 Cuestión 3

Esta cuestión se plantea con el objetivo de comprobar 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 pre-test 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 post-test se muestra a dos compañeros de diferentes masas que se encuentran el uno frente al otro en sillas de oficina con ruedas. El compañero de menor masa (a) empuja al otro compañero (b), y se les pide a los alumnos que razonen si creen que la fuerza que ejerce el compañero a sobre el b es mayor, igual o menor que la que ejerce el compañero b sobre el a.

En la ilustración 12, se muestran los dibujos de la cuestión 3, del pre-test y del post-test, respectivamente.

Ilustración 12: Dibujos cuestión 3 pre-test y post-test, respectivamente.



En la tabla 9 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 3, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada categoría en el pre-test (N=92) y el post-test (N= 122).

Tabla 9: Categorización de la cuestión 3.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a la pregunta. La fuerza que ejerce A sobre B es la misma que ejerce B sobre A.	2,17	27,87
A1	Completa y bien justificada.	0,00	11,48
A2	La explicación no está completa o la terminología no es acertada.	2,17	16,39
B	La fuerza depende de otras variables.	84,77	53,29
B1	Depende de la masa.	27,17	33,61
B2	Depende de la fuerza que "tiene" cada cuerpo.	28,26	6,56
B3	Depende de la distancia que se mueve.	16,30	4,92
B4	Depende de la velocidad que adquiere cada uno.	3,26	0,82
B5	Responde sin razonar.	4,35	4,10
B6	Limita la ley de acción-reacción a casos donde no hay fricción.	5,43	3,28
C	Elige mal el sistema/aplica todas las fuerzas sobre el mismo cuerpo.	2,17	2,46
D	Respuesta incoherente.	8,70	14,75
E	No responde.	2,17	1,64

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.

En la tabla 9, 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 pre-test corresponden a los alumnos que creen que la fuerza depende de la masa (B1), y a los que creen que depende de la fuerza que "tiene" cada cuerpo (B2). Mientras que en el post-test predominan los alumnos que responden que la fuerza depende de la masa.

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

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 105, 1º Bachillerato del centro 1 (post-test): *La fuerza es igual atendiendo a lo que dice la 3ª ley de Newton (acción-reacción),*

que dos fuerzas de sentido contrario (una como respuesta de otra) son del mismo valor. Aunque tengan distintas masas eso dará igual, ya que se verá reflejado en el movimiento de cada cuerpo. $F=m \cdot a$. La fuerza para los dos cuerpos es la misma, si tienen distinta masa, tendrán distinta aceleración.

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 37, 4º ESO del centro 2 (post-test): *Según la tercera ley de Newton la fuerza es igual.*

Respuesta clasificada en la categoría B1. Estudiante nº 1, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *La del padre es mayor porque su peso también lo es.*

Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 14, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *Creo que será mayor ya que el padre proporcionalmente es mayor que la hija y, por tanto, también tendrá mayor fuerza.*

Respuesta clasificada en la categoría B3. Estudiante nº 2, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *Las fuerzas con las que se han empujado han de ser iguales o semejantes, ya que, si el padre hubiese empujado a la hija con una fuerza mayor, este apenas se habría movido, pero su hija hubiese llegado más lejos.*

Respuesta clasificada en la categoría C. Estudiante nº 14, 4º ESO del centro 2 (post-test): *La fuerza será mayor ya que B no ejerce ningún tipo de fuerza a parte del peso y la normal.*

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 98, 1º Bachillerato del centro 1 (post-test): *En una situación de equilibrio en la que ninguno se mueve, ambas fuerzas son iguales, pero en el momento en el que "a" empuja a "b", la fuerza que "a" ejerce en "b" es mayor que la fuerza que "b" ejerce en "a" porque si fueran iguales "b" no se movería y si la fuerza que ejerce "b" fuera mayor "a" se movería.*

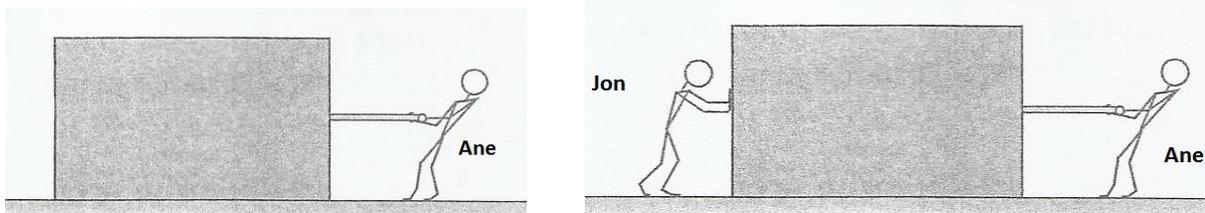
6.1.4 Cuestión 4

Esta cuestión se plantea con el objetivo de comprobar si los alumnos comprenden la relación fuerza-aceleración, y entienden que la fuerza provoca aceleración. En el pre-test 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 es lo que pasa y qué pasaría si Ane dejase de tirar del bloque. En el post-test la situación es similar, en este caso Ane está tirando del bloque y Jon lo está empujando. De igual forma que en el pre-

test, se les pide a los alumnos que expliquen que es lo que pasa, y en este caso se les pregunta qué pasaría si Jon dejase de empujar. Esta cuestión ha resultado la más difícil de corregir, ya que las respuestas obtenidas en el pre-test y en el post-test eran muy diferentes. Por ello, tras una primera corrección de las respuestas, se plantearon categorías diferentes para las dos preguntas planteadas, pero finalmente se decidió mantener las categorías originales y considerar como referencia si los alumnos respondían correctamente a la primera pregunta tanto del pre-test como del post-test, es decir, si comprendían que para que la velocidad sea constante, la fuerza neta debe ser cero.

En la ilustración 13, se muestran los dibujos de la cuestión 4, del pre-test y del post-test, respectivamente.

Ilustración 13: Dibujos cuestión 4 pre-test y post-test, respectivamente.



En la tabla 10 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 categoría en el pre-test (N=92) y el post-test (N= 122).

Tabla 10: Categorización de la cuestión 4.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a las dos preguntas planteadas.	4,35	21,31
A1	Correcta completa y bien justificada.	0,00	18,85
A2	Correcta incompleta, mal justificada o terminología incorrecta.	4,35	2,46
B	Es necesaria una fuerza para detenerse. No responde a la primera pregunta.	11,96	9,84
B1	Señala la necesidad de una fuerza de fricción para detener el bloque.	1,09	0,82
B2	Señala la necesidad del peso y la fuerza de fricción para detener el bloque.	1,09	1,64
B3	No ven necesaria la fricción y responden mal.	9,78	7,38
C	Para que v sea constante es necesaria una fuerza.	76,08	51,64
C1	Necesidad de una fuerza constante para que la caja se mueva a velocidad constante.	46,74	42,62
C2	Se basa en el peso para explicar la velocidad constante del objeto.	7,61	3,28
C3	Responde intuitivamente sin justificar la respuesta.	16,3	4,92
C4	El bloque se detendrá a causa de la fricción.	5,43	0,82
D	Respuesta incoherente.	6,52	15,57
E	No responde.	1,09	1,64

En la categoría A se encuentran recogidas las respuestas correctas, aquellas en las que los alumnos concluyen en la primera pregunta que si el bloque se desplaza a velocidad constante es porque no tiene aceleración y, por lo tanto, la fuerza neta es 0; y en la segunda pregunta, que el bloque se detendría justificando en cada caso la respuesta.

Como puede observarse en la tabla 10, el porcentaje más elevado de respuestas corresponde a la categoría C1, donde los alumnos justifican que para que la velocidad sea constante es necesaria una fuerza constante, por lo que no comprenden que la fuerza provoca aceleración.

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

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 98, 1º Bachillerato del centro 1 (post-test): *Como la velocidad es constante, la aceleración es 0; por lo que la suma de las fuerzas de Jon y Ane menos la fuerza de rozamiento es 0, están en equilibrio. Si Jon dejara de*

empujar, la fuerza de rozamiento sería mayor que la fuerza de Ane y el bloque se iría frenando.

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 64, 1º Bachillerato del centro 2 (pre-test): *Ane está tirando con una fuerza. A la vez, sobre el bloque actúa la fuerza de rozamiento que la “estabiliza” y también la fuerza de la gravedad y la normal. Si Ane dejase de tirar, el bloque dejaría de moverse.*

Respuesta clasificada en la categoría B2. Estudiante nº 34, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *El objeto debido a su peso y a la superficie y el rozamiento ejerce una fuerza contraria a la que ejerce Ane, se opone, si Ane deja de tirar el objeto se para.*

Respuesta clasificada en la categoría B3. Estudiante nº 3, 4º ESO del centro 2 (pre-test): *Si Ane deja de tirar, deja de realizar fuerza sobre este objeto, por lo que el bloque deja de moverse y deja de tener una velocidad constante porque se frena.*

Respuesta clasificada en la categoría C1. Estudiante nº 8, 4º ESO del centro 2 (post-test): *Porque están ejerciendo la misma fuerza los dos. Si Jon dejara de empujar se reduciría la velocidad porque solo se ejercería una fuerza.*

Respuesta clasificada en la categoría C2. Estudiante nº11, 4º ESO del centro 2 (post-test): *La fuerza que ejercen Jon y Ane es mayor que el peso del bloque y por eso se desplaza. Si Jon dejara de empujar, a Ane le costaría más o no podría desplazar el bloque, porque el peso del bloque sería mayor que la fuerza que ejerce Ane.*

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 96, 1º Bachillerato centro 1 (post-test): *Que no tiene una aceleración, por lo que F_J y $-F_A$ es la misma. Que toda la fuerza recae en Ane.*

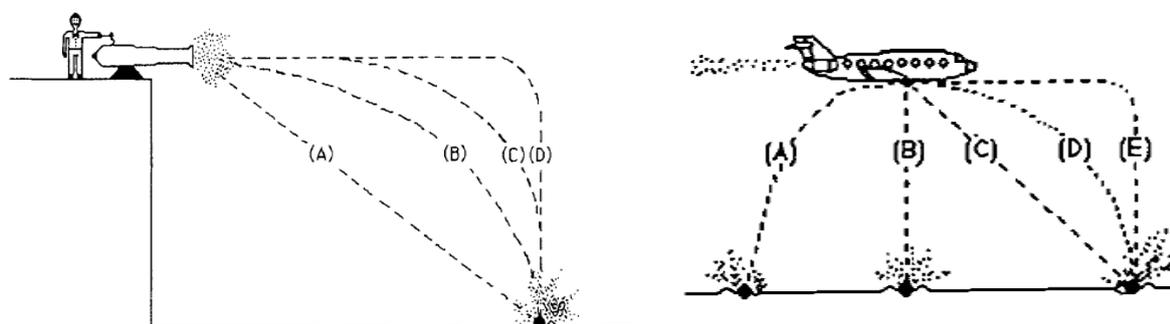
6.1.5 Cuestión 5

Esta cuestión se plantea con el objetivo de comprobar si los alumnos entienden que se trata de una composición de movimientos independientes: un movimiento horizontal rectilíneo uniforme y un movimiento vertical rectilíneo uniformemente acelerado, por lo que sería una combinación de la primera y segunda ley de Newton. En el pre-test 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 post-test se muestra un avión que suelta

una caja y al igual que en el pre-test se les pide a los alumnos que identifiquen la trayectoria seguida por la caja, justificando la respuesta.

En esta cuestión, a diferencia de todas las demás, se presentan diferentes opciones tanto en el pre-test como en el post-test, entre las que el alumno debe elegir la correcta y justificar su respuesta. Para realizar la categorización de las respuestas no se ha considerado la opción que ha seleccionado el alumno, sino el razonamiento que ha empleado para justificar su elección. En la ilustración 14, se muestran los dibujos de la cuestión 5, del pre-test y del post-test, respectivamente.

Ilustración 14: Dibujos cuestión 5 pre-test y post-test, respectivamente.



En la tabla 11 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 5, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada categoría en el pre-test (N=92) y el post-test (N= 122).

Tabla 11: Categorización de la cuestión 5.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a la pregunta.	26,08	45,08
A1	Responde correctamente y justifica la respuesta.	2,17	14,75
A2	Responde correctamente, pero la explicación no está completa.	23,91	30,33
B	Menciona la idea de ímpetu.	27,17	0,00
C	No tiene en cuenta la primera ley de Newton.	29,35	49,18
C1	No tiene en cuenta la primera ley de Newton en el eje horizontal.	0,00	43,44
C2	No tiene en cuenta la primera ley de Newton en el eje vertical.	29,35	5,74
D	Respuesta incoherente.	11,96	1,64
E	No responde/ No explica.	5,43	4,10

En la categoría A se encuentran recogidas las respuestas correctas, aquellas en las que los alumnos responden que seguirá un movimiento rectilíneo uniforme en el eje x, debido a que no hay aceleración, y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en el eje y, debido a la gravedad.

En la tabla 11, se muestra que el porcentaje de respuestas más elevado corresponde a aquellas donde los alumnos no tienen en cuenta la primera ley de Newton (categoría C). También cabe destacar que un porcentaje elevado de alumnos vuelve a mencionar la idea del ímpetu (categoría B) en el pre-test.

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

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 105, 1º Bachillerato centro 1 (post-test): *Seguirá la D, porque es un movimiento parabólico en el cual la velocidad inicial (y final, al ser un MRU en el eje x) del eje x es igual a la velocidad que lleva el avión, por lo tanto, se tendrá que mover hacia delante (descartamos A y B). También hay movimiento MRUA en el eje y (descartamos E, que hay un momento en el que no es afectado por la gravedad). Y como tiene que ser una parábola, descartamos C, que sería un MRU en ambos ejes.*

Respuesta clasificada en la categoría B. Estudiante nº 25, 4º ESO centro 2 (pre-test): *La trayectoria C porque avanzará debido al impulso que le proporciona el cañón y se irá cayendo poco a poco por su peso.*

Respuesta clasificada en la categoría C1. Estudiante nº 1, 4º ESO centro 2 (post-test): *Yo creo que la B porque no se aplica en la caja ninguna fuerza que haga que la caja no caiga de forma perpendicular al suelo.*

Respuesta clasificada en la categoría C2. Estudiante nº 58, 1º Bachillerato centro 2 (pre-test): *Seguirá la trayectoria C. Si la lanza desde el cañón, la bola seguirá una trayectoria recta hasta que la bola se quede sin la fuerza del cañón y actúe solo la fuerza de la gravedad y la bola comience a caer.*

Respuesta clasificada en la categoría D. Estudiante nº 61, 1º Bachillerato centro 2 (pre-test): *Es la C porque el trayecto D es muy perfecto y un cañón no haría una trayectoria tan perfecta. El A tampoco porque no apunta en esa dirección. Y entre el B y el C podrían ser los*

que más cuadran. Yo he cogido el C porque me parece que es el que más cuadra respecto de la trayectoria de un cañón.

6.1.6 Cuestión 6

El objetivo de la sexta cuestión es comprobar si los alumnos entienden la relación entre el movimiento circular y las aceleraciones asociadas. 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 pre-test 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 forma, en el post-test 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 pre-test.

En la tabla 12 se muestran las categorías en las que se han clasificado las respuestas obtenidas de los cuestionarios para la cuestión 6, y el porcentaje de respuestas obtenidas en cada categoría en el pre-test (N=92) y el post-test (N= 122).

Tabla 12: Categorización de la cuestión 6.

Categoría	Descripción de categoría	Pre-test (%)	Post-test (%)
A	Responde correctamente a la pregunta.	2,17	12,30
A1	Responde de manera correcta y justifica bien la respuesta.	0,00	6,56
A2	Responde correctamente, pero justifica mal o utiliza terminología incorrecta.	2,17	5,74
B	Responde que v es constante. Expone razones científicas.	15,22	36,07
B1	Responde que la fuerza que la Tierra ejerce sobre la Luna o la estación es constante y la velocidad también, o responde que la fuerza no es constante y que la velocidad tampoco lo es.	3,26	3,28
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.	0,00	6,56
B4	La velocidad del satélite o estación es constante porque lo es el periodo.	11,96	26,23
C	Responde que v es constante/no constante sin justificar su respuesta.	27,17	15,57
D	Responde que v es constante/no constante. Expone razones no científicas como argumento.	29,35	12,30
E	Respuesta incoherente.	6,52	13,11
F	No responde.	19,57	10,66

En la categoría A se encuentran recogidas las respuestas correctas, aquellas en las que los alumnos responden que la velocidad es constante en módulo, pero no en dirección. En un movimiento circular la aceleración se puede descomponer en aceleración tangencial, que cambia el módulo de la velocidad, y en aceleración normal, que cambia la dirección. En este caso, el módulo de la velocidad es constante, por lo que no habrá aceleración tangencial, pero si aceleración normal.

En la tabla 12, se muestra que el porcentaje de respuestas más elevado en el pre-test corresponde a aquellas donde los alumnos responden que la velocidad es constante o no lo es sin exponer razones científicas, categoría D. Mientras que en el post-test el porcentaje más alto corresponde a aquellos alumnos que responden que la velocidad es constante y exponen razones científicas, categoría B. También cabe mencionar que el porcentaje de alumnos que responde sin justificar su respuesta (categoría C), tanto en el pre-test como en el post-test, es bastante elevado.

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

Respuesta clasificada en la categoría A1. Estudiante nº 99, 1º Bachillerato centro 1 (post-test): *El módulo del vector velocidad es constante, pero no lo es su dirección. Esta varía a causa de la aceleración normal que recibe la Estación Espacial Internacional a causa de realizar su movimiento circular alrededor de la Tierra.*

Respuesta clasificada en la categoría A2. Estudiante nº 110, 1º Bachillerato centro 1 (post-test): *La velocidad orbital es constante, pero, al ser una rotación, hay un cambio de dirección y, por tanto, una aceleración (aceleración tangencial).*

Respuesta clasificada en la categoría B3. Estudiante nº 73, 4º ESO centro 1 (post-test): *Si que es constante, ya que no hay ninguna fuerza que frene o acelere la velocidad de la Estación Espacial. No existe ninguna fuerza, porque el espacio está vacío, no hay aire ni nada.*

Respuesta clasificada en la categoría B4. Estudiante nº 1, 4º ESO centro 2 (post-test): *Yo creo que es constante puesto que orbita con un periodo constante de 90 minutos.*

Respuesta clasificada en la categoría E. Estudiante nº 100, 1º Bachillerato centro 1 (post-test): *No es constante porque si solo está activo cada 90 minutos debe acelerar cuando se queda sin velocidad. También irá frenando por lo que la velocidad no es constante.*

6.2 Análisis y discusión de los resultados obtenidos.

En este apartado se procederá a analizar los resultados obtenidos mediante tres comparaciones que se muestran en los siguientes apartados.

6.2.1 Comparación del pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2.

Para llevar a cabo esta comparación se han estudiado las 56 respuestas obtenidas de alumnos de un centro de Valladolid. En este apartado se van a comparar los porcentajes de las respuestas obtenidas en los cuestionarios pre y post de los alumnos de 4º ESO del centro 2. Esta comparación se realiza con el fin de comprobar si el aprendizaje sobre las leyes de Newton ha sido significativo o no, de ver los errores conceptuales que presentan los alumnos y las ideas previas de las que partían los alumnos, que en algunos casos están tan arraigadas que no cambian después de haber estudiado los contenidos.

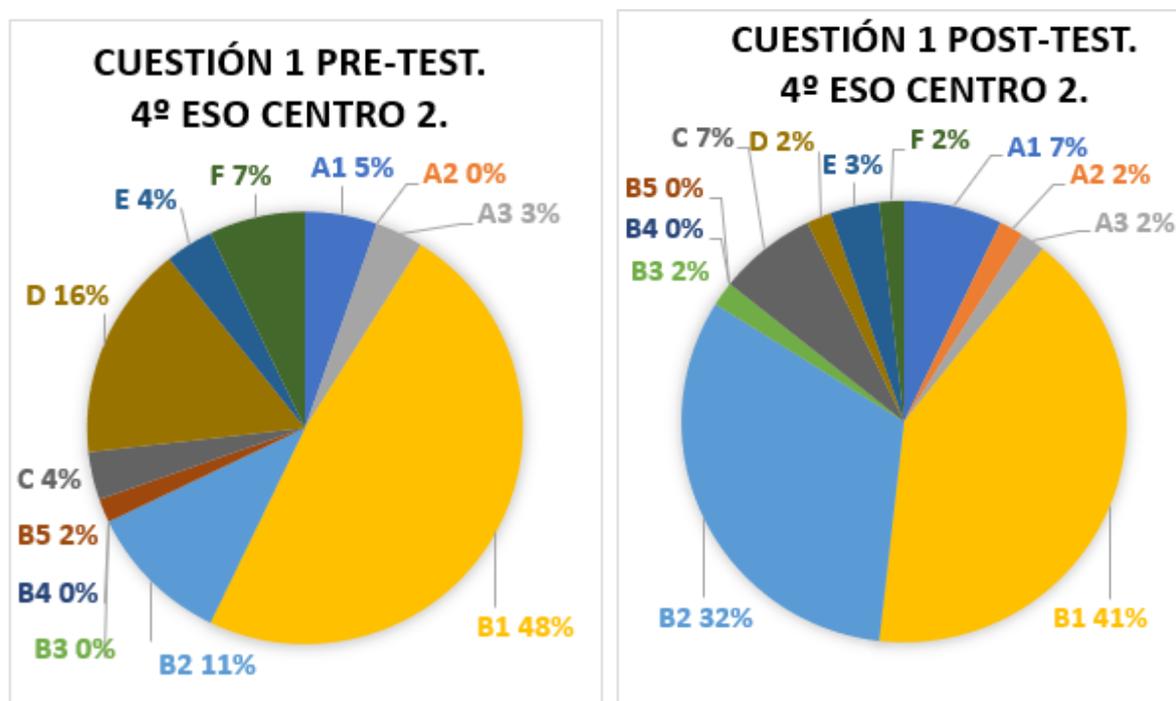
Cuestión 1

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 1 se encuentran recogidos en la tabla 13. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 19. Las categorías se repetirán varias veces a lo largo del análisis de resultados, por lo que para evitar repeticiones únicamente se indicará la página donde se encuentran detalladas las categorías.

Tabla 13: Resultados cuestión 1, 4ºESO centro 2.

Cuestión 1	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	5,36	7,14
A2	0,00	1,79
A3	3,57	1,79
B1	48,21	41,07
B2	10,71	32,14
B3	0,00	1,79
B4	0,00	0,00
B5	1,79	0,00
C	3,57	7,14
D	16,07	1,79
E	3,57	3,57
F	7,14	1,79

Ilustración 15: Gráfico resultados cuestión 1, 4º ESO centro 2.



Como puede observarse en la Ilustración 15, el porcentaje de alumnos que han respondido correctamente a esta cuestión es muy bajo tanto en el pre-test (8,93%) como en el post-test (10,72%). El porcentaje más alto de respuestas corresponde a aquellas relacionadas con la idea de ímpetu, que se encuentran recogidas en la categoría B (pre-test: 60,71%; post-test: 75%). Como puede observarse, la idea del ímpetu está muy arraigada en la mente de los alumnos y, curiosamente, un porcentaje de los alumnos que en el pre-test no respondían o lo hacían confundiendo la fuerza con otros conceptos, en el post-test mencionan la idea de ímpetu, mostrando la necesidad de una “fuerza” que empuje o tire del cuerpo para que vaya hacia arriba.

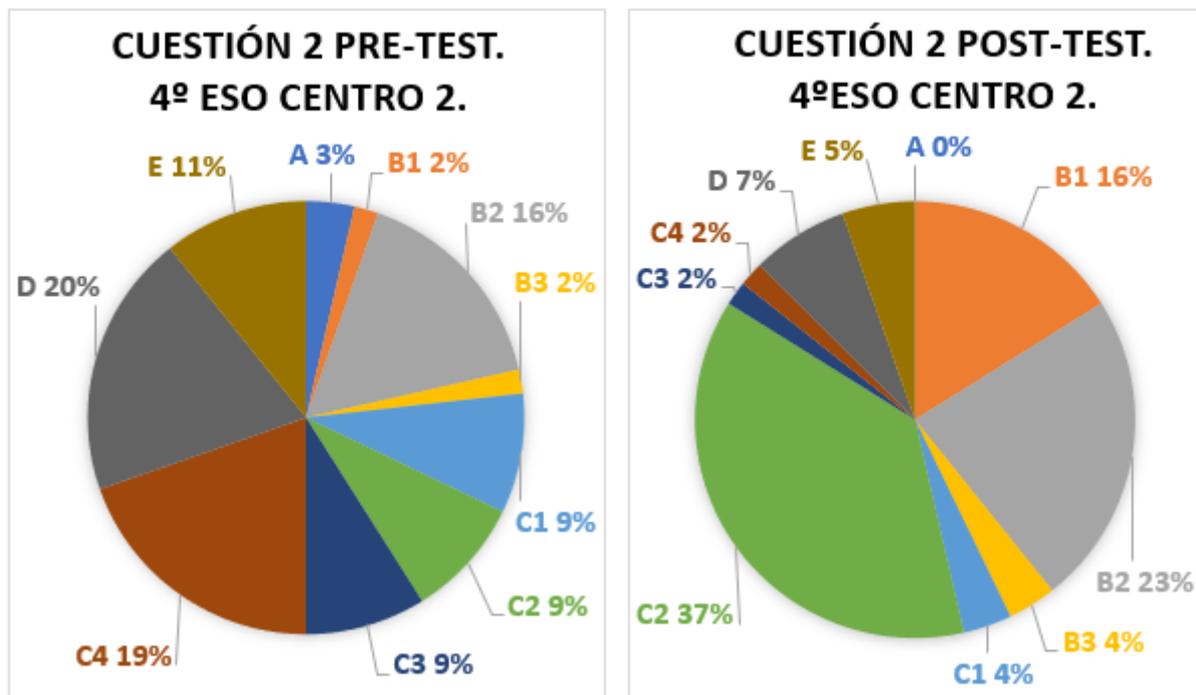
Cuestión 2

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 2 se encuentran recogidos en la tabla 14. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 22.

Tabla 14: Resultados cuestión 2, 4ºESO centro 2.

Cuestión 2	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A	3,57	0,00
B1	1,79	16,07
B2	16,07	23,21
B3	1,79	3,57
C1	8,93	3,57
C2	8,93	37,5
C3	8,93	1,79
C4	19,64	1,79
D	19,64	7,14
E	10,71	5,36

Ilustración 16: Gráfico resultados cuestión 2, 4º ESO centro 2.



En la Ilustración 16, se observa 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. En la tercera ley de Newton, las fuerzas de acción-reacción entre dos sistemas que interactúan están aplicadas a distintos cuerpos.

También se observa un aumento considerable del porcentaje de alumnos que responden haciendo referencia a la acción-reacción existente entre los dos objetos, categoría C2, en el post test (37,5%) con respecto al pre-test (8,93%). También cabe destacar que el porcentaje

de alumnos que confundían la fuerza con otras magnitudes físicas y que respondían de manera incoherente en el pre-test (19,64% en ambos casos), se reduce en el post-test (1,79% y 7,14%, respectivamente).

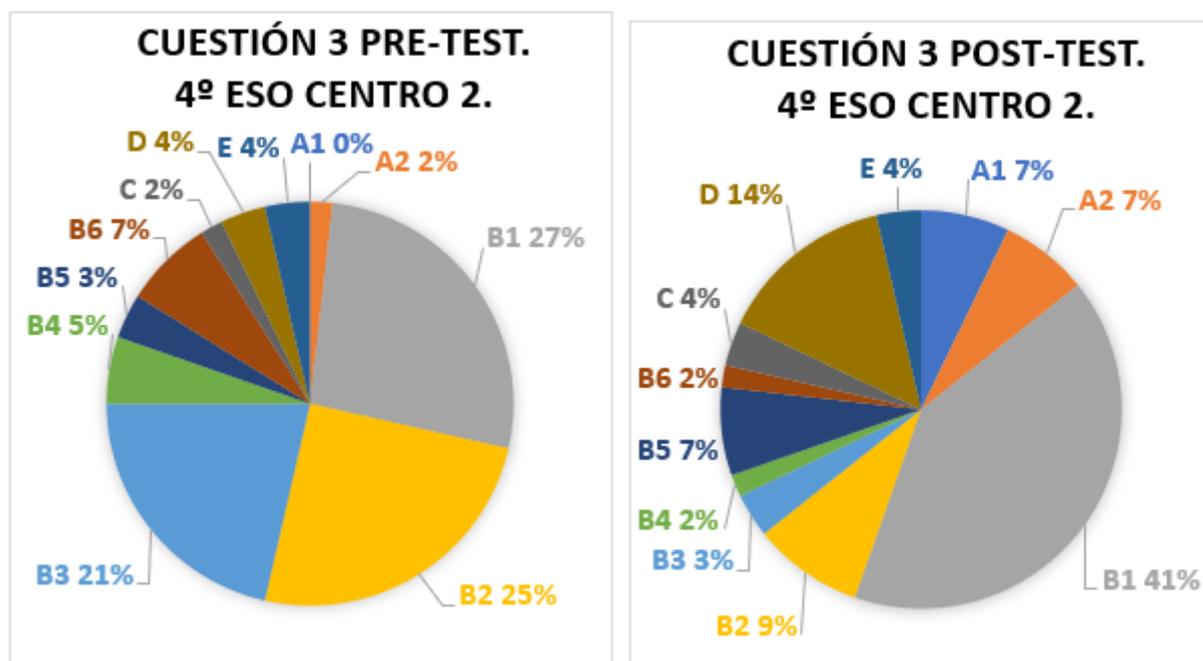
Cuestión 3

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 3 se encuentran recogidos en la tabla 15. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 26.

Tabla 15: Resultados cuestión 3, 4º ESO centro 2.

Cuestión 3	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	7,14
A2	1,79	7,14
B1	26,79	41,07
B2	25,00	8,93
B3	21,43	3,57
B4	5,36	1,79
B5	3,57	7,14
B6	7,14	1,79
C	1,79	3,57
D	3,57	14,29
E	3,57	3,57

Ilustración 17: Gráfico resultados cuestión 3, 4º ESO centro 2.



Como puede verse en la Ilustración 17, se observa una mejoría del porcentaje de alumnos que responden correctamente a la pregunta en el post-test (14,28%), frente al pre-test (1,79%). Un porcentaje muy elevado de los alumnos responden que la fuerza depende de otras variables, categoría B, tanto en el pre-test (89,29%) como en el post-test (64,29%), por lo que niegan el carácter universal de la tercera ley de Newton. Una de las creencias previas de las que parten los alumnos es que el cuerpo de mayor masa deberá ejercer una fuerza mayor sobre el de menor masa que la que ejerce el cuerpo de menor sobre el mayor (Hernández & de Melo, 2005). Según los resultados obtenidos, el porcentaje de alumnos que creen que la fuerza depende de la masa, categoría B1, pasa de un 26,79% en el pre-test, a un 41,07% en el post-test, por lo que en este caso no solo se mantiene esa creencia, sino que ha aumentado. También cabe resaltar el hecho de que el porcentaje de respuestas incoherentes prácticamente se ha cuadruplicado después de que los alumnos hayan estudiado las leyes de Newton (pre-test: 3,57%; post-test: 14,29%).

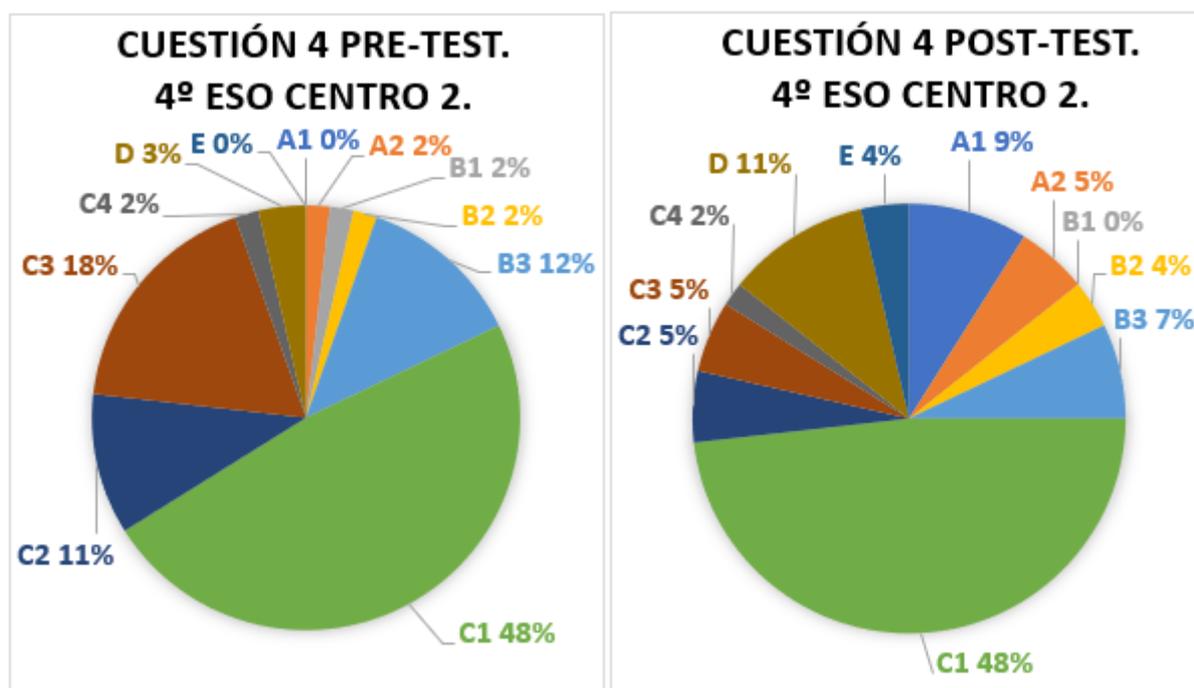
Cuestión 4

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 4 se encuentran recogidos en la tabla 16. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 29.

Tabla 16: Resultados cuestión 4, 4º ESO centro 2.

Cuestión 4	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	8,93
A2	1,79	5,36
B1	1,79	0,00
B2	1,79	3,57
B3	12,50	7,14
C1	48,21	48,21
C2	10,71	5,36
C3	17,86	5,36
C4	1,79	1,79
D	3,57	10,71
E	0,00	3,57

Ilustración 18: Gráfico resultados cuestión 4, 4º ESO centro 2.



En la Ilustración 18, se observa una pequeña mejoría del porcentaje de alumnos que responden correctamente a la pregunta en el post-test (14,29%), frente al pre-test (1,79%). El porcentaje más alto de respuestas, tanto en el pre-test como en el post-test (78,57% y 60,75%, respectivamente) corresponde a aquellas en las que los alumnos responden que para que la velocidad sea constante es necesaria una fuerza neta, recogidas en la categoría C. Cabe destacar que el porcentaje de alumnos que consideran la necesidad de una fuerza

constante para que la caja se mueva a velocidad constante, categoría C1, se mantiene igual en el pre-test y en el post-test (48,21%) y es el más elevado de esta categoría C. Estos resultados ponen de manifiesto la persistencia de las ideas previas de los alumnos que consideran la fuerza como la causante de la velocidad de los cuerpos.

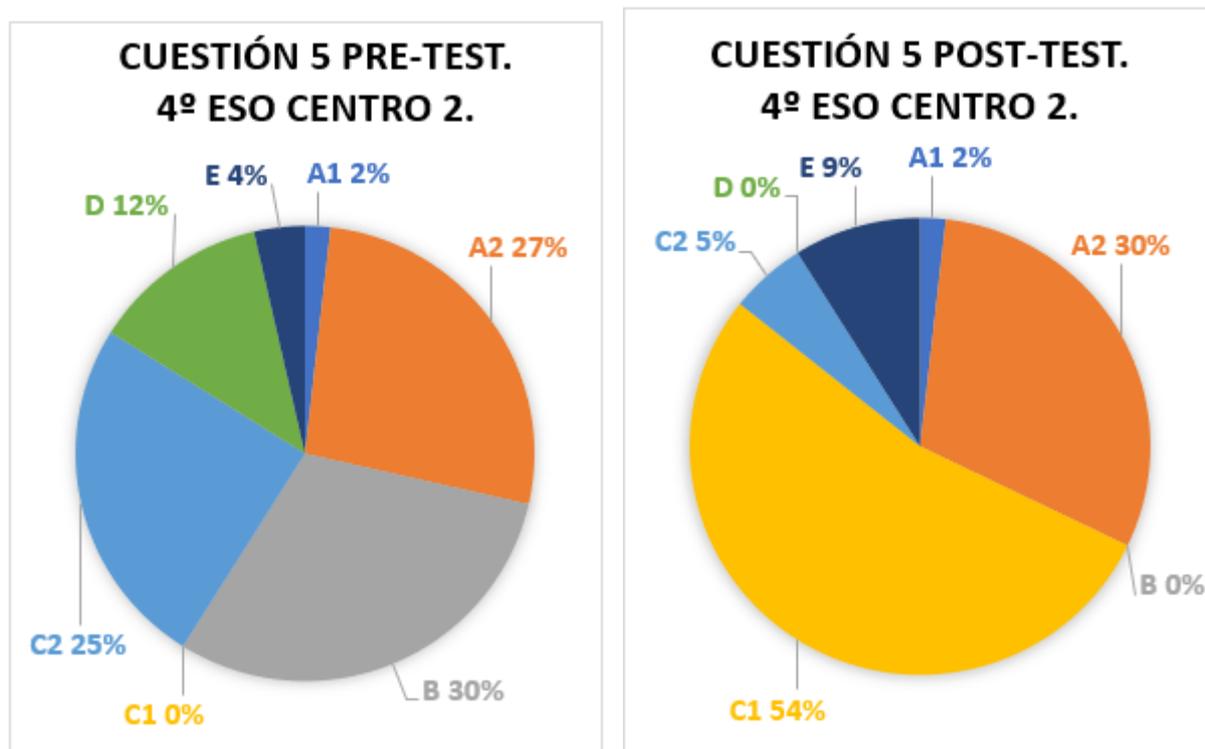
Cuestión 5

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 5 se encuentran recogidos en la tabla 17. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 31.

Tabla 17: Resultados cuestión 5, 4º ESO centro 2.

Cuestión 5	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	1,79	1,79
A2	26,79	30,36
B	30,36	0,00
C1	0,00	53,57
C2	25,00	5,36
D	12,50	0,00
E	3,57	8,93

Ilustración 19: Gráfico resultados cuestión 5, 4º ESO centro 2.



Como puede observarse en la Ilustración 19, los resultados obtenidos en el pre-test y en el post-test son muy diferentes. En este caso, se planteaban diferentes opciones entre las que los alumnos tenían que seleccionar la correcta y justificar, pero estas opciones eran diferentes entre el pre-test y el post-test, por lo que esto podría haber contribuido a los diferentes resultados obtenidos en esta cuestión. De esta forma, resulta difícil discernir si las respuestas de los alumnos se deben a los conocimientos que poseen después de haber estudiado los contenidos o, por el contrario, se deben a las diferencias existentes entre la cuestión 5 del pre-test y del post-test.

El porcentaje de alumnos que responden correctamente a la pregunta es muy similar en el pre-test y en el post-test (28,58% y 32,15%, respectivamente). Lo que sí que se observa es que el porcentaje de respuestas correctas es mayor que los porcentajes obtenidos para el resto de las cuestiones de esta comparación. En el post-test más de la mitad de los alumnos (53,57%) razonan su respuesta sin tener en cuenta la primera ley de Newton en el eje horizontal, cuando en el pre-test no había ningún razonamiento así. También cabe destacar que en pre-test porcentajes elevados de alumnos respondían mencionando la idea del ímpetu o sin tener en cuenta la primera ley de Newton en el eje vertical (30,36% y 25,00%,

respectivamente); mientras que en el post-test ningún alumno responde mencionando la idea de ímpetu, y muy pocos sin tener en cuenta la primera ley de Newton (5,36%).

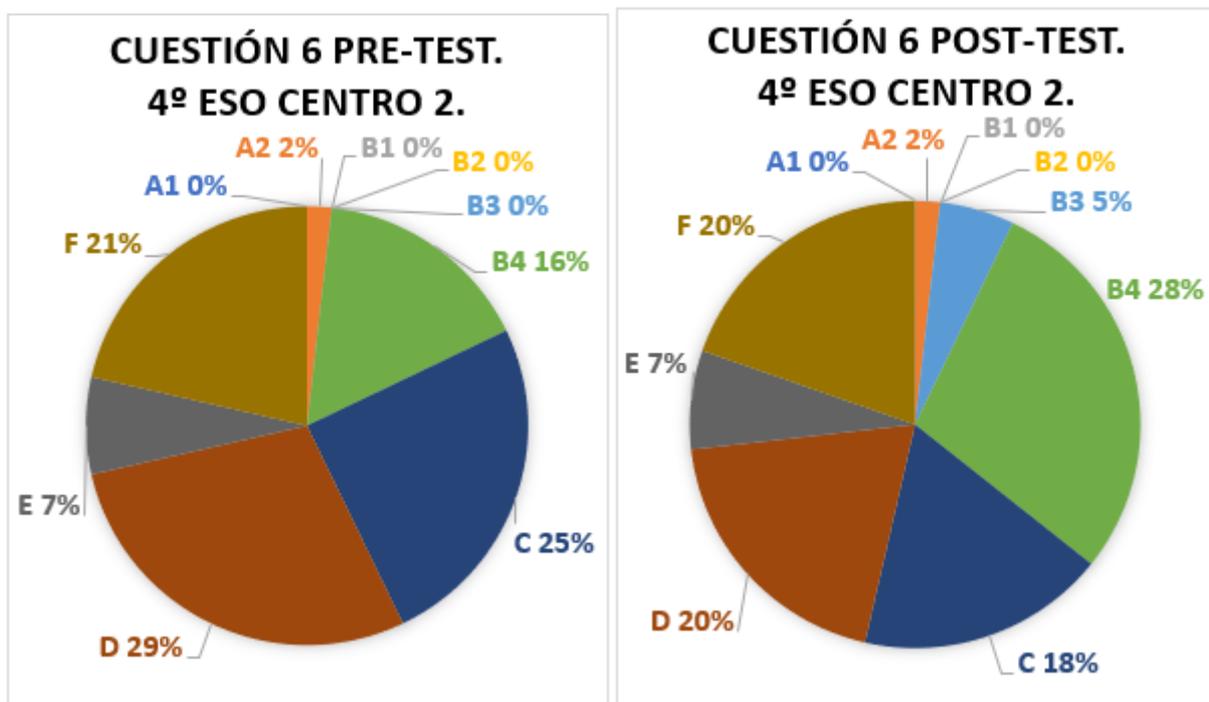
Cuestión 6

Los resultados obtenidos en el pre-test y post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 para la cuestión 6 se encuentran recogidos en la tabla 18. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 34.

Tabla 18: Resultados cuestión 6, 4º ESO centro 2

Cuestión 6	Pre-test	Post-test
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	0,00
A2	1,79	1,79
B1	0,00	0,00
B2	0,00	0,00
B3	0,00	5,36
B4	16,07	28,57
C	25,00	17,86
D	28,57	19,64
E	7,14	7,14
F	21,43	19,64

Ilustración 20: Gráfico resultados cuestión 6, 4º ESO centro 2.



En la Ilustración 20, se observa que los alumnos tienen dificultades para entender conceptos como fuerza centrípeta y aceleración normal, así como su papel en el movimiento circular. El porcentaje de alumnos que responde que la velocidad del satélite o de la Estación es constante y expone razones científicas se duplica en el post-test (del 16,07% al 33,93%). Por otro lado, se reduce el porcentaje de alumnos que responden que la velocidad es constante sin justificar la respuesta (pre-test: 25,00%; post-test: 17,86%), y que expone razones no científicas (pre-test: 28,57%; post-test: 19,64%).

Prueba de Fisher

Mediante la prueba de Fisher se comprobará si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en el pre-test y el post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2. De forma que, si existen diferencias significativas entre el pre y el post, podremos valorar si se ha producido aprendizaje mediante la ganancia de Hake. Para ello, el valor de la prueba de Fisher debe ser inferior a 0,05, es decir, $p < 0,05$.

En este caso, se intentó realizar la prueba de Fisher en Excel mediante la siguiente fórmula:

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

Pero no fue posible debido a que en algunos casos se obtenían unos factoriales demasiado grandes, por lo que para poder realizar el cálculo se hizo un programa en C¹, replanteando la fórmula de la siguiente manera:

¹ Un programa de ordenador, tal y como es comúnmente conocido, parte de un código fuente. Dicho código, por lo general, se encuentra desarrollado en un lenguaje de alto nivel, que, sometido a un proceso de compilación, pasa a ser interpretable por la máquina en la que se lleva a cabo la ejecución.

El lenguaje C es uno de los lenguajes de alto nivel más relevantes y populares. Desarrollado en la década de los setenta por Dennis Ritchie y Brian Kernighan, científicos de Laboratorios Bell por entonces, influiría en la posterior creación de otros lenguajes igualmente extendidos en la actualidad como son C++, Java o Python.

El lenguaje C se estructura haciendo uso de funciones y variables. Se entiende por función una secuencia de código que, partiendo de unos parámetros que le son proporcionados en el momento de su invocación y que se denominan argumentos, ejecuta una rutina, pudiendo, si así se requiere, devolver un resultado. Las variables simplemente almacenan valores (Kernighan & Ritchie, 1991).

$$p = \left(\frac{(a+b)!}{b!} \right) \left(\frac{(c+d)!}{d!} \right) \left(\frac{(a+c)!}{a!c!} \right) \left(\frac{(b+d)!}{(a+b+c+d)!} \right)$$

Tabla 19: Valores p de dos colas de Fisher en el curso de 4º ESO (pre-test y post-test), centro 2.

Cuestión	p
1	0,2363
2	0,2477
3	0,0145
4	0,0145
5	0,1497
6	0,5045

Los resultados obtenidos indican que solo hay diferencias significativas en las cuestiones 3 y 4. El resultado obtenido en la cuestión 5 indica que podría llegar a ser significativo si aumentase el tamaño muestral. En el resto de las cuestiones los alumnos han demostrado que el grado de conocimiento que poseen antes y después de estudiar los conceptos es estadísticamente equivalente.

Ganancia de Hake

Como en el curso de 4º ESO del centro 2 se pasaron los cuestionarios pre y post, se puede medir el aprendizaje de una forma más concreta calculando la ganancia de Hake, que se detallan en la tabla 20.

Tabla 20: Índice de ganancia de Hake para el curso 4ºESO del centro 2.

Cuestión	Pre-test %	Post-test %	Índice Hake de ganancia, g _x
1	8,93	10,72	0,020
2	3,57	0,00	-0,037
3	1,79	14,28	0,127
4	1,79	14,29	0,127
5	28,58	32,15	0,050
6	1,79	1,79	0,000

Para lograr una ganancia en el aprendizaje, el valor del índice de Hake (g) debe ser mayor que 0,1. Se considera que la ganancia es baja cuando $g \leq 0,3$, media cuando $0,3 < g \leq 0,7$, y alta cuando $g > 0,7$.

Los datos recogidos en la tabla 20, muestran que las ganancias obtenidas en las cuestiones 3 y 4 son bajas, mientras que los datos de las cuestiones 1, 2, 5 y 6 muestran que no hay ningún tipo de ganancia concordando con las conclusiones obtenidas a partir de la prueba de Fisher detallada anteriormente.

6.2.2 Comparación del pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2.

Para llevar a cabo esta comparación se han estudiado las 56 respuestas obtenidas de alumnos de 4º ESO y las 36 respuestas de alumnos de 1º Bachillerato, de un centro de Valladolid. Mediante esta comparación se busca comprobar si los alumnos de 1º Bachillerato parten de los mismos conceptos previos que los alumnos de 4º ESO, antes de estudiar las leyes de Newton. La principal diferencia entre estos alumnos es que los alumnos de 1º Bachillerato ya han visto las leyes de Newton el curso anterior, mientras que los de 4º ESO aun no las han estudiado, por lo que se puede observar si hay un cambio en el tipo de razonamiento que emplean los alumnos de 1º Bachillerato para contestar a las cuestiones, como recuerdan los conocimientos estudiados el curso anterior o si por el contrario prevalecen las ideas previas que tuvieron antes de estudiar las leyes de Newton.

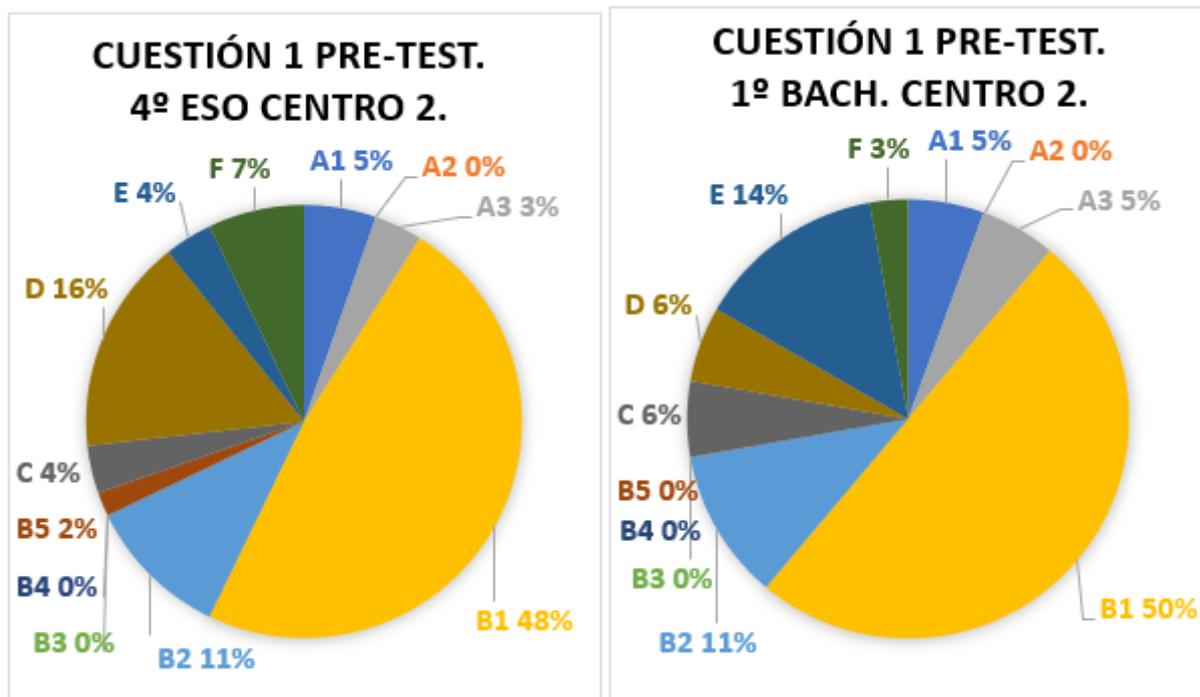
Cuestión 1

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 1 se encuentran recogidos en la tabla 21. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 19.

Tabla 21: Resultados cuestión 1 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 1	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	5,36	5,56
A2	0,00	0,00
A3	3,57	5,56
B1	48,21	50,00
B2	10,71	11,11
B3	0,00	0,00
B4	0,00	0,00
B5	1,79	0,00
C	3,57	5,56
D	16,07	5,56
E	3,57	13,89
F	7,14	2,78

Ilustración 21: Gráfico resultados cuestión 1 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



En la ilustración 21, se muestran los resultados obtenidos en la pregunta 1 de los cuestionarios pre de los alumnos de 4º ESO y de 1º Bachillerato, y observamos que apenas hay diferencias, lo cual nos indica que las ideas previas que tuvieron los alumnos prevalecen frente a los contenidos que se hayan visto en clase el curso anterior. Cabe destacar que un porcentaje muy elevado de alumnos responde considerando el ímpetu, respuestas recogidas

en la categoría B, tanto entre los alumnos de 4º ESO (60,71%) como entre los alumnos de 1º Bachillerato (61,11%).

También se observa que el porcentaje de alumnos que confunden el concepto de fuerza con otros conceptos, categoría D, disminuye entre los alumnos de 1º Bachillerato (del 16,07% al 5,56%), pero aumenta el porcentaje de alumnos que responden de manera incoherente, categoría E (del 3,57% al 13,89%). Por supuesto, un mayor número de muestras puede disminuir el ruido estadístico y clarificar estas diferencias.

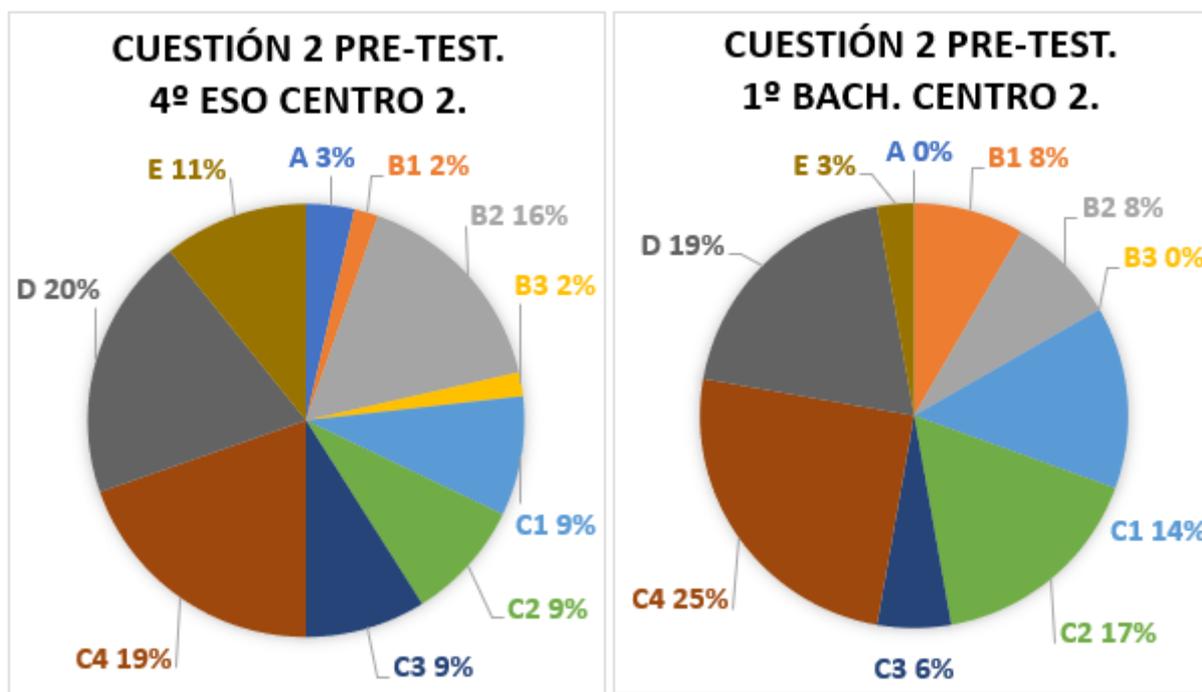
Cuestión 2

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 2 se encuentran recogidos en la tabla 22. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 22.

Tabla 22: Resultados cuestión 2 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 2	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A	3,57	0,00
B1	1,79	8,33
B2	16,07	8,33
B3	1,79	0,00
C1	8,93	13,89
C2	8,93	16,67
C3	8,93	5,56
C4	19,64	25,00
D	19,64	19,44
E	10,71	2,78

Ilustración 22: Gráfico resultados cuestión 2 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



En la ilustración 22, se observa que el porcentaje de los alumnos que no responden, categoría E, es menor en los alumnos de 1º Bachillerato, pero aun así ningún alumno de 1º Bachillerato responde correctamente. Cabe destacar que un porcentaje considerado de los alumnos de 4º ESO y de 1º Bachillerato confunden la fuerza con otras magnitudes físicas, respuestas recogidas en la categoría C4, (4º ESO: 19,64%; 1º Bachillerato: 25,00%) o responden incoherentemente, categoría D, (4º ESO: 19,64%; 1º Bachillerato: 19,44%). También se observa que el porcentaje de alumnos de 1º Bachillerato (16,67%) que responde haciendo referencia a la acción-reacción entre los dos objetos, categoría C2, es mayor que entre los alumnos de 4º ESO (8,93%), por lo que se puede deducir que algunos de los alumnos de 1º Bachillerato no recuerdan que la normal y el peso son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo, aunque pudiera ocurrir que el aumento de este error se deba a la instrucción recibida.

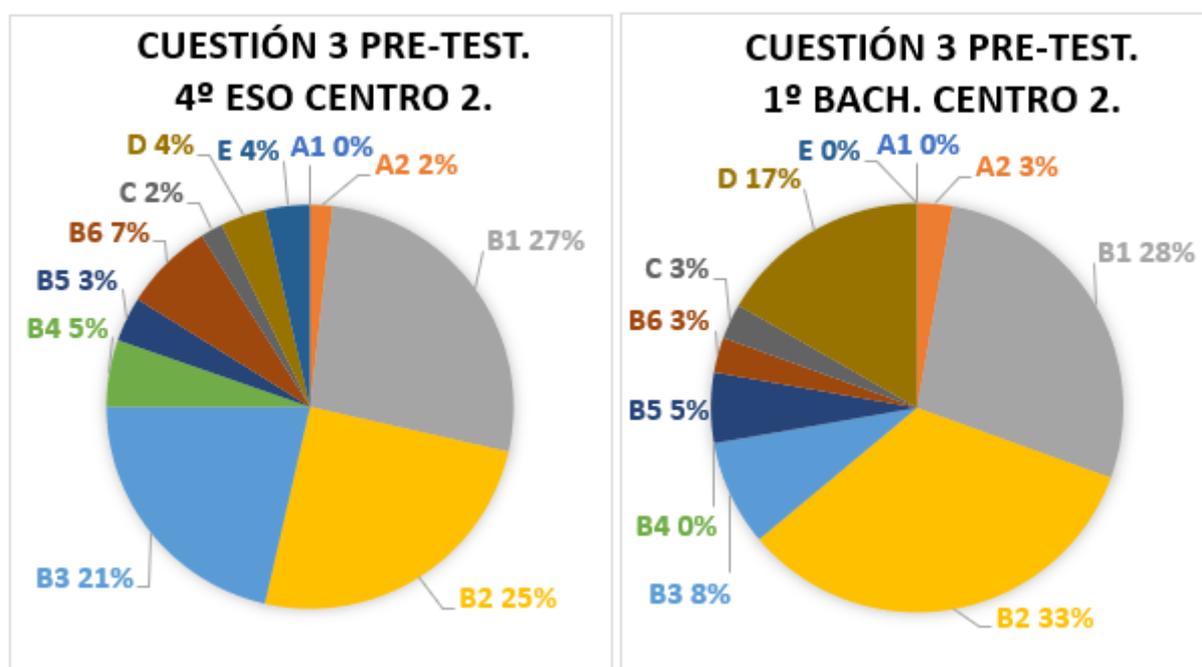
Cuestión 3

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 3 se encuentran recogidos en la tabla 23. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 26.

Tabla 23: Resultados cuestión 3 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 3	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	0,00
A2	1,79	2,78
B1	26,79	27,78
B2	25,00	33,33
B3	21,43	8,33
B4	5,36	0,00
B5	3,57	5,56
B6	7,14	2,78
C	1,79	2,78
D	3,57	16,67
E	3,57	0,00

Ilustración 23: Gráfico resultados cuestión 3 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



Como puede observarse en la ilustración 23, el porcentaje de alumnos de 4º ESO (26,79%) y de 1º Bachillerato (27,78%) que tiene la creencia de que los objetos de mayor masa pueden aplicar fuerzas más grandes, respuestas recogidas en la categoría B1, es elevado, y similar en ambos cursos. De igual manera, los alumnos de ambos cursos tienen dificultades para entender que la fuerza se ejerce, pero no “se tiene”, respuestas recogidas en la categoría B2 (4º ESO: 25,00%; 1º Bachillerato: 33,33%). También se debe mencionar el hecho de que el

porcentaje de alumnos que responden de forma incoherente, categoría D, es cuatro veces mayor en los alumnos de 1º Bachillerato (16,67%) que en los alumnos de 4º ESO (3,57%), lo que resulta sorprendente teniendo en cuenta que los alumnos de 1º Bachillerato ya han recibido formación sobre estos conceptos.

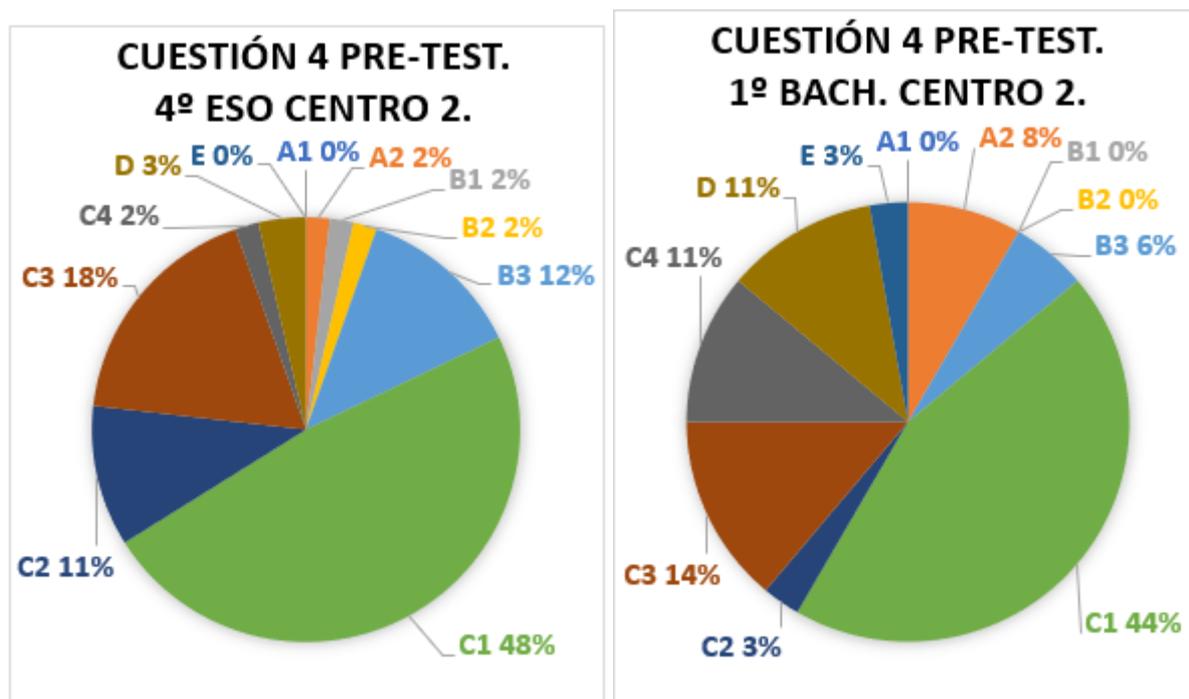
Cuestión 4

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 4 se encuentran recogidos en la tabla 24. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 29.

Tabla 24: Resultados cuestión 4 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 4	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	0,00
A2	1,79	8,33
B1	1,79	0,00
B2	1,79	0,00
B3	12,50	5,56
C1	48,21	44,44
C2	10,71	2,78
C3	17,86	13,89
C4	1,79	11,11
D	3,57	11,11
E	0,00	2,78

Ilustración 24: Gráfico resultados cuestión 4 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



En la ilustración 24, se observa que casi la mitad de los alumnos de ambos cursos tienen la idea previa de que una fuerza constante produce una velocidad constante, respuestas recogidas en la categoría C1 (4º ESO: 48,21%; 1º Bachillerato: 44,44%). El porcentaje de alumnos que se basan en el peso para explicar la velocidad constante del objeto, categoría C2, es menor en los alumnos de 1º Bachillerato (4º ESO: 10,71%; 1º Bachillerato: 2,78%), pero el porcentaje de repuestas incoherentes es mayor (4º ESO: 3,57%; 1º Bachillerato: 11,11%).

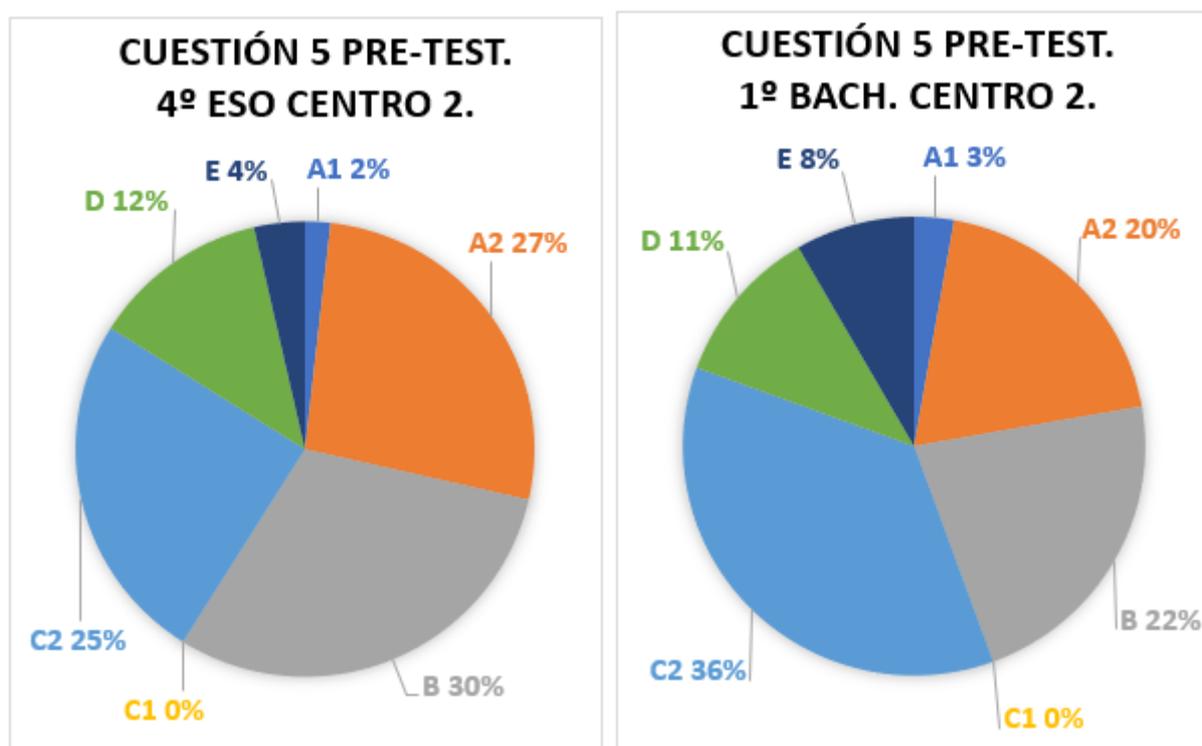
Cuestión 5

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 5 se encuentran recogidos en la tabla 25. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 31.

Tabla 25: Resultados cuestión 5 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 5	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	1,79	2,78
A2	26,79	19,44
B	30,36	22,22
C1	0,00	0,00
C2	25,00	36,11
D	12,50	11,11
E	3,57	8,33

Ilustración 25: Gráfico resultados cuestión 5 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



Las diferencias entre los resultados del pre-test de los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato son menores que las que obteníamos al comparar el pre-test y el post-test en el curso de 4º ESO. Más adelante se realizará la comparación de los post-test de los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato, y se podrá reflexionar, a partir de las diferencias obtenidas en las tres comparativas, si se debería revisar la forma de plantear esta pregunta o no para futuros trabajos.

En la ilustración 25, se observa que el porcentaje de alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato que responden correctamente a esta pregunta es superior al de las demás cuestiones de esta

comparación (4º ESO: 26,79%; 1º Bachillerato: 22,22%). También cabe destacar que los porcentajes de alumnos que mencionan la idea de ímpetu (4º ESO: 30,36%; 1º Bachillerato: 22,22%), respuestas recogidas en la categoría B, o no tienen en cuenta la primera ley de Newton en el eje vertical (4º ESO: 25,00%; 1º Bachillerato: 36,11%), categoría C2, son elevados en los dos cursos. Algunos de los alumnos respondían que la trayectoria dependía de la potencia/intensidad del cañón y razonaban que a medida que esta se pierde, la bola cae.

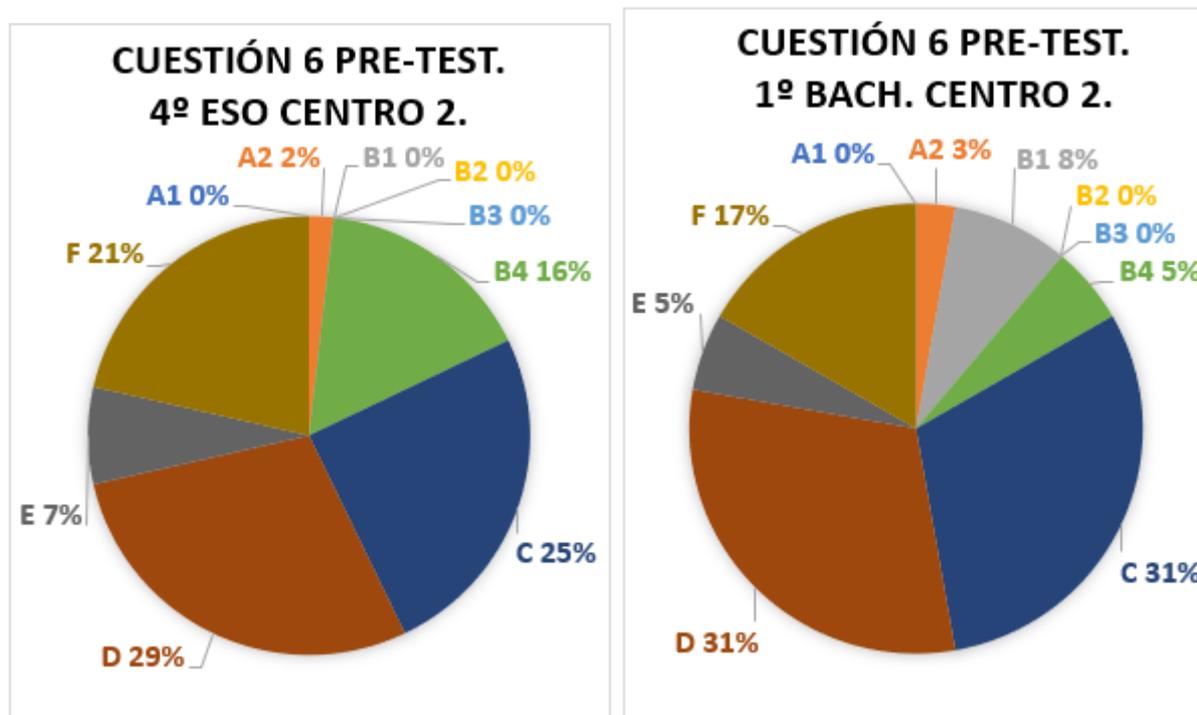
Cuestión 6

Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 2 para la cuestión 6 se encuentran recogidos en la tabla 26. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 34.

Tabla 26: Resultados cuestión 6 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.

Cuestión 6	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	0,00
A2	1,79	2,78
B1	0,00	8,33
B2	0,00	0,00
B3	0,00	0,00
B4	16,07	5,56
C	25,00	30,56
D	28,57	30,56
E	7,14	5,56
F	21,43	16,67

Ilustración 26: Gráfico resultados cuestión 6 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.



Comparando esta cuestión con las demás, en esta se ha obtenido el porcentaje más elevado de alumnos que no responden.

En la ilustración 26, se observa que el porcentaje de alumnos que no responde (4º ESO: 21,43%; 1º Bachillerato: 16,67%), categoría F; que responde que la velocidad es constante o no lo es sin justificar su respuesta (4º ESO: 25,00%; 1º Bachillerato: 30,56%), respuestas recogidas en la categoría C; o que expone razones no científicas (4º ESO: 28,57%; 1º Bachillerato: 30,56%), categoría D, es elevado. Obtener estos porcentajes en el curso de 4º ESO no ha sido extraño, debido a que todavía no han estudiado que en el movimiento circular uniforme la aceleración se descompone en aceleración tangencial y aceleración normal. Sin embargo, en 1º Bachillerato también se han obtenido porcentajes elevados, por lo que se puede suponer que los conocimientos adquiridos el año anterior han sido olvidados. También cabe mencionar que el porcentaje de alumnos que considera que la velocidad es constante porque el periodo lo es disminuye en los alumnos de 1º Bachillerato (4º ESO: 16,07%; 1º Bachillerato: 5,56%).

Prueba de Fisher

Mediante la prueba de Fisher se comprobará si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en los pre-test de los alumnos de 4º ESO y los de 1º Bachillerato del

centro 2. De forma que, si existen diferencias significativas se podrá concluir que el aprendizaje de los alumnos de 1º Bachillerato sobre los contenidos estudiados el año anterior predomina sobre las ideas previas que tuvieran antes de estudiar las leyes de Newton. Para ello, como ya se mencionó anteriormente, el valor de la prueba de Fisher debe ser inferior a 0,05, es decir, $p < 0,05$.

Tabla 27: Valores p de dos colas de Fisher en los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato (pre-test), centro 2.

Cuestión	p
1	0,2590
2	0,3679
3	0,4816
4	0,1431
5	0,1559
6	0,4816

Los resultados obtenidos, recogidos en la tabla 27, muestran que no existen diferencias significativas entre los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato. Se puede concluir que el grado de conocimiento que tienen los alumnos de ambos cursos es estadísticamente equivalente, por lo que en los alumnos de 1º Bachillerato prevalecen las creencias previas que tuvieran sobre los contenidos estudiados el curso anterior.

6.2.3 Comparación del post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1.

Para llevar a cabo esta comparación se han estudiado las 18 respuestas obtenidas de alumnos de 4º ESO y las 48 respuestas de alumnos de 1º Bachillerato, de un centro de Valladolid. El tamaño muestral es muy pequeño, por lo que se obtendrá una imprecisión mayor en los resultados. Para realizar esta comparativa de forma más precisa en futuros trabajos se necesitaría un número de muestras mayor. En este apartado se comentarán los resultados obtenidos, se verá los fallos que cometen los alumnos y si las ideas previas que tuvieran los alumnos prevalecen sobre los contenidos aprendidos.

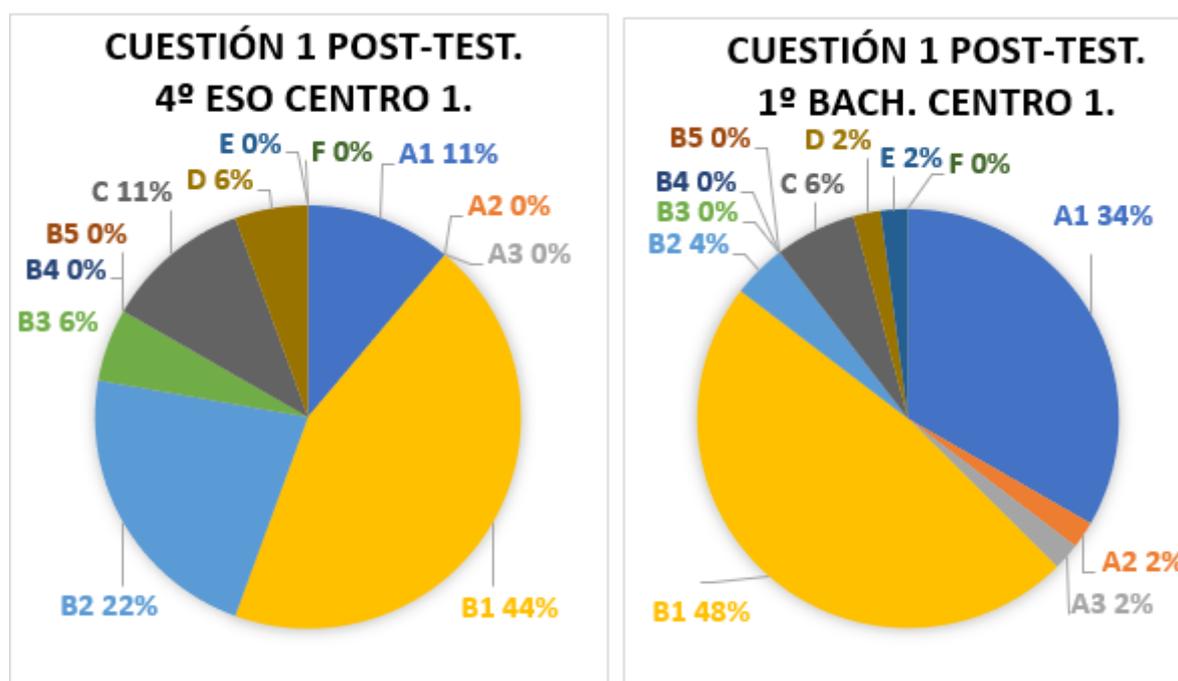
Cuestión 1

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 1 se encuentran recogidos en la tabla 28. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 19.

Tabla 28: Resultados cuestión 1 post-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 1	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	11,11	33,33
A2	0,00	2,08
A3	0,00	2,08
B1	44,44	47,92
B2	22,22	4,17
B3	5,56	0,00
B4	0,00	0,00
B5	0,00	0,00
C	11,11	6,25
D	5,56	2,08
E	0,00	2,08
F	0,00	0,00

Ilustración 27: Gráfico resultados cuestión 1 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



Como puede observarse en la ilustración 27, el porcentaje de alumnos de 1º Bachillerato (37,49%) que responden correctamente a la pregunta es tres veces mayor que el de 4º ESO (11,11%), por lo que parece que tienen más claros los conceptos los alumnos de 1º Bachillerato que los de 4º ESO. También cabe destacar que más de la mitad de los alumnos, tanto de 4º ESO (72,22%) como de 1º Bachillerato (52,09%), responde mencionando la idea

de ímpetu, categoría B. Por lo tanto, se aprecia que la idea del ímpetu sigue muy presente entre los alumnos después de haber estudiado las leyes de Newton.

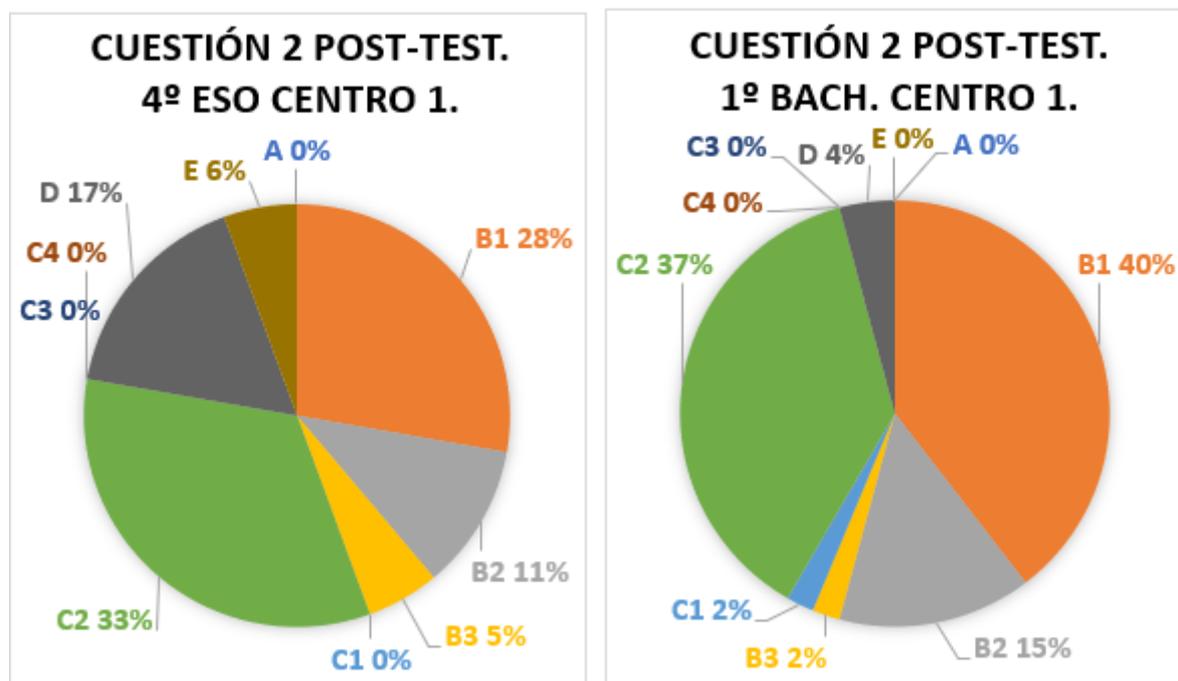
Cuestión 2

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 2 se encuentran recogidos en la tabla 29. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 22.

Tabla 29: Resultados cuestión 2 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 2	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A	0,00	0,00
B1	27,78	39,58
B2	11,11	14,58
B3	5,56	2,08
C1	0,00	2,08
C2	33,33	37,50
C3	0,00	0,00
C4	0,00	0,00
D	16,67	4,17
E	5,56	0,00

Ilustración 28: Gráfico resultados cuestión 2 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



En la Ilustración 28, se observa que ningún alumno ha contestado correctamente a la cuestión, por lo que siguen teniendo dificultades para entender que la normal y el peso son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo, y se ve que predominan las creencias previas que tuvieran los alumnos sobre los contenidos estudiados.

El 39,58% de los alumnos de 1º Bachillerato cree que el peso y la normal son pares de acción-reacción, respuestas recogidas en la categoría B1, mientras que en los alumnos de 4º ESO este porcentaje disminuye hasta el 27,78%. También se debe mencionar que el porcentaje de alumnos que responde haciendo referencia a la acción-reacción existente entre los dos objetos, categoría C2, es elevado y similar en los alumnos de 4º ESO (33,33%) y de 1º Bachillerato (37,50%).

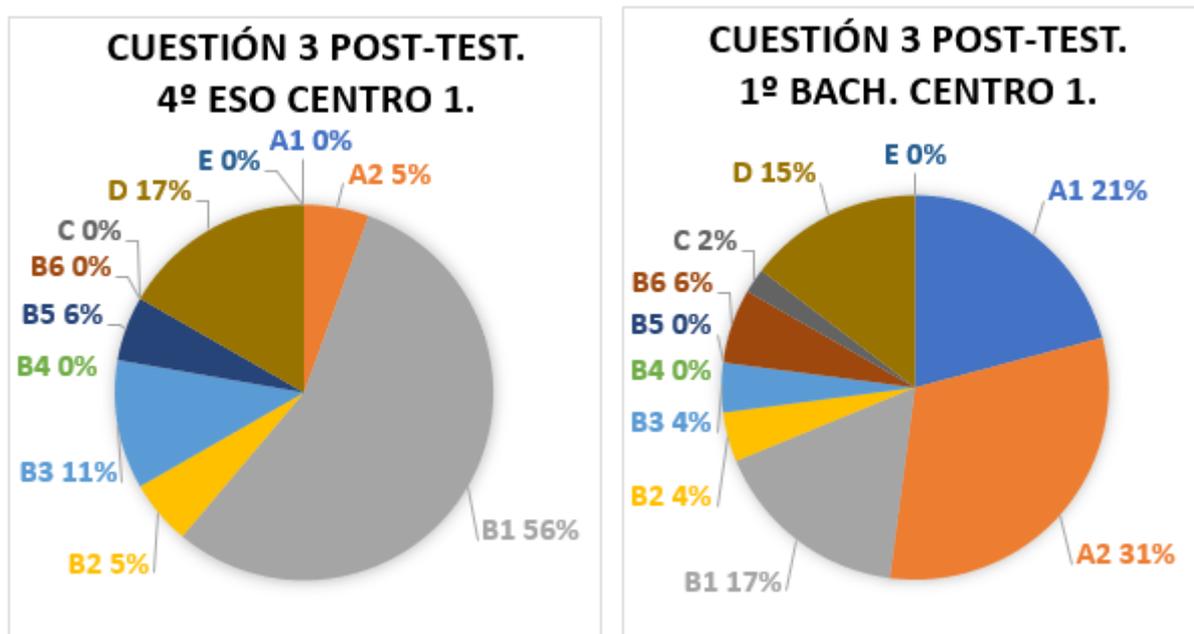
Cuestión 3

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 3 se encuentran recogidos en la tabla 30. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 26.

Tabla 30: Resultados cuestión 3 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 3	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	20,83
A2	5,56	31,25
B1	55,56	16,67
B2	5,56	4,17
B3	11,11	4,17
B4	0,00	0,00
B5	5,56	0,00
B6	0,00	6,25
C	0,00	2,08
D	16,67	14,58
E	0,00	0,00

Ilustración 29: Gráfico resultados cuestión 3 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



Como puede observarse en la ilustración 29, más de la mitad de los alumnos de 1º Bachillerato (52,08%) responden correctamente a la pregunta, mientras que de los alumnos de 4º ESO solo lo hace un 5,56%. Lo más destacable es que el 55,56% de los alumnos de 4º ESO creen que la fuerza depende de la masa, respuestas recogidas en la categoría B1. En cambio, este porcentaje es mucho menor en los alumnos de 1º Bachillerato (16,67%), por lo que parecen tener más claro que la fuerza que hace el compañero A sobre el B no depende de otras variables.

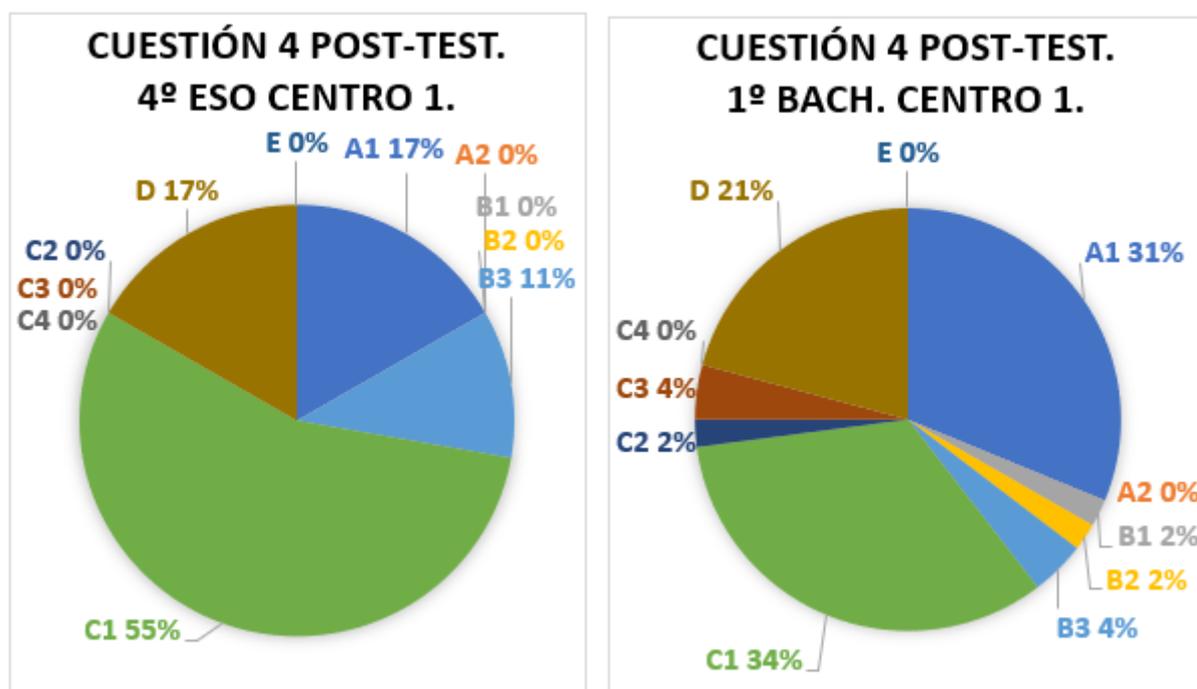
Cuestión 4

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 4 se encuentran recogidos en la tabla 31. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 29.

Tabla 31: Resultados cuestión 4 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 4	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	16,67	31,25
A2	0,00	0,00
B1	0,00	2,08
B2	0,00	2,08
B3	11,11	4,17
C1	55,56	33,33
C2	0,00	2,08
C3	0,00	4,17
C4	0,00	0,00
D	16,67	20,83
E	0,00	0,00

Ilustración 30: Gráfico resultados cuestión 4 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



En la ilustración 30, se aprecia que el porcentaje de respuestas correctas prácticamente se duplica en el curso de 1º Bachillerato (31,25%), frente al obtenido en 4º ESO (16,67%).

Los resultados obtenidos muestran que la idea de que para que la velocidad sea constante es necesaria una fuerza constante, respuestas recogidas en la categoría C1, sigue muy arraigada entre los alumnos después de estudiar las leyes de Newton, tanto en los alumnos de 4º ESO (55,56%) como en los de 1º Bachillerato (33,33%). También se aprecia que el

porcentaje de alumnos que responden de forma incoherente, categoría D, no es despreciable (4º ESO: 16,67%; 1º Bachillerato: 20,83%).

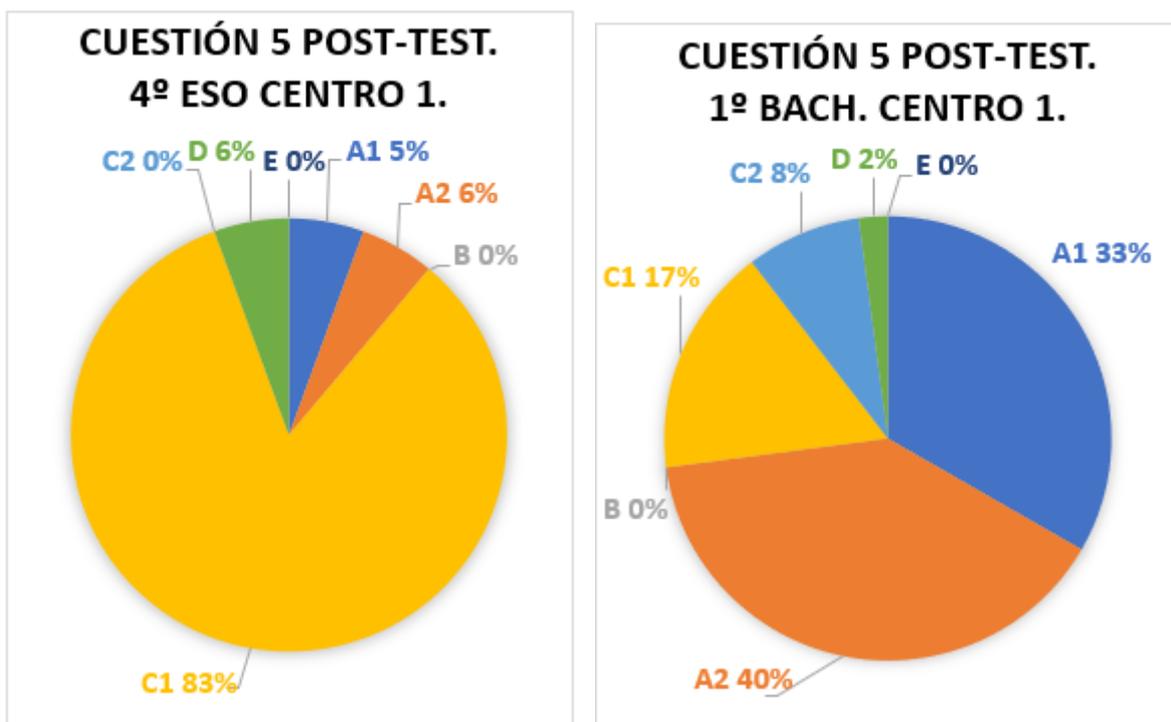
Cuestión 5

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 5 se encuentran recogidos en la tabla 32. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 31.

Tabla 32: Resultados cuestión 5 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 5	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	5,56	33,33
A2	5,56	39,58
B	0,00	0,00
C1	83,33	16,67
C2	0,00	8,33
D	5,56	2,08
E	0,00	0,00

Ilustración 31: Gráfico resultados cuestión 5 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



En la ilustración 31, se observa que el porcentaje de alumnos de 1º Bachillerato (72,91%) que responden correctamente a esta pregunta es el más elevado de todas las cuestiones y de todas las comparaciones realizadas en este trabajo. También cabe mencionar que el porcentaje de alumnos de 4º ESO (83,33%) que responde sin tener en cuenta la primera ley de Newton en el eje horizontal, en el que no aparece ninguna fuerza (respuestas recogidas en la categoría C1), es realmente grande y que, aunque este porcentaje disminuye en los alumnos de 1º Bachillerato (16,67%), sigue siendo el porcentaje más grande de los alumnos que responden mal.

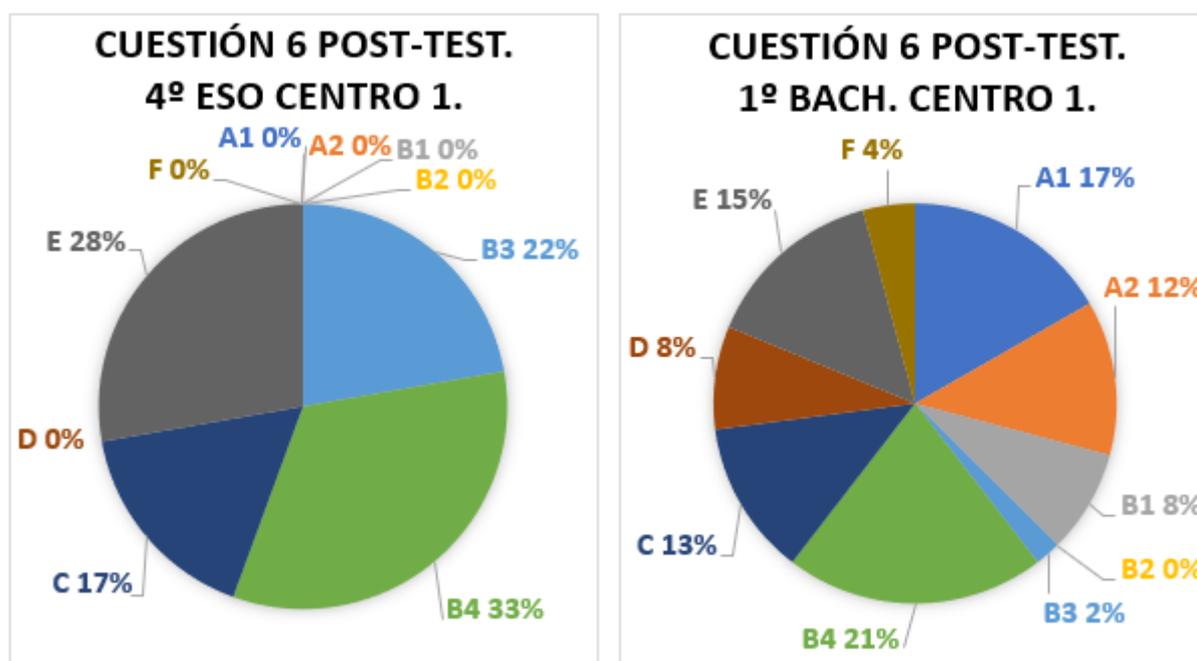
Cuestión 6

Los resultados obtenidos en el post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1 para la cuestión 6 se encuentran recogidos en la tabla 33. Las categorías para esta cuestión se encuentran detalladas en la página 34.

Tabla 33: Resultados cuestión 6 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.

Cuestión 6	4º ESO	1º Bachillerato
Categoría	Porcentaje obtenido	Porcentaje obtenido
A1	0,00	16,67
A2	0,00	12,50
B1	0,00	8,33
B2	0,00	0,00
B3	22,22	2,08
B4	33,33	20,83
C	16,67	12,50
D	0,00	8,33
E	27,78	14,58
F	0,00	4,17

Ilustración 32: Gráfico resultados cuestión 6 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.



En la ilustración 32, se muestra que el 29,17% de los alumnos de 1º Bachillerato han respondido correctamente a la pregunta, mientras que ningún alumno de 4º ESO ha sido capaz de responder correctamente. También se debe mencionar que destacan en ambos cursos, los porcentajes de alumnos que responden de manera incoherente (categoría E. 4º ESO: 27,78%; 1º Bachillerato: 14,58%), que responden que la velocidad es constante o no sin justificar su respuesta (categoría C. 4º ESO: 16,67%; 1º Bachillerato: 12,50%), y que consideran que la velocidad de la Estación es constante porque lo es el periodo (categoría B4. 4º ESO: 33,33%; 1º Bachillerato: 20,83%). En el curso de 4º ESO, el 22,22% de los alumnos razonan que la Estación se mueve a velocidad constante porque no actúa ninguna fuerza sobre ella.

Prueba de Fisher

Mediante la prueba de Fisher se comprobará si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en los post-test de los alumnos de 4º ESO y los de 1º Bachillerato del centro 1. De forma que, si existen diferencias significativas se podrá concluir que el aprendizaje de los alumnos de 1º Bachillerato sobre los contenidos estudiados sobre las leyes de Newton es superior que el de los alumnos de 4º ESO. Para ello, como ya se mencionó anteriormente, el valor de la prueba de Fisher debe ser inferior a 0,05, es decir, $p < 0,05$.

Tabla 34: Valores p de dos colas de Fisher en los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato (post-test), centro 1.

Cuestión	p
1	0,0275
2	1,0000
3	0,0003
4	0,1303
5	$6,6 \cdot 10^{-6}$
6	0,0062

Los resultados mostrados en la tabla 34, indican que la diferencia es significativa en cuatro de las seis cuestiones (1, 3, 5 y 6), siendo en la cuestión 5 muy significativa. El resultado obtenido en la cuestión 4 indica que podría llegar a ser significativo si aumentase el tamaño muestral. Por lo tanto, podemos concluir que, dentro de las reservas estadísticas debido al tamaño de las muestras que poseemos, los alumnos de 1º Bachillerato muestran que tienen un conocimiento mayor sobre las leyes de Newton después de haber estudiado los contenidos, que los alumnos de 4º ESO.

7. Conclusiones

En este Trabajo Fin de Máster se ha realizado un estudio sobre los conocimientos que tienen los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato sobre las leyes de Newton, utilizando como herramienta cuestionarios. Las respuestas de los cuestionarios se han clasificado en una serie de categorías, y posteriormente se han realizado tres comparativas para ver las dificultades que tienen los alumnos cuando estudian las leyes de Newton, medir el aprendizaje de los alumnos y comprobar si sus ideas previas se mantienen después de haber estudiado las leyes de Newton. Las conclusiones que se han ido obteniendo a lo largo del trabajo se pueden concretar en los siguientes puntos:

- La categorización utilizada para todos los cuestionarios, tanto en el pre-test como en el post-test, es válida debido a que se ha obtenido un valor del coeficiente de Kappa superior a 0,8 en todas las cuestiones.
- La prueba de Fisher de la comparación realizada entre el pre-test y el post-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 sobre las leyes de Newton, indica que solo hay diferencias significativas en las respuestas de las cuestiones 3 y 4, es decir, comprenden las fuerzas como una interacción simultánea entre dos cuerpos donde las fuerzas tienen la misma magnitud y entienden que la fuerza provoca aceleración, respectivamente. Además, de igual manera, el índice de ganancia de Hake muestra que esta es baja para la cuestión 3 y 4, pero que no existe ningún tipo de ganancia para el resto de las cuestiones. Por lo tanto, se concluye que las ideas previas que tienen los alumnos de 4º ESO prevalecieron sobre los conceptos estudiados en clase sobre las leyes de Newton.
- Los resultados obtenidos en el pre-test de los alumnos de 4º ESO del centro 2 nos muestran que prácticamente todos los alumnos tienen creencias previas erróneas antes de empezar a estudiar las leyes de Newton, ya que los porcentajes de respuestas correctas obtenidos para las diferentes cuestiones han sido realmente bajos o nulos. Además, al comparar estos resultados con los de los pre-test de los alumnos de 1º Bachillerato del centro 2, se observa que no existen diferencias significativas entre los conocimientos que poseen los alumnos de 4º ESO, que no han estudiado nunca las leyes de Newton, y los alumnos de 1º Bachillerato, que estudiaron las leyes de Newton el curso anterior. Por lo tanto, se llega a la conclusión

de que las ideas previas que tenían los alumnos de 1º Bachillerato prevalecieron sobre los conocimientos que tuvieran de los conceptos estudiados el curso anterior.

- Los resultados obtenidos de la comparación post-test de los alumnos de 4º ESO y 1º Bachillerato del centro 1, muestran que existe una diferencia significativa en cuatro de las seis cuestiones, por lo que los alumnos de 1º Bachillerato comprenden mejor las leyes de Newton que los de 4º ESO. En este caso, el tamaño muestral fue bastante bajo, por lo que para obtener datos más precisos se debería aumentar el tamaño muestral.
- Las respuestas a las cuestiones muestran que los alumnos:
 - Tienen muy presente la idea errónea del ímpetu para el movimiento de los cuerpos.
 - Creen que la normal y el peso son fuerzas de acción-reacción y no entienden que son dos fuerzas que actúan sobre el mismo cuerpo.
 - Tienen la idea de que los objetos con mayor masa hacen más fuerza y les cuesta entender que las fuerzas no “se tienen”, sino que se ejercen.
 - Creen que la fuerza y la velocidad son proporcionales.
 - Tienen dificultades para trabajar con vectores.
- Las respuestas obtenidas en la cuestión 5 sugieren que la pregunta no está bien formulada, pues las diferentes opciones propuestas en el pre-test y post-test no eran las mismas, por lo que ha dado lugar a razonamientos muy diferentes entre el pre-test y el post-test, en función de la opción señalada.

8. Bibliografía

- 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>
- 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>
- Elizondo Treviño, M. del S. (2013). Dificultades en el proceso enseñanza aprendizaje de la Física. *Presencia Universitaria*, 3(5), 70–77.
- Fisher, R. A. (1922). On the Interpretation of χ^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>
- 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

- 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.
- Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), 502–506. <https://doi.org/10.1119/1.2344278>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- 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)
- Kernighan, B. W., & Ritchie, D. M. (1991). *El lenguaje de programación C* (N. Gómez Muñoz, Ed.; Segunda). Pearson Educación.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, 33(2), 363. <https://doi.org/10.2307/2529786>
- 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. *Planeta Formación y Universidades*, 1–85.
- Miguel, O. (1986). ANALISIS COMPORTAMENTAL DE LAS LEYES DE NEWTON. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 4, 51–55.
- Mora, C., & Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Am. J. Phys. Educ*, 3(1), 72–86. <http://www.journal.lapen.org.mx>
- 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. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86, 32051–32480.

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. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86, 32481–32984.

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*, 304–308.

Savinainen, A., & Scott, P. (2002). The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning Related content Using the Force Concept Inventory. *Physics Education*, 37(1), 45–52. www.iop.org/Journals/PhysEd

Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360–363.

9. Listado de tablas e ilustraciones.

9.1 Índice de tablas

Tabla 1: Contenidos, Criterios y Estándares, 4º ESO (Bloque 2: El movimiento y las fuerzas)..	7
Tabla 2: Contenidos, Criterios y Estándares, 1ºBachillerato (Bloque 7: Dinámica).....	8
Tabla 3: Elementos de la epistemología e indicadores de aprendizaje.	13
Tabla 4: Interpretación de los valores Kappa.....	15
Tabla 5: Comparación de dos variables en dos grupos.....	16
Tabla 6: Valores obtenidos del coeficiente Kappa de Cohen al categorizar las respuestas de los cuestionarios.....	18
Tabla 7: Categorización de la cuestión 1.....	19
Tabla 8: Categorización de la cuestión 2.....	22
Tabla 9: Categorización de la cuestión 3.....	26
Tabla 10: Categorización de la cuestión 4.....	29
Tabla 11: Categorización de la cuestión 5.....	31
Tabla 12: Categorización de la cuestión 6.....	34
Tabla 13: Resultados cuestión 1, 4ºESO centro 2.	36
Tabla 14: Resultados cuestión 2, 4ºESO centro 2.	38
Tabla 15: Resultados cuestión 3, 4º ESO centro 2.	39
Tabla 16: Resultados cuestión 4, 4º ESO centro 2.	41
Tabla 17: Resultados cuestión 5, 4º ESO centro 2.	42
Tabla 18: Resultados cuestión 6, 4º ESO centro 2	44
Tabla 19: Valores p de dos colas de Fisher en el curso de 4º ESO (pre-test y post-test), centro 2.....	46
Tabla 20: Índice de ganancia de Hake para el curso 4ºESO del centro 2.....	46
Tabla 21: Resultados cuestión 1 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	48
Tabla 22: Resultados cuestión 2 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.	49
Tabla 23: Resultados cuestión 3 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	51
Tabla 24: Resultados cuestión 4 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.	52
Tabla 25: Resultados cuestión 5 pre-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 2.	54
Tabla 26: Resultados cuestión 6 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	55

Tabla 27: Valores p de dos colas de Fisher en los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato (pre-test), centro 2.	57
Tabla 28: Resultados cuestión 1 post-test, 4º ESO- 1º Bachillerato centro 1.....	58
Tabla 29: Resultados cuestión 2 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.....	59
Tabla 30: Resultados cuestión 3 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.....	60
Tabla 31: Resultados cuestión 4 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.....	62
Tabla 32: Resultados cuestión 5 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.....	63
Tabla 33: Resultados cuestión 6 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.....	64
Tabla 34: Valores p de dos colas de Fisher en los cursos de 4º ESO y 1º Bachillerato (post-test), centro 1.....	66

9.2 Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Dibujos cuestión 1 pre-test y post-test, respectivamente.....	18
Ilustración 2: Ejemplo cuestión 1 categoría A1.....	20
Ilustración 3: Ejemplo cuestión 1 categoría B1.....	20
Ilustración 4: Ejemplo cuestión 1 categoría B2.....	20
Ilustración 5: Ejemplo cuestión 1 categoría C.....	21
Ilustración 6: Ejemplo cuestión 1 categoría E.....	21
Ilustración 7: Dibujos cuestión 2 pre-test y post-test, respectivamente.....	22
Ilustración 8: Ejemplo cuestión 2 categoría B1.....	23
Ilustración 9: Ejemplo cuestión 2 categoría C2.....	24
Ilustración 10: Ejemplo cuestión 2 categoría C4.....	24
Ilustración 11: Ejemplo cuestión 2 categoría D.....	24
Ilustración 12: Dibujos cuestión 3 pre-test y post-test, respectivamente.....	25
Ilustración 13: Dibujos cuestión 4 pre-test y post-test, respectivamente.....	28
Ilustración 14: Dibujos cuestión 5 pre-test y post-test, respectivamente.....	31
Ilustración 15: Gráfico resultados cuestión 1, 4º ESO centro 2.	37
Ilustración 16: Gráfico resultados cuestión 2, 4º ESO centro 2.	38
Ilustración 17: Gráfico resultados cuestión 3, 4º ESO centro 2.	40
Ilustración 18: Gráfico resultados cuestión 4, 4º ESO centro 2.	41
Ilustración 19: Gráfico resultados cuestión 5, 4º ESO centro 2.	43

Ilustración 20: Gráfico resultados cuestión 6, 4º ESO centro 2.	44
Ilustración 21: Gráfico resultados cuestión 1 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	48
Ilustración 22: Gráfico resultados cuestión 2 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	50
Ilustración 23: Gráfico resultados cuestión 3 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	51
Ilustración 24: Gráfico resultados cuestión 4 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	53
Ilustración 25: Gráfico resultados cuestión 5 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	54
Ilustración 26: Gráfico resultados cuestión 6 pre-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 2.	56
Ilustración 27: Gráfico resultados cuestión 1 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	58
Ilustración 28: Gráfico resultados cuestión 2 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	59
Ilustración 29: Gráfico resultados cuestión 3 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	61
Ilustración 30: Gráfico resultados cuestión 4 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	62
Ilustración 31: Gráfico resultados cuestión 5 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	63
Ilustración 32: Gráfico resultados cuestión 6 post-test, 4º ESO-1º Bachillerato centro 1.	65

10. Anexos

10.1 Cuestionario previo a la explicación de los contenidos.

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.



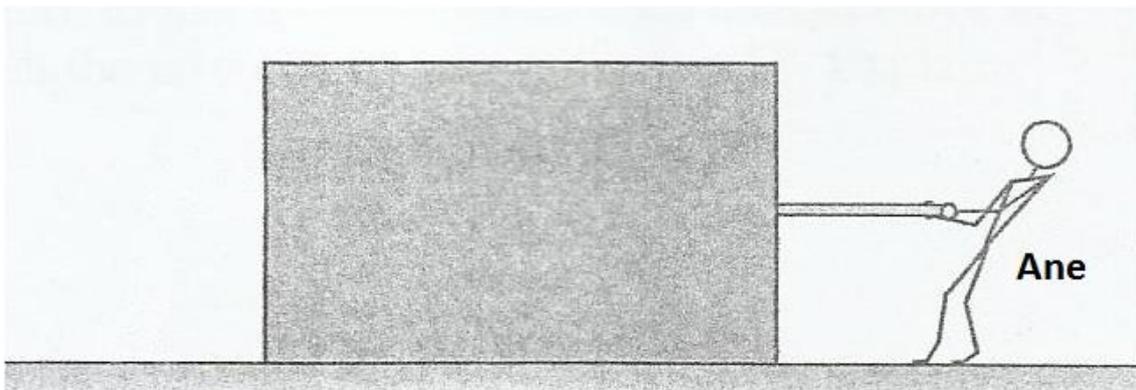
2. Hay un libro de física encima de una mesa. Dibuja las fuerzas que actúan sobre el libro. ¿Hay pares acción reacción entre las fuerzas que has dibujado? Si crees que las hay, explica cuáles son.



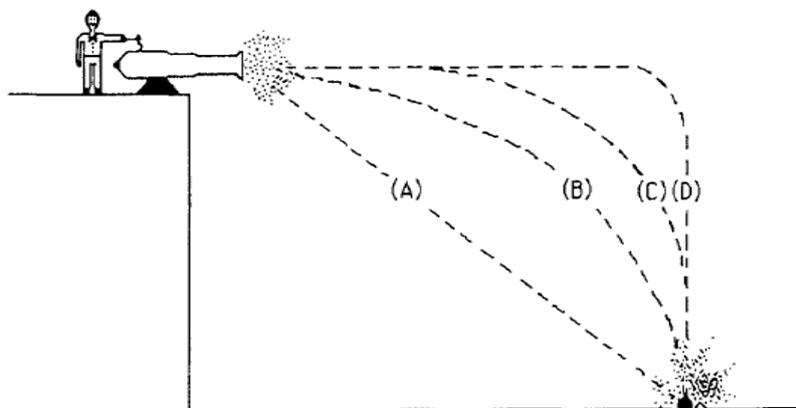
3. Un padre está patinando sobre hielo con su hija. Estando de frente, se empujan el uno al otro y empiezan a alejarse. ¿La fuerza que ejerce el padre sobre su hija es mayor, igual o menor que el que hace la hija sobre su padre? Razona tu respuesta.



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



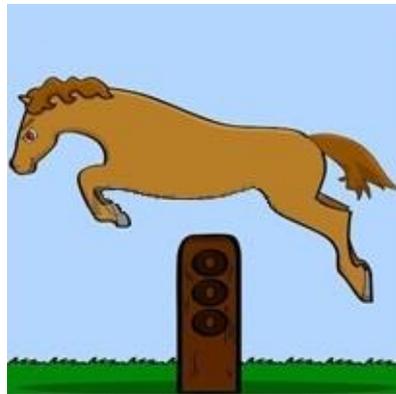
5. ¿Cuál de las siguientes trayectorias seguirá la bola lanzada por el cañón? Razona tu respuesta.



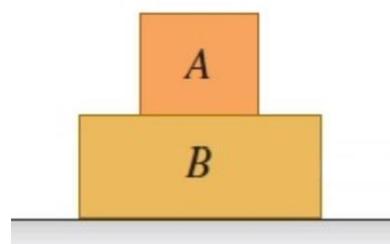
6. La Luna gira alrededor de la Tierra en una órbita prácticamente circular en la que el periodo de alrededor 28 días es constante. ¿Es constante la velocidad de la luna? ¿Si no es así qué es lo que cambia y por qué cambia? Razona tu respuesta.

10.2 Cuestionario posterior a la explicación de los contenidos y a la realización del examen.

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.



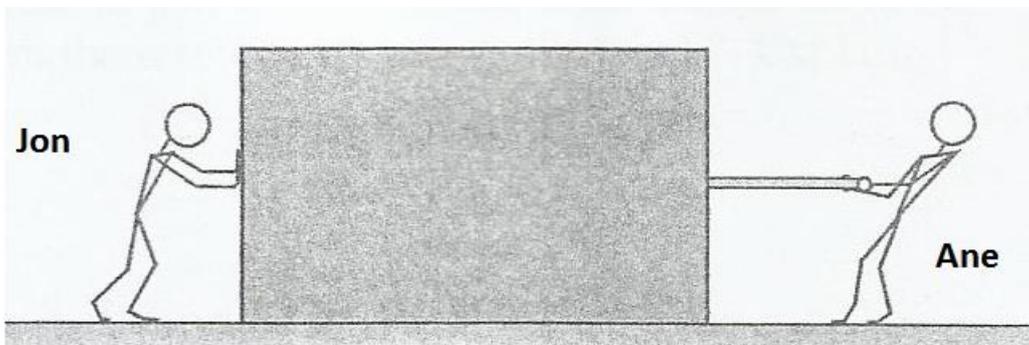
2. Hay dos cajas una encima de otra. Dibuja las fuerzas que actúan sobre la caja de arriba. ¿Hay pares acción reacción entre las fuerzas que has dibujado? Si crees que las hay, explica cuáles son.



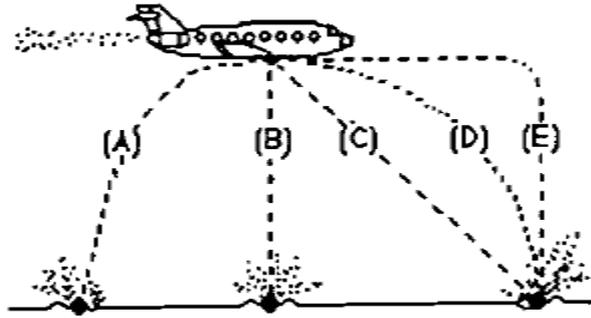
3. Dos compañeros de clase están el uno en frente del otro con silla de oficina que tienen ruedas. El compañero a tiene una masa de 70 Kg y el compañero b 90 Kg. El compañero A tiene las piernas sobre las rodillas del compañero B al cual empuja. ¿La fuerza que ejerce el compañero A sobre el compañero 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. ¿Cómo explicas lo que pasa? ¿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.