

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials



TESIS DOCTORAL

PROGRAMA DE DOCTORADO EN DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS

**Uso de sensores de movimiento y otros recursos para
mejorar la interpretación de gráficas en cinemática**

Memoria presentada por: María Orero Clavero

Dirigida por: Dr. Jordi Solbes i Matarredona y Dra. Anna R. Esteve Martínez

València, 2021

Jordi Solbes i Matarredona, Doctor en Ciencias Físicas y Catedrático de Universidad de Didáctica de las Ciencias Experimentales, y Anna R. Esteve Martínez, Doctora en Ciencias Físicas y Profesora Contratada Doctora de Didáctica de las Ciencias Experimentales,

CERTIFICAN: que esta memoria titulada “Uso de sensores de movimiento y otros recursos para mejorar la interpretación de gráficas en cinemática” ha sido realizada por María Orero Clavero bajo su dirección y constituye la tesis para optar al grado de Doctora por la Universidad de Valencia.

Y para que así conste, se presenta esta memoria de tesis doctoral y se firma este certificado en Valencia, febrero de 2021.



Fdo.: Jordi Solbes i Matarredona



Fdo.: Anna R. Esteve Martínez

Agradezco la colaboración de todas las personas que me han acompañado en este proceso:

Mis directores de tesis, Anna y Jordi, que tanto me han enseñado, y en especial la perseverancia que Jordi ha mostrado para que este trabajo vea la luz.

A Paco Tarín, por su desinteresado afán por ayudar y enseñar.

A Alfredo, mi amor, siempre animándome a seguir adelante.

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi madre y a mis tres hijos: Pablo, Carlos y Marcos.

Índice

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2	HIPÓTESIS Y FUNDAMENTACIÓN	17
2.1	HIPÓTESIS	17
2.2	FUNDAMENTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS	17
2.2.1	Fundamentación de la primera hipótesis.....	17
2.2.2	Fundamentación de la segunda hipótesis	27
3	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS	47
3.1	DISEÑO DEL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO.....	49
3.2	CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LOS ÍTEMS DEL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO	51
4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS	73
4.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO.....	73
4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ENTREVISTAS AL ALUMNADO	102
4.3	DIFICULTADES ENCONTRADAS EN LA INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS DE CINEMÁTICA.....	113
5	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS	117
5.1	DISEÑO DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS GRÁFICAS DE CINEMÁTICA	117
5.1.1	Obtención de gráficas con sensores de movimiento	120
5.1.2	Análisis del movimiento obtenido con una simulación interactiva por ordenador	125
5.1.3	Juego de tarjetas sobre descripción de gráficas.....	130
5.2	EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA	134

6	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS	139
6.1	COMPARACIÓN ENTRE EL PRE-TEST Y EL POST-TEST	139
6.1.1	Comparación de los resultados globales	139
6.1.2	Comparación de los resultados de cada ítem	142
6.2	COMPARACIÓN ENTRE EL GRUPO CONTROL Y EL POST-TEST ...	154
6.2.1	Comparación de los resultados globales	155
6.2.2	Comparación de los resultados de cada ítem	156
6.3	COMPARACIÓN ENTRE EL GRUPO CONTROL, EL PRE-TEST Y EL POST-TEST	162
7	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	165
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
9	ANEXOS	187
9.1	ANEXO I: Transcripciones de las entrevistas	187
9.2	ANEXO II: Software DataStudio	195
9.3	ANEXO III: Pruebas estadísticas.....	198
9.4	ANEXO IV: Tablas de contingencia Chi cuadrado para comparar el grupo control y el post-test.....	202

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia del estudio del movimiento está muy asumida por el profesorado de física y química. En primer lugar, la cinemática es el primer tema en la formación en física de los estudiantes, y esto no es así por razones históricas (la estática y la óptica se remontan a los griegos), sino porque los conceptos involucrados (espacio, tiempo, velocidad, aceleración) son básicos para el estudio de la mecánica y de otras partes de la física. En segundo lugar, porque los libros de física y química que utilizan para enseñarla también la ubican al principio de la parte de la física y por la reiteración con que se enseña (Solbes, 2019). Por esa razón es importante que los estudiantes comprendan de una forma muy clara esos conceptos de cinemática para llegar a la comprensión de otros más complejos que se basan en ellos.

El estudio de la cinemática se introduce con la interpretación de las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo en el 2º curso de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), y esta destreza de trabajar las representaciones gráficas es un criterio de evaluación durante todos los cursos de la ESO y el Bachillerato, tal y como se recoge en los contenidos y criterios de evaluación del Decreto 87/2015, de 5 de junio, del Consell, por el que establece el currículo y desarrolla la ordenación general de la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato en la Comunidad Valenciana (Tablas 1 a 4).

Tabla 1. El movimiento y las fuerzas para 2º ESO de la asignatura “Física y Química”.

Contenidos	Criterios de evaluación
<p>Las fuerzas y sus efectos. Uso del dinamómetro. <u>Velocidad constante y variable.</u> <u>Ecuaciones.</u> <u>Representaciones gráficas.</u> Máquinas simples: utilidad e interpretación de su funcionamiento.</p> <p>Fuerzas de la naturaleza: rozamiento, fuerza gravitatoria, fenómenos eléctricos y fenómenos magnéticos.</p>	<p>BL4.2. Determinar la velocidad media de un cuerpo e interpretar el resultado para resolver problemas cotidianos, a partir de su correspondiente expresión y <u>representaciones gráficas.</u></p>
	<p>BL4.3. Definir el concepto de aceleración y calcular su valor usando la correspondiente expresión, justificando si un movimiento es acelerado o no <u>a partir de las representaciones gráficas.</u></p>

Tabla 2. El movimiento y las fuerzas para 3º ESO de la asignatura “Física y Química”.

Contenidos	Criterios de evaluación
<p>Las fuerzas. Efectos: deformaciones y cambios del movimiento.</p> <p><u>Velocidad media, velocidad instantánea y aceleración.</u></p> <p>Fuerzas de la naturaleza: Gravedad. Rozamiento. Fuerzas eléctricas y magnéticas.</p>	<p>BL4.1. Relacionar las fuerzas con los efectos que producen y comprobar esta relación experimentalmente, registrando los resultados <u>en tablas y representaciones gráficas.</u></p>
	<p>BL4.2. Determinar, experimentalmente o a través de aplicaciones informáticas, la velocidad media de un cuerpo interpretando el resultado, y realizar cálculos para resolver problemas cotidianos utilizando el concepto de velocidad.</p>
	<p>BL4.3. <u>Emplear las representaciones gráficas de espacio y velocidad en función del tiempo</u> para deducir la velocidad media e instantánea y justificar si un movimiento es acelerado o no.</p>

Tabla 3. El movimiento y las fuerzas para 4º ESO de la asignatura “Física y Química”.

Contenidos	Criterios de evaluación
<p>El movimiento. Elementos: sistema de referencia, posición, trayectoria y desplazamiento. Velocidad media e instantánea. Variación de la velocidad: aceleración. Aceleración tangencial y centrípeta. Estudio del movimiento: movimientos rectilíneo uniforme, rectilíneo uniformemente acelerado y circular uniforme.</p>	<p>BL.4.2. <u>Deducir las expresiones matemáticas</u> que relacionan las distintas variables en los movimientos rectilíneo uniforme (M.R.U.), rectilíneo uniformemente acelerado (M.R.U.A.), y circular uniforme (M.C.U.), así como las relaciones entre las magnitudes lineales y angulares y emplearlas para resolver problemas sobre distintas situaciones de movimientos.</p>
	<p>BL4.4. <u>Utilizar representaciones gráficas para determinar el valor de la velocidad y la aceleración</u> y realizar experiencias en el laboratorio o con simuladores virtuales, <u>para determinar la variación de la posición y la velocidad de un cuerpo en función del tiempo y representar gráficamente los resultados, relacionándolos con las expresiones matemáticas correspondientes.</u></p>

Tabla 4. Cinemática para 1º Bachillerato de la asignatura “Física y Química”.

Contenidos	Criterios de evaluación
Sistemas de referencia inerciales. Principio de relatividad de Galileo. Representación gráfica de magnitudes vectoriales. Movimientos rectilíneos y circulares. Magnitudes y ecuaciones. <u>Representaciones gráficas.</u> Composición de los movimientos rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente acelerado. Descripción del movimiento armónico simple (MAS). Magnitudes y ecuaciones. <u>Representaciones gráficas.</u>	BL6.2. Obtener las ecuaciones que describen la velocidad y aceleración de un cuerpo a partir de la expresión del vector de posición en función del tiempo y aplicarlas para resolver ejercicios prácticos de cinemática en dos dimensiones (movimiento de un cuerpo en un plano), <u>interpretando las gráficas correspondientes.</u> BL6.6. Diseñar experiencias que pongan de manifiesto el movimiento armónico simple (M.A.S) para determinar las magnitudes involucradas, interpretando el significado físico de los parámetros que aparecen en sus ecuaciones y aplicar estas ecuaciones para determinar las magnitudes características, <u>realizando e interpretando representaciones gráficas.</u>

Aunque en 2º de ESO aparecen las gráficas (Tabla 1), los alumnos de este curso no dominan las destrezas matemáticas necesarias y, por ello, tanto a nivel conceptual como actitudinal (Robles, Solbes, Cantó y Lozano, 2015) parece más adecuado centrarnos en este curso en temas como Luz y Sonido, que permiten la indagación con múltiples experiencias cotidianas (Lozano y Solbes, 2014; Solbes, 2019). Por ello, nuestro estudio se centra en alumnado de 4º de ESO, que es el curso en el que se trabajan las gráficas de cinemática con más profundidad.

En la Tabla 3 se establece como criterio de evaluación en 4º de ESO: “Utilizar representaciones gráficas para determinar el valor de la velocidad y la aceleración y realizar experiencias en el laboratorio o con simuladores

virtuales, para determinar la variación de la posición y la velocidad de un cuerpo en función del tiempo y representar gráficamente los resultados, relacionándolos con las expresiones matemáticas correspondientes”, por lo que consideramos que es el nivel adecuado para realizar nuestra investigación.

Además, el número de alumnado que cursa 4º de ESO es muy superior al que cursa Bachillerato, por lo que el tamaño de la muestra podrá ser mayor si trabajamos en este nivel.

Por otro lado, diversos estudios han mostrado el gran desinterés de los estudiantes por la enseñanza de las ciencias y, en particular, por la física (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2006; Solbes, Monserrat y Furió, 2007), lo que puede suponer, a largo plazo, una menor capacidad para innovar e investigar de muchos países europeos (Rocard et al., 2007) debido, entre otras causas, a una enseñanza de la misma en la que prima el exceso de fórmulas y teoría (Solbes, Montserrat y Furió, 2007; Robles, Solbes, Cantó y Lozano, 2015), de la que es un buen ejemplo la enseñanza de la cinemática (Solbes, 2019). Para desarrollar ese interés por la física y, en particular, por la cinemáticas y dinámica se han realizado muchas propuestas para contextualizar su enseñanza en los deportes (Swinbank, 2003; Vourlias y Seroglou, 2016) o en el análisis pericial de los accidentes de tráfico (Bolívar, Torres y Solbes, 2017; Domènech-Casal, Gasco, Royo y Vilches, 2018; Solbes, Bolívar y Torres, 2019). Aunque como ponen de manifiesto algunas investigaciones, la indagación realizada por los estudiantes, como la que se propone en esta tesis, ya contribuye a despertar su interés (Couso, Jiménez-Liso, Refojo y Sacristán, 2020).

Según Pozo (2018), *“No hay alumnos motivados o desmotivados. Hay actividades y prácticas escolares que “movilizan” en mayor o menor grado sus intereses, expectativas, emociones y conocimientos. Pero no se trata sólo de identificar esas actividades y promoverlas, de trabajar contenidos y contextos que les interesen, sino más bien de usar esos contenidos y*

contextos para generar en ellos nuevos intereses, nuevas expectativas, nuevas emociones y nuevos conocimientos”.

El laboratorio de física para el aprendizaje de cinemática siempre ha sido una herramienta fundamental a la vez que compleja. Hace unos años se utilizaban técnicas como el estroboscopio en un cuarto oscuro y una máquina de fotografiar para capturar las distintas posiciones, poder medirlas y representarlas gráficamente. Otra técnica era el crono-vibrador, que dejaba una línea de puntos en una cinta de papel de calco en la que el alumnado debía medir las distancias con muchísima paciencia. También se utilizaban tramos de perfiles metálicos agujereados o células fotoeléctricas que se intercalaban en distintas posiciones, hasta la aparición de los sensores de movimiento que, hoy en día, permiten observar la gráfica producida directamente por un movimiento real. Esta técnica se conoce como Laboratorio Asistido por Ordenador (LAO) y ha supuesto un gran avance en las investigaciones sobre las dificultades que tienen los estudiantes para representar e interpretar gráficas en cinemática. También ha supuesto un gran aporte al estudio de la cinemática y dinámica el uso de apps (Esteve, Benavent y Solbes, 2019).

¿Por qué investigar en gráficas?

La construcción e interpretación de gráficas son muy importantes porque son una parte integral de la experimentación, el corazón de la ciencia. La gráfica permite una visión de la tendencia que no se reconoce fácilmente con la simple tabla de datos (McKenzie y Padilla, 1986).

La habilidad de trabajar cómodamente con gráficas es una herramienta básica para el científico (Beichner, 1994) y su construcción e interpretación son vitales para la ciencia, aunque sabemos muy poco de cómo los estudiantes conocen, entienden y aprenden las representaciones gráficas (Bowen y Roth, 2002).

El papel de las representaciones gráficas como herramienta esencial de comunicación en la enseñanza de las ciencias está bien establecido, existe un consenso cada vez mayor en sus ventajas didácticas y, en el caso de la física, se reconoce que es prácticamente imposible abordar muchas áreas sin el uso de representaciones gráficas (Testa, Monroy y Sassi, 2002).

La Unión Europea ha fundado y financiado el proyecto *Science Teacher Training in an Information Society* (STTIS), que reúne a investigadores de 5 universidades europeas (Francia, Italia, Noruega, España y Reino Unido). Uno de sus objetivos es analizar los retos que la sociedad de la información plantea al profesorado de ciencias. Pintó (2002), que participa en el proyecto STTIS, destaca la necesidad de cambios en el diseño de actividades de aprendizaje para hacer uso de herramientas tecnológicas (ordenadores en el laboratorio) y la formación del profesorado en estas nuevas tecnologías.

Por tanto, aprender a construir e interpretar gráficas es esencial en física, pero no se le está dando la relevancia que tiene en cuanto a su enseñanza, como muestran los numerosos estudios de las dificultades que presenta el alumnado y que veremos en el apartado siguiente.

De hecho, Bowen y Roth (2005) informaron de que la mayoría de los profesores de secundaria necesitan más práctica en el uso de las habilidades de los estudiantes en la interpretación de gráficas. Esto indica que la capacidad para interpretar y construir gráficas no se desarrolla fácilmente en los estudiantes y debe ser apoyada a partir de los primeros años de primaria.

Todo ello nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas en esta investigación:

- 1) ¿Qué dificultades presenta el alumnado de 4º de ESO al interpretar gráficas de cinemática?
- 2) ¿Cuáles pueden ser las causas de estas dificultades?
- 3) ¿Puede ayudar el uso de sensores de movimiento a mejorar la interpretación de gráficas de cinemática?
- 4) ¿Se pueden desarrollar otras técnicas para mejorar la habilidad de interpretación de gráficas?

2 HIPÓTESIS Y FUNDAMENTACIÓN

2.1 HIPÓTESIS

La primera hipótesis es que el alumnado de 4º de ESO no interpreta correctamente las gráficas de cinemática, incluso después de haberlas estudiado, porque la forma en que se enseña el movimiento de los cuerpos es, generalmente, muy teórica y sin apenas experimentación, lo que dificulta que el alumnado pueda relacionar el movimiento real con el que están representando gráficamente.

La segunda hipótesis es que se puede mejorar significativamente este aprendizaje utilizando la experimentación y la realización de movimientos del alumnado (corporeización o *embodiment* en inglés) frente sensores de movimiento, así como utilizando simulaciones en laboratorios virtuales y juegos diseñados específicamente para desarrollar la destreza de interpretar gráficas.

Con el fin de fundamentar las hipótesis se procederá a mostrar una serie de argumentos didácticos.

2.2 FUNDAMENTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS

2.2.1 Fundamentación de la primera hipótesis

La primera hipótesis se fundamenta en los numerosos estudios realizados sobre las dificultades de los estudiantes al interpretar gráficas en cinemática. También han sido investigadas las destrezas mínimas que debe tener el alumnado para ser capaz de interpretar gráficas, así como estudios comparativos entre las dificultades del alumnado al interpretar gráficas en matemáticas y en física.

Dificultades que presenta el alumnado con las gráficas de cinemática

Un estudio llevado a cabo durante siete años con estudiantes universitarios contribuyó a identificar ciertas dificultades que clasificaron en dos categorías McDermott, Rosenquist y Van Zee (1987): a) dificultad para conectar gráficas con conceptos físicos y b) dificultad para conectar gráficas con el mundo real. Dentro de cada una de ellas aparecen las categorías que pueden verse en la Tabla 5.

Tabla 5. Categorización de las dificultades del alumnado interpretando gráficas de cinemática según McDermott, Rosenquist y Van Zee, (1987).

A-Dificultad para conectar gráficas con conceptos físicos.	A.1- Discriminar entre la pendiente y la altura de la gráfica.
	A.2- Confundir cambios de altura con cambios de pendiente.
	A.3- Relacionar un tipo de gráfica con otra.
	A.4- Relacionar la información de un enunciado con características relevantes de la gráfica.
	A.5- Interpretar el área bajo la gráfica.
B- Dificultad para conectar gráficas con el mundo real	B.1- Representar el movimiento continuo con una línea continua.
	B.2- Separar la forma de la gráfica de la trayectoria del movimiento.
	B.3- Representar una velocidad negativa en una gráfica $v = f(t)$.
	B.4- Representar una aceleración constante en una gráfica $a = f(t)$.
	B.5- Distinguir entre diferentes tipos de gráficas de movimiento.

En otro artículo, Rosenquist y McDermott (1987) diseñaron una unidad didáctica de cinemática para alumnado de un curso de física preparatorio para la universidad y describieron cómo las enseñanzas basadas en la observación directa del movimiento pueden ayudar a los estudiantes a comprender conceptos de cinemática, es más, concluyeron que hacer énfasis en estos objetivos en vez de en la resolución tradicional de problemas (con la aplicación de las matemáticas) se consiguen resultados de comprensión conceptual más profundos. Se centraron en cuatro objetivos:

- 1- Comprensión cualitativa de la velocidad instantánea como un límite.
 - Acercamiento al concepto de límite a través de la experimentación.
 - Acercamiento al concepto de límite a través de gráficas.
- 2- Distinguir entre posición y velocidad. Estos conceptos relacionados, pero distintos, son a menudo una fuente de confusión en el alumnado. Proveer de ejercicios o situaciones en los que esté latente esta confusión ayuda a confrontar al estudiante con sus ideas previas.
- 3- Distinguir velocidad, cambio de velocidad y aceleración. Se propone un experimento en el que se calcula la aceleración a partir de lo que varía la velocidad, no la posición (en su segunda derivada).
- 4- Conectar gráficas, conceptos y movimientos. Para ello se propone construir gráficas desde un movimiento real y producir un movimiento a partir de una gráfica.

El seguimiento de los alumnos que han recibido este tipo de instrucción apunta a que el alumnado utiliza y aplica los conceptos aprendidos con esta metodología en otras disciplinas (por ejemplo, el concepto de límite lo aplican para estudiar el pulso de un corredor), lo que implica una comprensión más profunda de los conceptos (Rosenquist y McDermott, 1987).

Otro estudio realizado en escuelas rurales (Brasell, Heather y Rowe, 1993) muestra igualmente las dificultades en la comprensión de las gráficas

de cinemática y lo poco conscientes que son los estudiantes de estas deficiencias. De hecho, una quinta parte de los estudiantes no tenían habilidades adecuadas en interpretar gráficas y subrayan la especial dificultad en relacionar la gráfica con la descripción verbal del evento.

A partir de los estudios anteriores, que ponen de manifiesto las dificultades de los estudiantes con las gráficas de cinemática, Beichner (1994) desarrolla el test de selección múltiple *Test of Understanding Graphs in Kinematics* (TUG-K) para evaluar la capacidad de los estudiantes de interpretar gráficas de cinemática. Aunque otras investigaciones (Rosenquist y McDermott, 1987) habían utilizado entrevistas, que es una herramienta muy poderosa para investigar la comprensión de la física por parte de los estudiantes, Beichner (1994) reconoce que lo ideal sería combinar ambas metodologías: entrevistas personales y el TUG-K.

Los profesores de física tienden a usar gráficas como un tipo de lenguaje secundario, asumiendo que sus estudiantes pueden extraer la mayoría de la valiosa información que contienen. Por ello, Beichner (1994) se propuso hacer un test que sirviera de instrumento de evaluación (tanto sumativa como formativa) de las habilidades en gráficas de los alumnos y que se estableciera como base en futuras investigaciones. De hecho, estudia muchos otros tests que ya habían sido utilizados y adapta algunos ítems, así como crea otros nuevos. El borrador se pasó a 134 colegios y los resultados sirvieron para modificar algunas de las cuestiones. Después se dio a 15 profesores para su revisión, comentarios... Beichner hizo un esfuerzo para asegurarse de que solamente se medían las habilidades en la interpretación de gráficas de cinemática, trató de que tuviera consistencia, fiabilidad y validez interna y externa. El análisis de los resultados de sus investigaciones mostró las siguientes dificultades por parte del alumnado en la tarea de interpretar gráficas:

- Confundir la gráfica con un dibujo de la trayectoria.
- Confundir la pendiente con la ordenada.
- Dificultad en calcular pendientes cuando la recta no pasa por el origen.
- Dificultad de interpretar el área bajo la curva.
- Dificultad en relacionar gráficas para un mismo movimiento.

Estas dificultades son similares a las descritas por McDermott et al. (1987).

En una investigación más reciente, Bollen, De Cock, Zuza, Guisasola y Van Kampen (2016) examinan si se puede generalizar la categorización de las respuestas de los estudiantes a cuestiones de gráficas lineales distancia-tiempo. Esta categorización fue desarrollada por Wemyss y Van Kampen (2013) en la Dublin City University (DCU) y se comprobó si se podían aplicar a estudiantes de la Katholieke Universiteit Leuven (o KU Leuven) en Bélgica y la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) en el País Vasco.

Las categorías se basaron en el nivel de entendimiento que los estudiantes mostraron y en las dificultades que tenían con los modelos científicos. Las preguntas hacían referencia a tres tipos de gráficas lineales que no pasaban por el origen: distancia-tiempo, nivel de agua-tiempo y una gráfica de contexto libre. Sus respuestas abarcan 3 categorías:

- i) Razonamiento basado en que la línea es recta o que la pendiente es constante.
- ii) Razonamiento basado en un intervalo.
- iii) Otros razonamientos.

Solo un 20% de los estudiantes determinó correctamente la velocidad instantánea ($\Delta x/\Delta t$), mientras que la mitad calculaban x/t . Las razones dadas por los estudiantes para explicar la constancia de la velocidad no se corresponden con que luego hayan podido calcular correctamente el valor

de la velocidad. Tampoco la habilidad demostrada en calcular la pendiente en una gráfica fuera de contexto es suficiente para que determinen el valor numérico de la velocidad instantánea. Por último, los estudiantes responden mucho mejor a cuestiones en la gráfica nivel de agua-tiempo que en la de distancia-tiempo.

Las conclusiones de este estudio son que estas categorizaciones también se pueden aplicar a estudiantes de la KU Leuven y la UPV/EHU, lo que indica que los estudiantes usan estrategias similares para resolver este tipo de cuestiones y cometen los mismos tipos de errores, independientemente del enfoque educacional que hayan recibido y del país en el que estudien.

Destrezas mínimas para la interpretación de gráficas

Hay estudios enfocados hacia las destrezas mínimas que debe tener el alumnado para poder interpretar gráficas, como el que llevó a cabo durante tres años Wavering (1989) para determinar los procesos de razonamiento lógico necesarios para construir gráficas. Clasificó las respuestas del alumnado en 9 categorías siendo la primera “ningún intento de hacer la gráfica” y la novena, “completa la gráfica exponiendo la relación entre las variables”. Participó alumnado de secundaria y bachillerato y el estudio determinó que el alumnado de secundaria tenía resultados en las 4 primeras categorías, mientras que el alumnado de bachillerato presentaba resultados en las últimas 5 categorías. Estas respuestas encajan con las estructuras piagetianas de operaciones concretas (categorías del 1 al 4) y operaciones formales para el razonamiento proporcional y correlacional (categorías del 5 al 9). El artículo concluye haciendo hincapié en la necesidad de que el profesorado sea consciente de estos requerimientos básicos para ayudar a su alumnado a desarrollar el razonamiento lógico necesario para poder interpretar gráficas correctamente.

Otro estudio que investiga las relaciones entre las estructuras de razonamiento lógico de los estudiantes y su habilidad para construir e

interpretar gráficas (Berg y Phillips, 1994) concluye que el desarrollo del pensamiento lógico es muy importante para comprender las gráficas y los estudiantes con bajos niveles de pensamiento lógico no pueden construir o interpretar gráficas. Además, encuentran que muchos estudiantes de secundaria todavía no han desarrollado sus estructuras de pensamiento lógico lo suficiente para comprender las gráficas.

Un estudio más reciente (Bektasli y White, 2012) se centra también en buscar la relación entre el nivel de pensamiento lógico de los estudiantes y las habilidades de estos al interpretar gráficas de cinemática. La variable independiente es el nivel de pensamiento lógico, medido con el *Middle Grade Integrated Process Skill Test* (MIPT). La variable dependiente es la habilidad para interpretar gráficas de cinemática, medida con el TUG-K de Beichner (1994). Obtienen una clara correlación entre ambas variables, lo que les lleva a hacer las siguientes recomendaciones:

- ✓ los estudiantes llegan al aula con diferentes niveles de pensamiento lógico, para unos es más sencillo procesar la información en forma de texto y para otros en forma de gráficas.
- ✓ usar gráficas en lugar de fórmulas es siempre una opción mejor para resolver problemas de cinemática, pero como las gráficas son representaciones abstractas, el profesorado debe ser muy consciente del nivel de pensamiento lógico de su alumnado cuando enseña cinemática.

Comparación entre las dificultades interpretando gráficas en Física y Matemáticas

Ciertas investigaciones se basan en encontrar el paralelismo entre las habilidades del alumnado para construir e interpretar gráficas en matemáticas y en física. Todas ellas parten de la clasificación que Leinhardt, Zaslavsky y Stein (1990) hicieron sobre las dificultades matemáticas de los estudiantes con las gráficas:

- Confusiones icónicas. Son características de estudiantes jóvenes, aunque a veces aparecen también en poblaciones mayores e incluso estudiantes universitarios. Consisten en una incorrecta interpretación de la gráfica como un dibujo del movimiento. Estos estudiantes no ven la gráfica como representación simbólica de la relación abstracta entre las variables de los ejes sino como un dibujo concreto del movimiento del cuerpo. Por ello, es difícil para ellos entender que la gráfica deba cambiar si se cambian las variables de los ejes, ya que ellos esperan que la gráfica continúe igual.
- Confusiones pendiente-altura. Suceden cuando los estudiantes confunden la altura de la gráfica con su pendiente. Por ejemplo, si ellos observan que la coordenada “y” disminuye uniformemente, concluyen que la pendiente de la gráfica sigue el mismo comportamiento y también disminuye uniformemente.
- Confusiones punto/intervalo. Se refieren a los casos donde los estudiantes se centran en un punto de la gráfica cuando deberían estar usando un intervalo. Esta confusión es muy común entre estudiantes de bachillerato y universidad.

Estas dificultades son similares a las que hemos descrito anteriormente para cinemática.

A partir de esta clasificación, algunos autores investigan simultáneamente las dificultades del alumnado con gráficas en física y matemáticas.

Un estudio reveló la existencia de cierta resistencia por parte del alumnado a aplicar sus conocimientos en matemáticas a la física (Woolnough, 2000). El estudio sugiere que los alumnos de 2º de Bachillerato operan en tres contextos: el mundo real, el mundo de la física y el mundo de las matemáticas, cada uno con diferentes características. Por ejemplo, cuando calculan la pendiente, algunos alumnos piensan que es inapropiado asignar unidades de medida por la percepción que tienen de que la

pendiente es un concepto matemático. Un 90% de estudiantes son capaces de calcular la pendiente de una recta que pasa por el origen, pero la tercera parte de estos estudiantes no son capaces de dar una interpretación física de esa pendiente.

Otro estudio más reciente, llevado a cabo con 114 estudiantes de secundaria en Croacia (Planinic, Milin-Sipus, Katic, Susac y Ivanjek, 2012), se centra en el concepto de pendiente de una recta en ambas materias: física y matemáticas. El test contenía pares de cuestiones paralelas que evaluaban la misma habilidad, la estimación e interpretación de la pendiente, pero en dos contextos diferentes, el cinemático y el matemático. También participó el profesorado (N=90) para sugerir un orden de mayor a menor dificultad en ambos contextos, físico y matemático. La mayoría del profesorado esperaba que las cuestiones matemáticas fueran más difíciles para los estudiantes que las cuestiones paralelas de física. Contrariamente a estas expectativas, los estudiantes obtuvieron mejores resultados en matemáticas que en física. El análisis de las respuestas y explicaciones del alumnado sugiere que la falta de conocimiento matemático no es la causa principal para explicar las dificultades que tienen los alumnos con las gráficas de cinemática. La interpretación del significado de la pendiente aparece como el mayor problema para los estudiantes en física, sin embargo, también muestran dificultades entendiendo el concepto de pendiente en un contexto matemático. La confusión entre pendiente y altura (valor de la ordenada) aparece en ambos contextos, pero con mucha mayor frecuencia en física que en matemáticas.

En otra investigación contemporánea a la anterior (Christensen y Thompson, 2012), se pretendía analizar si los estudiantes de física aplican los conocimientos de matemáticas y, en especial, en la interpretación de gráficas en las que se pide la pendiente. Los resultados muestran que los estudiantes tienen dificultades al transferir ideas matemáticas a problemas de física, sobre todo en lo que a la pendiente de una gráfica se refiere. Además, muchos estudiantes no poseen los conocimientos matemáticos necesarios

para resolver problemas de física y, en general, tienen dificultades al transferir sus ideas matemáticas a otras disciplinas.

Por último, una investigación más reciente (Ivanjek, Susac, Planinic, Andrasevic y Milin-Sipus, 2016) desarrolla ocho cuestiones en las que se pregunta la misma característica de la gráfica en tres contextos distintos: matemáticas, cinemática y ciencias en general. En este estudio participaron 385 estudiantes universitarios de primer curso y muy pocos utilizaron la misma estrategia de resolución en los tres campos, lo que indica la poca transferencia de conocimientos que suele hacer el alumnado a la hora de resolver problemas, entendiendo esta transferencia de conocimiento como la habilidad de extender lo que has aprendido en un contexto a nuevos contextos.

Los principales resultados obtenidos en esta investigación fueron:

- Una de las estrategias más comunes para calcular la pendiente es el uso de fórmulas, correctas o no. En matemáticas, la fórmula era la correcta en la mayoría de los casos, pero en física, un 49% usó una fórmula incorrecta.
- Otra estrategia menos usada es calcular la pendiente en base a razonamientos de cuánto sube (o baja) frente a lo que recorre la gráfica.
- El razonamiento más usado cuando la tarea es comparar dos rectas consiste en basarse en el ángulo que la recta forma con el eje de las x o hacer referencia a la inclinación de la recta en sus explicaciones.
- En algunas ocasiones, los estudiantes hacen referencia a la pendiente de la gráfica basándose en su apariencia, si sube o baja, para determinar el signo.
- El error de identificar la pendiente con la altura (ordenada) de la gráfica aparece en un 20% en matemáticas y 29% en física.

En conclusión, se observa un mayor número de dificultades en física que en matemáticas y se encuentran evidencias de que el conocimiento del cálculo de la pendiente en matemáticas no garantiza el éxito calculando la pendiente en cinemática. Hay un alto grado de transferencia de las matemáticas a la física, pero apenas hay transferencia de la física a las matemáticas.

Todas estas investigaciones que tratan de encontrar la causa de las dificultades que presenta el alumnado con las gráficas muestran que las dificultades son las mismas en cualquier ámbito, ya sea matemático, físico o cualquier otro contexto. También muestran que el alumnado no suele transferir lo que ha aprendido en una materia a otras materias y que la falta de conocimientos matemáticos no puede servir como explicación a los errores que cometen los estudiantes al interpretar gráficas en cinemática. Además, es muy importante tratar de conocer el nivel de razonamiento lógico del alumnado al que queremos enseñar o, por lo menos, ser conscientes de en qué etapa evolutiva se encuentran.

Con esto queda fundamentada la primera hipótesis: el alumnado de 4º de ESO no interpreta correctamente las gráficas de cinemática, incluso después de haberlas estudiado, porque la forma en que el movimiento de los cuerpos es enseñado es, generalmente, muy teórica y sin apenas experimentación, lo que dificulta que el alumnado pueda relacionar el movimiento real con el que están representando gráficamente.

2.2.2 Fundamentación de la segunda hipótesis

Como hemos visto, la segunda hipótesis plantea que el uso de sensores de movimiento, laboratorios virtuales (applets), corporeización (*embodiment* en inglés) y otras herramientas similares puede mejorar las destrezas del alumnado interpretando gráficas. Todas estas herramientas se enmarcan en líneas de investigación de la didáctica de las ciencias como la indagación y la modelización con corporeización.

Tras la distinción que hizo Ausubel entre aprendizajes significativos y aprendizajes repetitivos (Ausubel y Novak, 1976), se trató de buscar las causas de que un alto porcentaje de estudiantes no lograran este tipo de aprendizaje con significado que relaciona la nueva información con alguna idea relevante de la estructura conceptual del individuo (Solbes, 2009). Uno de los datos más consolidados de la investigación sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia es que el alumnado tiene creencias intuitivas firmemente arraigadas, en muchos casos sin ser consciente de ellas, sobre los fenómenos y conceptos que estudia la ciencia y, por tanto, aprender ciencia no es tanto repetir lo que dicen los científicos como cambiar esas representaciones previas ligadas al sentido común y a la forma en que su cuerpo interactúa con los objetos (Pozo, 2020).

Está comprobado que estas ideas se muestran como ideas seguras y arraigadas, son similares para alumnos de distintos países, son inconsistentes y presentan una notable resistencia a ser sustituidas por los conocimientos científicos en la enseñanza usual (Pintó, Aliberas y Gómez, 1996; Solbes, Carrascosa y Furió, 2006). La existencia de estas ideas previas, también llamadas preconcepciones, ideas alternativas o concepciones alternativas sugirió la necesidad de proponer nuevas formas de plantear la enseñanza de las ciencias, buscando la sustitución de esos conceptos previos por otros nuevos, es decir, la necesidad de un cambio conceptual (Solbes, 2009).

Driver (1988) propone una enseñanza basada en este cambio conceptual que está estructurada en torno a una secuencia de actividades diseñada a partir de las ideas de los estudiantes y que fomenta el cambio en su pensamiento. Después de una sesión inicial de orientación destinada a despertar la atención de los estudiantes y su interés por el tema, se destina un tiempo a que los alumnos revisen y discutan sus propias ideas o modelos. Esta fase de explicitación se inicia generalmente en pequeños grupos. Se pide a cada grupo que represente sus ideas en un póster o por otros medios y que las presenten a toda la clase. Así se identifican semejanzas y diferencias en

las ideas iniciales de los estudiantes y se señalan aspectos para posterior consideración (Driver, 1988).

Esto supone una visión constructivista del aprendizaje que se centra en que los estudiantes construyen activamente su propio aprendizaje a través de la interacción de sus propias ideas y nuevas experiencias, con la necesaria ayuda del profesor (Furió, 2009).

Este cambio conceptual puede requerir un cambio entre diferentes categorías o producirse dentro de una misma categoría. En el primer caso se trata de un cambio ontológico o radical y en el segundo caso, se denomina cambio conceptual normal (Chi, Slotta y De Leeuw, 1994). Hewson (1981) entiende que el aprendizaje de las ciencias es mucho más complejo y que, cuando el alumnado se enfrenta a información nueva, se puede producir un proceso de asimilación (se incorpora al esquema conceptual previo sin producir modificaciones), deformación (de los nuevos conceptos para adaptarlos a los previos), reestructuración (exige cambios en los conceptos previos para incorporar la nueva información), sustitución (de conceptos existentes por otros nuevos) e incluso de síntesis (cuando la nueva información modifica los conceptos previos haciendo que evolucionen hacia nuevos conceptos).

Es importante entender la necesidad, no sólo de un cambio conceptual, sino también de un cambio procedimental (metodológico o epistemológico) y de un cambio actitudinal (axiológico), puesto que son las tres dimensiones del aprendizaje (Solbes, 2009).

Para el cambio metodológico, y dentro de un marco constructivista, hay tres modelos de enseñanza de las ciencias propuestos por los investigadores en la última década: la indagación, la modelización y la argumentación.

En cuanto al cambio actitudinal, ya hemos fundamentado en el planteamiento del problema que el desinterés del alumnado hacia los

estudios de ciencias es una de las cuestiones primordiales a tener en cuenta por el profesorado.

Indagación

El método de indagación en la enseñanza de las ciencias fue introducido por Dewey en 1910 al considerar que se hacía demasiado énfasis en los hechos y poco en el pensamiento y actitud hacia la ciencia. Dewey recomendaba al profesorado de ciencias que aplicaran la indagación como estrategia de enseñanza cuando el método científico se volvía demasiado rígido al exigir el rigor de seguir todos los pasos que conlleva (Barrow, 2006).

Como respuesta a la cuestión sobre qué enfoque de enseñanza es el adecuado para las ciencias, hay proyectos e informes de investigación que optan por enfoques basados en la indagación (*Inquiry Based Science Education*, IBSE, en inglés), debido a sus ventajas para motivar al alumnado y favorecer el aprendizaje de las ciencias y la actividad científica (National Research Council, 2000; Osborne y Dillon, 2008; Rocard et al., 2007).

El Consejo Nacional de Investigación estadounidense (*National Research Council* en inglés) define las cinco características esenciales de la IBSE: 1) preguntas orientadas científicamente que permitan la participación activa del alumnado; 2) recopilación de pruebas por parte del alumnado; 3) desarrollo de explicaciones a partir de las propias pruebas para dar respuesta a las preguntas planteadas; 4) evaluación de las propias explicaciones, que pueden incluir explicaciones alternativas que reflejen una comprensión científica; 5) comunicación y justificación de las explicaciones propuestas (National Research Council, 2000).

Según Jiménez Aleixandre (1998), la indagación como método de instrucción son preguntas planteadas por el/la docente y una vez que los estudiantes responden, proponen una solución, elaboran un producto, son desafiados para que defiendan sus posturas, tienen que discutir a partir de los datos.

Enmarcada en la IBSE, Windschilt (2008) propone la Indagación Basada en la Modelización (*Model-based Inquiry*, MBI, en inglés). Es una visión alternativa para investigar en ciencias que se presenta como un sistema de actividades y discurso que involucra al alumnado más profundamente con los contenidos de la ciencia y encarna cinco características epistémicas del conocimiento científico: que las ideas representadas en forma de modelos son comprobables, revisables, explicativas, conjeturables y generativas (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008).

En este enfoque, además de realizarse tareas meramente manipulativas (*hands-on activities* en inglés) para la búsqueda de pruebas, se facilita la integración de los modelos teóricos en el proceso de construcción del conocimiento (*minds-on activities* en inglés) (Martínez-Chico, López-Gay y Jiménez-Liso, 2014).

El aprendizaje basado en la indagación divide el complejo proceso científico en pequeñas unidades conectadas que guían al estudiante y ponen énfasis en características importantes del pensamiento científico. Estas unidades se llaman fases de indagación y sus conexiones forman el ciclo de indagación. Existen diversas propuestas de modelos para estos ciclos de indagación. Pedaste (2015) busca identificar y resumir las características principales de los ciclos de indagación revisando toda la literatura que haya sido publicada sobre este tema. Muchas veces encuentra que se usa terminología distinta para referirse a una misma fase. Además, propone cinco fases y nueve subfases que describe para ayudar al profesorado interesado en utilizar esta metodología para asegurar la efectividad del proceso de aprendizaje basado en la indagación. Las cinco fases del ciclo de indagación de Pedaste (2015) son:

1. Orientación: introducción del tema, observación, preguntas hechas al estudiante para orientarle a que investigue...
2. Conceptualización: definir el problema, predecir, hacer hipótesis...

3. Investigación: diseño del experimento, toma de datos, análisis de los datos identificando patrones o tendencias y haciendo inferencias...
4. Conclusión: razonar con modelos, encontrar relaciones y conclusiones, generar teorías...
5. Discusión: debatir y compartir con otros, comunicar los resultados, predecir resultados de nuevos experimentos...

Ortega, Solaz-Portolés y Sanjosé (2020) han mostrado que las actividades indagatorias y experimentales que implican activar el canal cinestésico son escasas en relación con la prevalencia de dicho canal entre el alumnado de enseñanza secundaria. Por lo tanto, dado que la indagación se revela como un modo de adquirir competencias deseables en la educación científica, este modelo didáctico todavía no se desarrolla suficientemente en las aulas.

Por otro lado, la argumentación es una herramienta para desarrollar el pensamiento crítico (Jiménez Aleixandre, 2010).

Aprender ciencias exige, además del conocimiento de modelos y teorías científicas, relacionar las explicaciones con las pruebas que las sustentan. Se conoce como argumentación esa evaluación del conocimiento en base a pruebas (Couso, Jiménez-Liso, Refojo y Sacristán, 2020). Se trata de enseñar al estudiante no sólo a saber hacer ciencia sino también a “hablar de ciencia”, a saber comunicarla (Driver, Newton y Osborne (2000); Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003); Jiménez-Aleixandre, Bugallo Rodríguez y Duschl (2000); Sardá y Sanmarti (2000); Sanmarti (1997).

Estas investigaciones ponen de manifiesto que el aprendizaje se ve muy favorecido cuando los alumnos participan, hablan y argumentan sobre la ciencia, lo que sólo es posible si las actividades son interesantes y el alumnado está motivado (Solbes, 2009). Para ello hay que plantear problemas que lleven a razonar, que sean investigables, cercanos y relevantes para el alumnado (Jiménez Aleixandre, 1998), para que el aprendizaje surja de la necesidad y la emoción de resolver un problema

presente. Sin embargo, la educación formal ha disociado cuanto ha podido el conocimiento enseñado de su uso en contextos reales y, de esta forma, el alumnado se ha visto obligado a manejar en sus tareas escolares símbolos, códigos y reglas, aparentando estar adquiriendo conocimientos que, sin embargo, luego no puede usar o transferir al mundo real que le espera fuera del aula (Pozo, 2017).

Modelización con corporeización (*embodiment*)

La modelización se muestra como una importante propuesta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales (Oliva, 2019). Va un paso más allá del método científico, que pone el énfasis en obtener pruebas que validen las predicciones y centra al alumnado en una gran actividad de laboratorio a expensas de una profunda comprensión de la materia en estudio y carece del marco epistemológico relevante para la disciplina de la ciencia (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008).

Según los Estándares Nacionales de Educación Científica (National Science Education Standards, NSES, en inglés) del Consejo Nacional de Investigación estadounidense (National Research Council, 1996), “los modelos son esquemas o estructuras provisionales que se corresponden con objetos reales, situaciones, o tipo de situaciones, con un poder explicador. Los modelos ayudan a los científicos e ingenieros a entender cómo funcionan las cosas”. Así que son utilizados como explicación de forma esquemática y sencilla de fenómenos que, de otra forma, requerirían una descripción complicada. Actúan como puentes entre la teoría y el fenómeno (Oh y Oh, 2011). Los expertos reales son capaces de emplear diferentes modelos simultáneamente, reconociendo las virtudes y limitaciones de cada uno y aplicándolos adecuadamente (Solbes, Silvestre y Furió, 2010). Es un reto para el alumnado ver la construcción de modelos como una forma de generar nuevo conocimiento, más que de representar lo que ya han aprendido (Schwarz et al., 2009).

El principal objetivo de la modelización es ayudar al alumnado a conectar el mundo real de los objetos y eventos con el mundo más abstracto de las ideas y teorías (Simarro-Rodríguez y Couso, 2013; Tiberghien, 2000).

Enmarcada en la enseñanza de las ciencias por indagación, la modelización aparece como un punto clave para construir una idea que necesariamente ha de estar relacionada con el fenómeno real, donde tanto semejanzas como diferencias han de ser fácilmente identificables (Tuzón y Solbes, 2017).

Dentro de la estrategia de modelización, algunos autores hacen uso de la corporeización, donde los estudiantes son los agentes activos del modelo que proponen y quienes representan con sus propios cuerpos el fenómeno mismo que están estudiando, lo que los hace mantenerse constantemente en contacto con la evolución del mismo (a diferencia de si se modeliza a través de un dibujo o una maqueta, donde las propiedades se externalizan) (Solbes, Tuzón y Palomar, 2019).

Según Dourish (2004), entendemos nuestro mundo a través de las interacciones de nuestro cuerpo y de las interpretaciones que nuestro cerebro hace de esas interacciones.

Malinverni y Pares (2014) realizan una revisión de las investigaciones acerca de la corporeización y apuntan que su éxito se debe a la capacidad de involucrar a los estudiantes a diferentes niveles: experiencias sensoriomotoras, aspectos cognitivos y factores afectivos. Esta idea es respaldada por diferentes marcos teóricos, que van desde la pedagogía hasta la ciencia cognitiva y la fisiología. En este contexto, se le da especial relevancia al enfoque de la Cognición Fundamentada de Barsalou (2008) y a la teoría de Lakoff y Johnson (2015) sobre la naturaleza encarnada de los conceptos lingüísticos.

La Cognición Fundamentada de Barsalou sugiere que las representaciones mentales se basan en las áreas motoras del córtex

cerebral: cuando se necesita conocimiento, los estados perceptuales y motores adquiridos durante la experiencia se reactivan mediante la simulación. La clave radica en la activación física de un gran número de neuronas sensor-motoras de una manera tal que sea congruente con el concepto que se está aprendiendo, lo que propicia un aprendizaje mucho más profundo que desde la mera observación (Barsalou, 2008) .

Lakoff y Johnson (2015) defienden que nuestro sistema conceptual ordinario, en términos del cual pensamos y actuamos, es fundamentalmente de naturaleza metafórica. Para los autores, la metáfora no es una mera figura literaria, sino que constituye una red de relaciones entre ideas y conjuntos de ideas que permiten a los humanos ensamblar su realidad. La metáfora influye en el pensamiento y la percepción: es una relación entre dos conjuntos conceptuales donde una idea es referida a una experiencia sensorial más fácil de aprender y le da una serie de propiedades a una segunda idea más abstracta para facilitar su comprensión. Por ejemplo, dado que la mayoría de ellas tienen que ver con la orientación espacial, están las metáforas orientacionales: arriba-abajo (salud-enfermedad, virtud-vicio, control-estatus), delante-detrás (futuro-pasado) (Blanco Salgueiro, 2017).

Esta naturaleza encarnada que presentan Lakoff y Johnson se extiende al ámbito educativo en forma de principios instruccionales para el diseño de entornos de aprendizaje, puesto que no sólo la mente está en el cuerpo, sino que, sobre todo, el cuerpo está en la mente (Pozo, 2017).

En cuanto a las concepciones alternativas, el enfoque de la cognición encarnada ofrece un buen marco teórico para comprender la naturaleza de estas representaciones intuitivas tan ubicuas y resistentes al cambio en contextos de aprendizaje formal o académico, ya que serían el resultado de las restricciones que imponen las estructuras somatosensoriales al interactuar con el mundo en esos dominios específicos. Estas representaciones intuitivas tienen, de hecho, una doble naturaleza: están encarnadas, al construirse a partir de las interacciones del cuerpo con los

objetos, pero son también implícitas, ya que se activan sin que la persona sea consciente de que las está usando. Conocemos por tanto el mundo a partir de nuestra representación de él, mediante las acciones que nuestro cuerpo puede ejecutar (Pozo, 2017).

El propio cuerpo puede usarse muy eficazmente para explicitar o externalizar nuestras representaciones en aquellos dominios muy ligados a la acción corporal, pero también en otras áreas más abstractas, como por ejemplo la física, donde conceptos tales como el calor, el movimiento o el sonido pueden adquirirse o enseñarse por medio de acciones y experiencias corporales que permiten explicitar nuestras representaciones encarnadas (Gómez Crespo, 2017).

En algunas de las investigaciones nombradas anteriormente se usó el propio cuerpo del estudiante como el objeto de estudio del movimiento.

Brungardt y Zollman (1995) se preguntan si esta forma de experimentar el movimiento contribuye de alguna manera al éxito de los Laboratorios Asistidos por Ordenador (LAO), ya que implican el dominio psicomotor del alumnado, no solo el cognitivo y afectivo. De hecho, Beichner (1990) y Mokros y Tinker (1987) ya suponen que esta retroalimentación kinestésica del LAO usando el propio cuerpo (*embodiment*) es el componente que más ayuda al alumnado a entender las gráficas de cinemática.

Nemirovsky, Tierney y Wright (1998) hacen un análisis muy detallado de cómo los estudiantes utilizan el movimiento de su cuerpo para entender las gráficas de cinemática. Concluyen que los sensores proveen al estudiante de numerosos datos directamente relacionados con su movimiento, lo que hace que hagan conexiones entre las gráficas generadas en la pantalla y el movimiento real que corresponde a esos datos en la gráfica. Además, el interés del alumnado aumenta con este tipo de tareas de medir con sensores.

Eisenberg y Pares (2014) hablan de la corporeización con el término: *“becoming objects to think with”*, es decir, el propio cuerpo del estudiante se convierte en un objeto cuyo movimiento sirve para reflexionar. Estas experiencias de corporeización física ayudan a los estudiantes a la difícil tarea de transformar objetos en 2 dimensiones a conceptos en 3 dimensiones, proceso que requiere que los estudiantes tengan un profundo entendimiento conceptual de temas complejos.

Con este marco teórico queda fundamentada la metodología utilizada en esta investigación, que se basa en la indagación y en plantear cuestiones que lleven al alumnado a construir un modelo científico que explique lo que han observado en su experimentación.

A continuación, fundamentamos la parte de la hipótesis que plantea que el uso de sensores de movimiento, laboratorios virtuales (applets), etc. pueden mejorar las destrezas del alumnado interpretando gráficas, en los numerosos estudios que encontramos en la literatura y sus resultados.

Sensores de movimiento, Laboratorios Asistidos por Ordenador (LAO) y apps

Robert Tinker desarrolló en los años 80 del siglo XX la idea de equipar ordenadores con sensores y usarlos con estudiantes e investigadores. Fue pionero en introducir los LAO en las clases de ciencias de colegios e institutos con el ordenador Apple II. En un artículo recopilatorio narra la aparición de los primeros sensores (Tinker, 2000). El primer experimento fue el de la curva de enfriamiento, en el que la temperatura de una muestra de naftaleno se recogía con un termopar y se amplificaba con un circuito sencillo, cuya salida generaba una señal que podía mostrar el historial de temperatura de la sonda en un osciloscopio. Este experimento se convirtió en un poderoso ejemplo del potencial educativo de los ordenadores como instrumentos de laboratorio ya que la curva de enfriamiento se construía en tiempo real, lo

que ayudaba al estudiante a relacionar las características de la gráfica y el fenómeno físico que se estaba produciendo.

Tinker comprendió que los LAO representaban una de las más valiosas contribuciones de los ordenadores a la educación. Conectando sensores a un ordenador y ejecutando el software adecuado, el alumnado puede observar datos en tiempo real en una variedad de formatos. Cuando esto sucede en un entorno de aprendizaje basado en la indagación, esta contribución puede aumentar significativamente y acelerar el aprendizaje.

Tinker (2000) también reflexiona sobre los argumentos expuestos en contra del uso de los sensores en la enseñanza:

- El primer argumento de los escépticos es que, mediante la automatización del laboratorio, se disminuye la interacción estudiante-aprendizaje. No se trata de automatizar procedimientos de laboratorio, sino de utilizar buenos experimentos que permitan al estudiante decidir qué medir y cómo interpretar los resultados. El papel de los LAO es disminuir la monotonía y aumentar el número de estudiantes que puedan llevar a cabo una investigación.
- El segundo argumento en contra es que “el sufrimiento es bueno”, como puede verse en frases como: *“Yo he aprendido a hacer gráficas por el difícil camino de copiar largas listas de números, así que ¿por qué deberíamos hacerlo más fácil para los niños perezosos de hoy?”* Esta actitud ayudaría a explicar por qué tantos niños pierden interés por la ciencia.
- El argumento más serio contra los sensores es que sensores, electrónica, informática, e incluso la pantalla del ordenador, son una serie de “cajas negras” que los estudiantes no deberían ni siquiera tratar de entender. Se trata de que los estudiantes usen sondas con eficacia, lo único que necesitan entender es la relación entre la entrada y la salida de datos. De hecho, la dilatación del alcohol rojo en un termómetro es también una caja negra. La ciencia está llena

de cajas negras y parte de ser un científico es centrarse en lo que es importante y dejar el resto a los demás.

Uno de los sensores más importantes para el desarrollo de los LAO fue el detector de movimiento por ultrasonidos. Este hacía uso de una cámara de Polaroid que incorporaba enfoque automático y que emitía un impulso ultrasónico, que chocaba con el objeto y cuando se detectaba el eco, el motor cambiaba el enfoque de la lente activando el disparador para tomar una fotografía. Intentando aprovechar su inversión en esta tecnología, Polaroid creó un kit de experimentos que sugería otras aplicaciones. Tinker compró estos kits y, con la ayuda de Jim Pegra (profesor de física que se tomó un año sabático para poner en marcha los sensores de movimiento), consiguió vincular el detector ultrasónico con un ordenador Apple. Pegra preparó un programa sencillo de gráficos de posición, velocidad y aceleración frente al tiempo. Este detector de movimiento ultrasónico generó una gran excitación entre los físicos e inició muchas investigaciones (Tinker, 2000).

En la primera de ellas (Barclay, 1985), se investigan los principales errores de interpretación de gráficas y cómo el uso del LAO puede ayudar a los estudiantes a adquirir destrezas en gráficas. En este trabajo se encuentra, además, que el principal error que cometen es confundir la gráfica del evento con un dibujo del mismo y que esta confusión se puede evitar con datos tomados en tiempo real de movimientos realizados en el laboratorio con sensores y un software, ya que la retroalimentación permite a los estudiantes relacionar la gráfica con el evento que ellos realizan. Destaca, además, que el LAO incluye tres formas de experimentar con el material: visual, kinestésico y analítico.

Otra investigación (Mokros y Tinker, 1987) introduce la idea de que sean los propios estudiantes los que se paseen delante del sensor mientras observan la gráfica de su movimiento (corporeización). Encontraron que, de esta manera, los estudiantes aprenden a interpretar gráficas más rápidamente. Añaden que, aunque habitualmente los estudiantes aprenden a construir gráficas antes de entenderlas, lo que consiste en convertir un

conjunto de pares de números en un gráfico, la construcción de gráficos es independiente de la interpretación gráfica, por lo que los estudiantes pueden interpretar gráficos sin ser capaces de producirlos.

Los experimentos con LAO muestran ser muy efectivos, mejorando las destrezas del alumnado de secundaria. Brasell y Heather (1987) muestran evidencias de que un periodo de tratamiento tan corto como una hora de clase trabajando con los sensores de movimiento fue suficiente para que los estudiantes mejoraran su comprensión de las gráficas de posición y velocidad, comparado con el aprendizaje de gráficas con papel y lápiz. La mayor parte de la mejora se atribuye a la característica de que la gráfica aparece en tiempo real al mismo tiempo que se produce el movimiento. De hecho, un retraso de 20-30 segundos entre el movimiento y la visualización de la gráfica inhibe casi todo el aprendizaje.

Tras este estudio, Beichner (1990) realizó una investigación para averiguar qué aspecto concreto de los experimentos en tiempo real mejoraba las habilidades de los alumnos en interpretar gráficas de cinemática. Él supuso que el mero hecho de reproducir un movimiento en forma de imágenes de vídeo y la visualización simultánea de la gráfica correspondiente a ese movimiento permitirían a los estudiantes aprender significativamente más que con laboratorios tradicionales de cinemática (con técnicas estroboscópicas). Su hipótesis resultó errónea, si bien los estudiantes obtuvieron puntuaciones más altas en el post-test, la diferencia no fue suficiente para ser estadísticamente significativa. Concluyó que debe ser el control inmediato del movimiento y su representación gráfica por parte del estudiante lo que hace realmente efectivo al LAO. La manipulación directa es el componente más importante de la experiencia de aprendizaje con LAO.

En esta línea, Brungardt y Zollman (1995) se plantean que la visualización de imágenes grabadas en un vídeo sí puede mejorar las habilidades del alumnado con las gráficas, aunque no sea en tiempo real. La experimentación

no va a ser manual, en el sentido de que el alumnado no utiliza sensores ni realiza ningún movimiento, pero el evento puede ser muy motivador ya que se usaron grabaciones de deportistas corriendo o jugando al baloncesto. Los autores se preguntan si la naturaleza manipulativa de los LAO y el hecho de que el propio estudiante sea el objeto de investigación al moverse con su cuerpo delante del sensor es la causa del éxito de las investigaciones anteriores porque, de esta manera, el estudiante está involucrado con el dominio psicomotor, en vez de con el dominio cognitivo y afectivo, según los dominios o taxonomías de Bloom, Engelhart y Furst (1972). Los vídeos que utilizan en su investigación no tienen esa componente cinestésica, por lo que pueden ayudar a averiguar si trabajar simultáneamente o con un retraso en el tiempo mejora el aprendizaje. Trabajaron con dos grupos: unos veían el vídeo al mismo tiempo que las gráficas y otros veían el vídeo y unos segundos después, la gráfica. No obtuvieron diferencias significativas entre los resultados de los dos grupos, aunque la puntuación general de los que trabajaban simultáneamente resultó superior a los que trabajaban con retardo. Por tanto, están de acuerdo con Beichner (1990): la manipulación directa es el componente más importante de la experiencia de aprendizaje con LAO.

Unos grandes defensores de los sensores de movimiento son Thornton y Sokoloff (1990), que proponen una determinada manera de usarlos experimentalmente:

1. Pedir al alumno ir y venir delante del detector de movimiento mientras observa la gráfica resultante posición-tiempo. Dada una gráfica directamente en la pantalla, tratar de igualar ese gráfico caminando hacia adelante y hacia atrás.
2. Analizar los gráficos de posición-tiempo del movimiento de objetos inanimados.
3. Repetir el paso 1 con la gráfica velocidad-tiempo.
4. Repetir el paso 2 con la gráfica velocidad-tiempo.
5. Repetir el paso 1 con la gráfica aceleración-tiempo.

6. Repetir el paso 2 con la gráfica aceleración-tiempo.

Sokoloff y Thornton (1997) continuaron estudiando esta secuencia en muchos contextos. Constantemente vieron que los estudiantes aprenden mejor los conceptos cualitativos de cinemática (y dinámica) a través de esta secuencia que de cualquier otra combinación de laboratorios tradicionales, conferencias, tareas y demostraciones. Afirman que hay claras evidencias de que el aprendizaje y la retención hecha por estudiantes que usaron los sensores es significativamente mejor que la de aquellos que han sido enseñados en clase tradicional.

Svec (1999) va un poco más lejos y busca la relación entre el aprendizaje de contenidos y las habilidades interpretando gráficas, es decir, partiendo de la premisa de que el LAO mejora las destrezas con las gráficas, investiga si el alumnado aplica el contenido en otros problemas que no sean de gráficas, lo que indicaría un aprendizaje realmente significativo y que se ha generado un cambio conceptual en el alumnado. Los resultados de su investigación muestran diferencias significativas entre el laboratorio tradicional y el LAO, siendo los sensores mucho más efectivos generando cambio conceptual en los estudiantes. Además, añade que la preconcepción dominante que los estudiantes traen al aula es la no diferenciación entre los conceptos de posición, velocidad y aceleración. Tienen una variedad de experiencias sobre las que han construido sus propios conceptos y su conocimiento consiste en una superposición, malinterpretación y pseudodefinición de las variables cinemáticas que pueden funcionar en algunas ocasiones, pero que no son generalizables. El LAO provee de un excelente entorno para dirigir las preconcepciones de los estudiantes porque pueden probar sus propias teorías con gráficas rápidas y fáciles de comprender.

Hale (2000) estudia la eficacia del uso de LAO para que los alumnos superen sus dificultades en la interpretación de gráficas de cinemática. Concluye que el LAO suministra una potente herramienta que fomenta la oportunidad de discusión alumno-alumno y alumno-profesor y sugiere que

en el uso de LAO es fundamental el discurso que utilice el profesor como una sutil guía que conduzca al alumno hacia el concepto correcto.

Russell, Lucas y McRobbie (2004), preocupados por la escasez de profesores que utilizaban el LAO, realizaron una investigación que tenía como objetivo aumentar la comprensión de cómo las actividades con LAO, específicamente diseñadas para ser compatibles con una teoría constructivista del aprendizaje, apoyan o limitan la comprensión de conceptos por parte de los estudiantes. Las fuentes de datos incluyen grabaciones de vídeo y audio, gráficas de alumnos, notas escritas, entrevistas semiestructuradas y el diario del profesor. El resultado de esta investigación es recomendar la incorporación de actividades de LAO para catalizar la construcción del aprendizaje.

Hoy en día, las propuestas didácticas para la enseñanza de la física que incluyen el uso de un ordenador utilizan softwares cada vez más complejos para facilitar la construcción del conocimiento por parte del alumnado (Araujo, Veit y Moreira, 2008). Destacan cuatro modalidades: tutoriales (*Interactive Journey Through Physics, The Particle Adventure, etc.*), recopiladores de datos (*Science Workshop, Real Time Physics, VideoPoint, etc.*), simulaciones (*Interactive Physics, xyZET, Graphs and Tracks, Java Applets, etc.*) y modelizadores (*Stella, Dynamo, PowerSim, Cellular Modeling System, Modellus, etc.*).

Araujo et al. (2008) centran su investigación en este último, *Modellus*, que no requiere conocimientos previos de programación y que ven como una herramienta interesante para hacer frente a los modelos físicos. Consideran los modelos físicos como descripciones simplificadas e idealizadas de otros sistemas o fenómenos físicos, aceptadas por la comunidad científica y que implican elementos como representaciones externas, proposiciones semánticas y modelos matemáticos subyacentes. Fundamentan sus hipótesis en los resultados obtenidos por Beichner (1990) y Brassel (1987): el factor que marca la superioridad del LAO, comparado con la enseñanza tradicional,

es la interacción del estudiante con el experimento y la observación simultánea de las gráficas del movimiento real. Los resultados de su investigación muestran que hubo una mejora estadísticamente significativa entre el grupo experimental y el grupo que recibió una metodología de enseñanza convencional. La percepción de los estudiantes con respecto a la relación entre conceptos y matemáticas, así como la motivación hacia el aprendizaje originado por las actividades planteadas, jugó un papel fundamental en estos hallazgos.

Otro exitoso estudio (Deniz y Dulger, 2012) también obtiene como resultado que hay una ventaja significativa entre usar un software con gráficas en tiempo real frente al laboratorio tradicional a la hora de interpretar gráficas en cinemática. Los autores sugieren que la enseñanza de la ciencia debe ser apoyada por los LAO y los docentes ser entrenados para conseguir ser competentes e integrarlos en su enseñanza. Así, la efectividad de los LAO debe ser atribuida a tres factores diferentes: primero, el LAO da a los estudiantes la oportunidad de ver las gráficas mientras se produce el experimento; segundo, el ordenador permite terminar las tareas antes que con el laboratorio tradicional, por lo que los estudiantes que usan LAO pueden emplear más tiempo observando, reflexionando y discutiendo los resultados; tercero, los estudiantes muestran mucho más entusiasmo por la ciencia trabajando con estos equipos ya que el movimiento en la pantalla del ordenador captura la atención del alumno (Deniz y Dulger, 2012).

Otras investigaciones que apoyan el uso de simulaciones (applets) muestran como resultados grandes cambios en la comprensión conceptual de la física (Jimoyiannis y Komis, 2001; Olympiou y Zacharia, 2012; Psycharis, 2011). El alumnado que trabaja con las simulaciones obtiene puntuaciones significativamente más altas en los tests que aquellos que no las usaron.

En otro estudio, Anderson y Wall (2016) se preguntan cómo el uso del sensor Kinect de la consola Xbox puede mejorar la habilidad de interpretar gráficas de cinemática. Los resultados de esta investigación muestran que un

enfoque complementario que incluya el uso de actividades manipulativas y este sensor de movimiento puede ser una poderosa técnica para ayudar a los estudiantes en el aprendizaje de la cinemática. El uso de visualizaciones y simulaciones tiene la capacidad de sumergir a los estudiantes en el estudio de conceptos científicos que no les son familiares y, mediante el juego, se interesan por la comprensión de temas como la velocidad y la aceleración. Sin embargo, concluyen los autores, muchas visualizaciones y simulaciones no están diseñadas para que el estudiante pueda articular las leyes de Newton o para ampliar las ideas que van surgiendo. Por tanto, es un reto el uso de estas simulaciones para lograr el aprendizaje. No obstante, sus ventajas son que promueven la autonomía, aumentan la conciencia de sus propias acciones, mejoran el pensamiento creativo y fomentan la reflexión sobre la acción (Anderson y Wall, 2016).

Una investigación llevada a cabo por Orero, Solbes y Esteve (2018) con alumnado de 2º de ESO, obtuvo una mejora estadísticamente significativa entre los resultados del post-test y el pre-test con una única sesión de laboratorio en la que el alumnado se movía delante del sensor al mismo tiempo que visualizaba la gráfica en la pantalla. En ese estudio, nos planteamos mejorar la principal dificultad en esas edades, que es confundir la forma de la gráfica con la trayectoria del movimiento (error llamado *“graphic as a picture”* por Beichner (1994). El alumnado se familiarizaba rápidamente con el uso del sensor y relacionaba el movimiento de su cuerpo con la gráfica posición-tiempo. En la última parte de la intervención, se pedía al alumnado que produjera movimientos acordes a unas gráficas ya dadas, y era sorprendente con qué facilidad conseguían este objetivo. Así comprobamos la eficacia de los sensores de movimiento en el aprendizaje de la interpretación gráfica.

El creciente interés del alumnado por los smartphones y las tablets ha fomentado su uso para realizar prácticas en el aula o en el laboratorio. En estos casos se utilizan algunos de los sensores que llevan incorporados estos dispositivos (giroscopio, acelerómetro, sensor de luz, magnetómetro,

barómetro, podómetro, sensor de infrarrojo, etc.) y las aplicaciones informáticas (apps) que permitan acceder a los datos registrados por el sensor. Así, en los últimos años encontramos numerosos trabajos en los que se utilizan estos sensores: la máquina de Atwood (Monteiro, Stari, Cabeza y Marti, 2015), colisiones elásticas e inelásticas (Vogt y Kuhn, 2014), osciladores acoplados (Castro-Palacio, Velázquez-Abad, Giménez y Monsoriu, 2013), fuerzas en un parque de atracciones (Vieyra y Vieyra, 2014), oscilaciones de un muelle (Kuhn y Vogt, 2012) y movimiento circular, estudiando la aceleración angular y su dependencia lineal con la distancia al centro de giro (Hochberg, Gröber, Kuhn y Müller, 2014).

No obstante, hay escasos trabajos en la bibliografía reciente en los que se haya comprobado la eficacia de este tipo de experiencias en el aprendizaje de la Física por parte del alumnado. Un estudio llevado a cabo por Esteve, Benavent y Solbes (2019) utiliza el acelerómetro del smartphone como sensor y la app Physics Toolbox Sensor Suite en el diseño de una secuencia de actividades para mejorar el aprendizaje del alumnado sobre la caída libre. La evaluación de esta propuesta con un diseño pre-post muestra muy buenos resultados.

3 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS

Para contrastar la primera hipótesis se prepara un cuestionario de interpretación de gráficas de cinemática.

Los estudios anteriores muestran la eficacia del TUG-K (Beichner, 1994) como herramienta para evaluar las destrezas del alumnado interpretando gráficas de cinemática. Beichner sometió el TUG-K a muchos análisis estadísticos para asegurarse de que era un instrumento fiable para evaluar la comprensión, por parte del alumnado, de las gráficas de cinemática. Obtuvo un valor de Kuder-Richardson-20 (KR-20) de 0.83. Además, en la fase de preparación del test pidió a muchos educadores que le dieran retroalimentación sobre los ítems para asegurar la validez del contenido.

Guidugli, Gauna y Benegas (2005) estudian la eficacia de aprendizajes activos frente a la enseñanza tradicional de la cinemática en estudiantes de secundaria de décimo grado (16 años). Su método se basa en la idea de que los estudiantes deben primero experimentar y comprender los conceptos de cinemática de una manera sensorial. Utilizaron el TUG-K de Beichner para evaluar y obtuvieron unos resultados muy buenos del grupo de enseñanza activa: el doble de calificación que los de enseñanza tradicional.

Alvarez et al. (2008), Bowen y Roth (2005) y Diosa Ochoa (2015) utilizan también el TUG-K en sus investigaciones sobre el uso de simuladores de cinemática, obteniendo siempre mejores resultados en el grupo experimental que en el control.

Tejeda y Alarcón (2012) utilizan el TUG-K como pretest y postest para evaluar la mejora en la interpretación de gráficas de cinemática. Crearon una actividad de tipo tutorial que ayuda a los estudiantes a pensar por sí mismos y a construir su propio conocimiento. Los resultados muestran una mejora en los objetivos 3 y 4 del TUG-K.

Maries y Singh (2013) llevan a cabo un estudio con estudiantes de primer año de física que están matriculados en un curso de formación como asistentes de profesor. Para cada ítem del TUG-K se les pide que identifiquen cuáles de las respuestas incorrectas van a ser más comúnmente elegidas por estudiantes del curso preparatorio de física. Primero trabajaron individualmente, luego en grupos de 2 o 3 y, finalmente, se compararon los resultados de toda la clase. Las conclusiones de la investigación es que se obtienen mejores resultados si se trabaja en grupos de 2 o 3 estudiantes que si lo hacen individualmente. Esto se debería tener en cuenta en la formación de profesorado: trabajar las posibles dificultades de los estudiantes en grupos de 2 o 3 funciona mejor que individualmente. Como los participantes en el estudio no aciertan en escoger las respuestas incorrectas más comunes, se muestra que no entienden dónde están las dificultades de los estudiantes. En otras palabras, es un reto para los instructores entender la perspectiva de sus estudiantes a menos que se les haya hecho ser conscientes o estén familiarizados con la investigación en didáctica.

Perez-Goytia, Dominguez y Zavala (2010) tratan de buscar un instrumento para evaluar las habilidades de los estudiantes cuando interpretan gráficas de una función y su derivada. Para ello se basan en el TUG-K y cambian los enunciados de manera que desaparece toda alusión a cinemática. Obtienen así el TUG-C (*Test of Understanding Graphs in Calculus* en inglés). El test se pasa a 526 estudiantes de nivel universitario en un curso introductorio de física, la mitad hacen el TUG-K y la otra mitad hacen el TUG-C y se comparan los resultados. Los resultados muestran que el contexto influye. Hay una notable diferencia entre la distribución de respuestas incorrectas entre el TUG-K y el TUG-C. En la versión de cinemática, la opción correspondiente a calcular la velocidad incorrectamente dividiendo posición/tiempo es la más elegida, sin embargo, en la versión de cálculo, la respuesta incorrecta más atractiva es la de leer el valor de la ordenada directamente de la gráfica sin calcular la pendiente. Pero las respuestas correctas son similares en ambos tests, es por esto que se propone el TUG-C

como una potente herramienta para medir las habilidades gráficas de interpretar una función y su derivada.

Además, Zavala, Tejeda, Barniol y Beichner (2017) realizan modificaciones en algunas cuestiones del TUG-K, añadiendo y quitando distractores (opciones de respuesta falsa) que representan las ideas alternativas más frecuentes. La versión modificada (TUG-K 4.0), después de un proceso iterativo que llevó 2 años y supuso cuatro pases del test a 471 estudiantes de un curso de física introductorio a la universidad, añadió poder discriminatorio y fiabilidad a la versión anterior. El cuestionario utilizado en nuestra investigación se ha basado en esta versión 4.0 del TUG-K.

3.1 DISEÑO DEL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO

En primer lugar, se analizan las cuestiones del TUG-K 4.0 (Zavala, Tejeda, Barniol y Beichner, 2017) para ver si son adecuadas en nuestra investigación.

El TUG-K consta de 26 cuestiones distribuidas en 7 objetivos:

- 1) Determinar la velocidad a partir de la gráfica posición-tiempo.
- 2) Determinar la aceleración a partir de la gráfica velocidad-tiempo.
- 3) Determinar el desplazamiento a partir del área en la gráfica velocidad-tiempo.
- 4) Determinar cambios en la velocidad a partir de la gráfica aceleración-tiempo.
- 5) Seleccionar la gráfica que corresponde a otra dada.
- 6) Seleccionar una descripción textual que se corresponda con la gráfica dada.
- 7) Seleccionar la gráfica correspondiente a la descripción textual dada.

Sin embargo, de estos 7 objetivos, el 3 y el 4 no se estudian en 4º de ESO, por lo que en el diseño del cuestionario de diagnóstico se han eliminado los ítems correspondientes a esos objetivos, quedando 20 ítems distribuidos en los objetivos siguientes:

- 1) Determinar la velocidad a partir de una gráfica posición-tiempo, $x=f(t)$.
- 2) Determinar la aceleración a partir de una gráfica velocidad-tiempo, $v=f(t)$.
- 3) Seleccionar la gráfica correspondiente a partir de una gráfica determinada.
- 4) Seleccionar la descripción textual correspondiente a una gráfica determinada.
- 5) Seleccionar la gráfica correspondiente a una descripción textual determinada.

En la Tabla 6 se muestran los 20 ítems del cuestionario de diagnóstico utilizado en este trabajo con sus correspondientes objetivos. Se trata de un cuestionario de opción múltiple con 5 posibles respuestas (A, B, C, D, E), que se detallan en el apartado siguiente.

Tabla 6. Cuestionario de diagnóstico.

ÍTEM	OBJETIVO	CUESTIÓN
1	2	dada una gráfica $v = f(t)$, determinar aceleración
2	4	dada una gráfica, seleccionar descripción textual
3	1	dada una gráfica $x = f(t)$, determinar la velocidad
4	2	dada una gráfica $v = f(t)$, determinar aceleración
5	2	dada una gráfica $v = f(t)$, determinar aceleración
6	4	dada una gráfica, seleccionar descripción textual
7	5	dada una descripción textual, seleccionar gráfica
8	3	dada una gráfica, seleccionar otra correspondiente
9	5	dada una descripción textual, seleccionar gráfica
10	1	dada una gráfica $x = f(t)$, determinar la velocidad
11	3	dada una gráfica, seleccionar otra correspondiente
12	3	dada una gráfica, seleccionar otra correspondiente
13	4	dada una gráfica, seleccionar descripción textual
14	1	dada una gráfica $x = f(t)$, determinar la velocidad
15	5	dada una descripción textual, seleccionar gráfica
16	3	dada una gráfica, seleccionar otra correspondiente
17	5	dada una descripción textual, seleccionar gráfica
18	4	dada una gráfica, seleccionar descripción textual
19	4	dada una gráfica, seleccionar descripción textual
20	5	dada una descripción textual, seleccionar gráfica

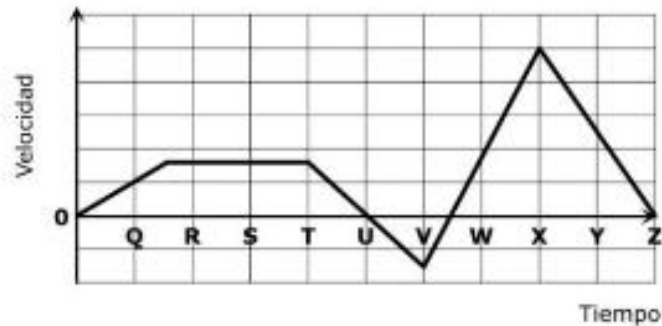
3.2 CRITERIOS DE VALORACIÓN DE LOS ÍTEMS DEL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO

Las respuestas a cada una de las cuestiones planteadas en el cuestionario de diagnóstico han sido categorizadas en correctas (1) e incorrectas (0), por lo que la puntuación total máxima es 20 y la mínima, 0.

Cuestión 1

1- ¿Cuándo es más negativa la aceleración?

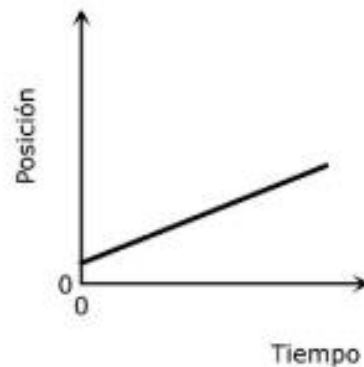
- 1- Desde V hasta X
- 2- Desde T hasta V
- 3- En V
- 4- En X
- 5- Desde X hasta Z



- Opción (A): Esta es la opción al azar, no tiene ningún sentido y su elección muestra al estudiante que elige de forma aleatoria.
- Opción (B): Esta opción representa haber entendido que la aceleración es la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo, pero el tramo que baja al 4º cuadrante, parece inexorablemente más negativo.
- Opción (C): Esta opción representa el error de confundir la pendiente con la ordenada, por lo que se elige el punto donde la ordenada es más negativa.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.
- Opción (E): Opción correcta.

Cuestión 2

2- La figura adjunta muestra la gráfica de movimiento de un objeto.



¿Cuál de las siguientes es la mejor interpretación?

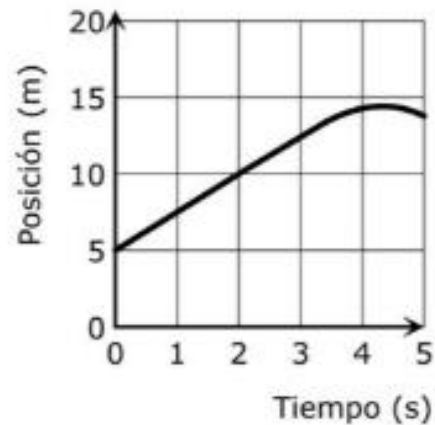
- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante y distinta de cero.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) El objeto se mueve con una aceleración que aumenta uniformemente.

- Opción (A): Respuesta aleatoria.
- Opción (B): Respuesta aleatoria.
- Opción (C): Esta opción representa el error más frecuente encontrado en este objetivo. Consiste en elegir la opción que contenga las palabras “aumenta uniformemente”, independientemente de la magnitud representada. La visión de la forma de la gráfica es más determinante para escoger respuesta que el posible razonamiento sobre qué tipo de movimiento está representado. Una imagen vale más que mil palabras y aquí, una imagen vale más que cualquier razonamiento. A este error le hemos llamado confusión visual.
- Opción (D): Opción correcta.
- Opción (E): Mismo error que opción (C). Confusión visual.

Cuestión 3

3- La velocidad en el instante $t = 2$ s es:

- (A) 0.5 m/s
- (B) 8.5 m/s
- (C) 2.5 m/s
- (D) 5.0 m/s
- (E) 10.0 m/s

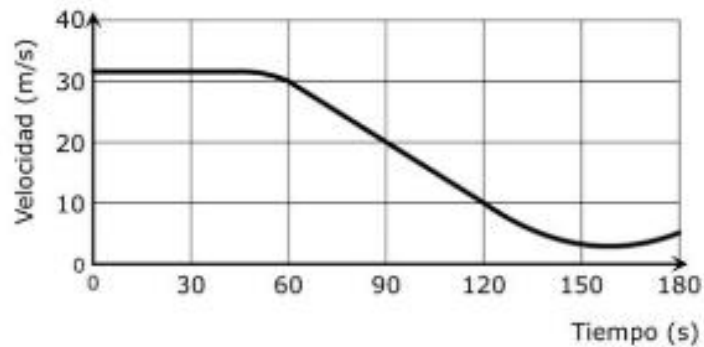


- Opción A: Escoger esta opción significa que se ha calculado la pendiente contando directamente cuadritos, sin fijarse en la distinta escala de los ejes.
- Opción B: Respuesta aleatoria.
- Opción C: Esta es la correcta.
- Opción D: Escoger esta opción significa que el estudiante calcula la velocidad como cociente entre posición y tiempo, en vez de calcular el cociente entre los incrementos de ambas magnitudes.
- Opción E: Este error es más grave que el anterior, puesto que ni siquiera se calcula el cociente. Se lee la gráfica sin importar la magnitud representada en el eje, como si se tratara de un gráfico matemático. Dada la abscisa (tiempo), suben a la gráfica y buscan su correspondiente valor para la ordenada (posición), y lo dan como valor de la velocidad.

Cuestión 4

4- La gráfica adjunta muestra la velocidad en función del tiempo para un automóvil de masa $1.5 \cdot 10^3$ Kg. ¿Cuál era su aceleración a los 90 s?

- (A) -0.22 m/s^2
- (B) -0.33 m/s^2
- (C) -1.0 m/s^2
- (D) -2.0 m/s^2
- (E) 20 m/s^2



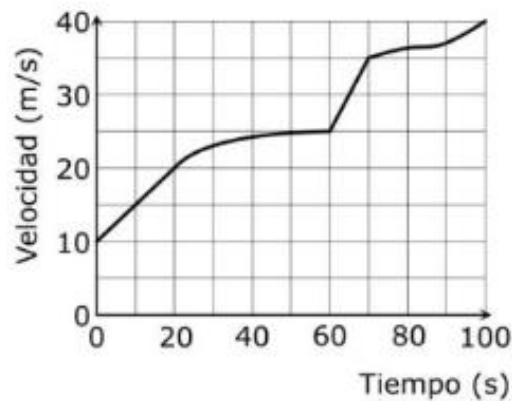
- Opción (A): Esta opción corresponde al error de calcular la aceleración como cociente entre velocidad y tiempo, en vez de cociente entre incrementos de ambas magnitudes.
- Opción (B): Esta es la correcta.
- Opción (C): Esta opción corresponde al error de contar cuadritos para calcular la pendiente, sin tener en cuenta la escala de los ejes.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.
- Opción (E): Esta opción corresponde a la dificultad de discriminar entre la pendiente y la ordenada. Buscan el valor de abscisa $t = 90$ s, suben a la gráfica y leen la ordenada correspondiente, que es 20, y la dan como valor de aceleración.

Cuestión 5

5- La gráfica muestra el movimiento de un objeto que se mueve en línea recta.

En el instante $t = 65$ s, la aceleración instantánea del objeto tiene un valor aproximado de:

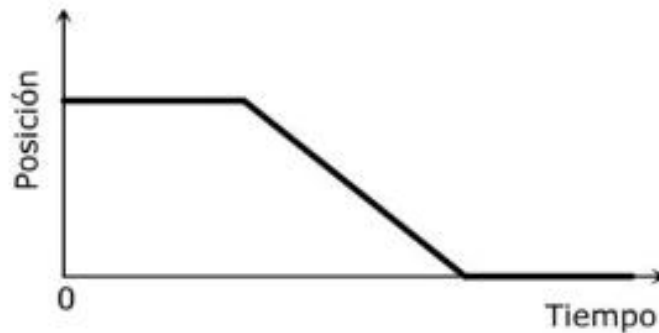
- (A) 1.0 m/s^2
- (B) 2.0 m/s^2
- (C) 0.46 m/s^2
- (D) 30 m/s^2
- (E) 34 m/s^2



- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta opción corresponde al error de contar cuadritos para calcular la pendiente, sin tener en cuenta la escala de los ejes.
- Opción (C): Esta opción corresponde al error de calcular la aceleración como cociente entre velocidad y tiempo, en vez de cociente entre incrementos de ambas magnitudes.
- Opción (D): Esta opción corresponde a la dificultad de discriminar entre la pendiente y la ordenada. Buscan el valor de abscisa $t = 65$ s, suben a la gráfica y leen la ordenada correspondiente, que es 34, y la dan como valor de aceleración.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 6

6- La gráfica adjunta muestra el movimiento de un objeto.



¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?

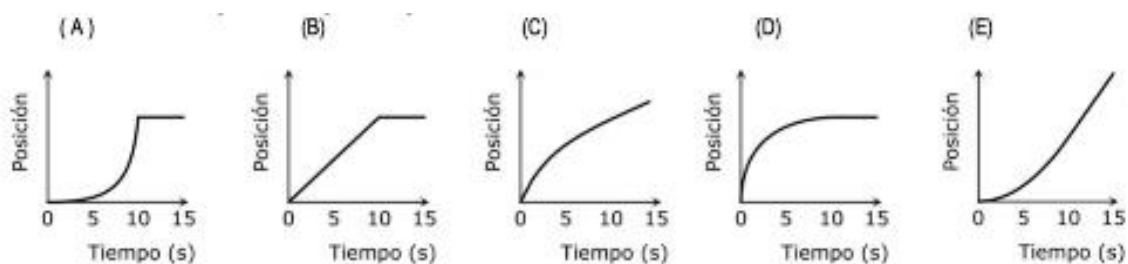
- (A) El objeto rueda sobre una superficie horizontal, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (B) El objeto no se mueve al principio, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (C) El objeto se mueve a velocidad constante, después frena hasta que se para.
- (D) El objeto no se mueve al principio, después se mueve hacia atrás y finalmente se para.
- (E) El objeto se mueve sobre una superficie horizontal, luego se mueve hacia atrás por una pendiente y después sigue moviéndose.

- Opción (A): Esta opción representa la dificultad de confundir la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil. Esta dificultad ha sido descrita en el marco teórico y su estudio formó parte del TFM que hicimos en el 2012 con alumnado de 2ºESO. Es una dificultad muy básica entre alumnado más joven que no ha estudiado nunca cinemática. El uso de sensores de movimiento ayuda mucho a superar esta dificultad.

- Opción (B): Misma dificultad que opción (A). Aparece la expresión “cae rodando” como si la gráfica fuera una fotografía de la trayectoria del movimiento.
- Opción (C): Esta opción correspondería a la confusión visual. Ven algo que se mantiene constante, luego disminuye y luego vale cero, y no se fijan en la magnitud representada. Si estuviera representada la velocidad, esta opción sería correcta.
- Opción (D): Ésta es la opción correcta.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 7

7- Un objeto que estaba en reposo comienza a moverse con una aceleración positiva y constante durante 10 segundos. Después continúa con velocidad constante. ¿Cuál de las gráficas siguientes describe correctamente dicha situación?

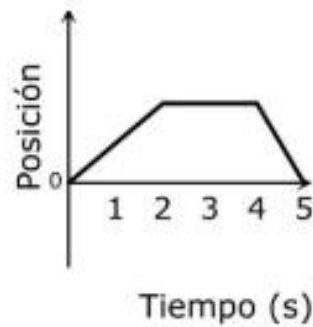


- Opción (A): Esta opción en el segundo tramo representa la confusión visual, ya que buscan que algo sea constante.
- Opción (B): Esta opción representa estudiantes que asocian el concepto de aceleración a cambio y luego eligen que algo sea constante, es decir, otra vez confusión visual.
- Opción (C): Esta opción es muy parecida a la correcta, sólo cambia el signo de la aceleración y, por tanto, que la parábola es convexa en lugar de cóncava.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.

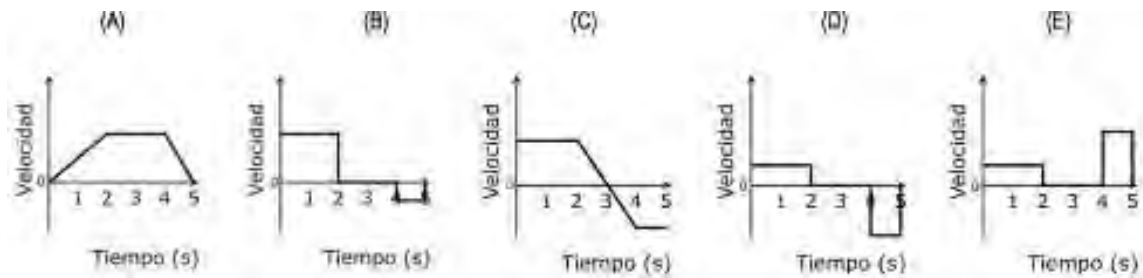
- Opción (E): Esta es la opción correcta.

Cuestión 8

8- La gráfica adjunta muestra el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo durante un intervalo de 5 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad en función del tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo?

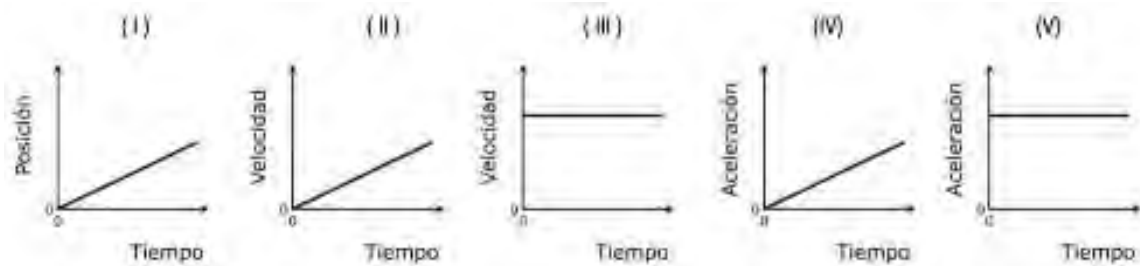


- Opción (A): Esta opción significa elegir la misma forma de la gráfica a pesar de que la magnitud representada en el eje de ordenadas es distinta. Muestra la dificultad para comprender que un mismo movimiento puede ser descrito por gráficas diferentes según la magnitud representada (posición, velocidad, aceleración).
- Opción (B): Esta opción es muy buena, es casi la correcta. Vamos a ver que en cada cuestión de este objetivo hay dos opciones casi iguales, una correcta y la otra no. La única diferencia es fijarse en los valores de las pendientes que aparecen, porque una es mayor que la otra.

- Opción (C): Respuesta aleatoria.
- Opción (D): Esta es la opción correcta.
- Opción (E): Esta opción significa no haber tenido en cuenta el signo de la pendiente.

Cuestión 9

9- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuáles de ellas representan un movimiento a velocidad constante?

- (A) Sólo I, II y IV.
- (B) Sólo I y III.
- (C) Sólo III.
- (D) Sólo III y V.
- (E) Sólo I, III y V.

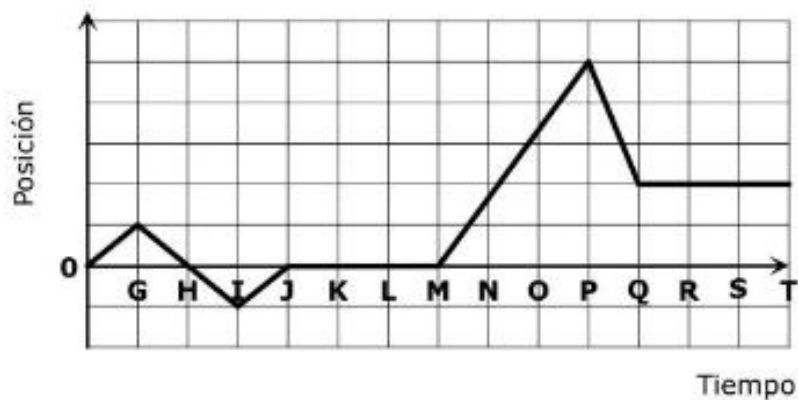
- Opción (A): Respuesta aleatoria.
- Opción (B): Esta es la opción correcta.
- Opción (C): Esta opción la hemos llamado “obvia” porque lo que ven coincide con lo que pide la cuestión. Pero en este caso no es la correcta porque hay otra gráfica que también representa velocidad constante, la (I).
- Opción (D): Esta opción representa confusión visual. Se eligen las gráficas que contienen algo constante, independientemente de la magnitud representada.

- Opción (E): Esta opción es muy parecida a la anterior, la D. Elige las dos gráficas en las que algo es constante, pero parece que han aprendido que cuando la posición aumenta uniformemente con el tiempo, significa velocidad constante.

Cuestión 10

10- La gráfica presenta el movimiento de un objeto en línea recta. ¿Cuándo es más negativa su velocidad?

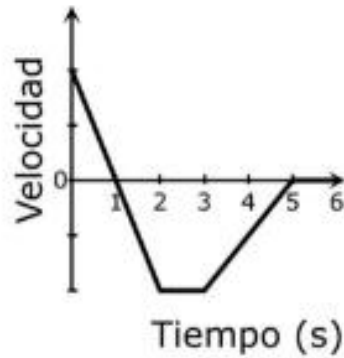
- (A) De P a Q.
- (B) En I.
- (C) De M a P.
- (D) De G a I.
- (E) En P.



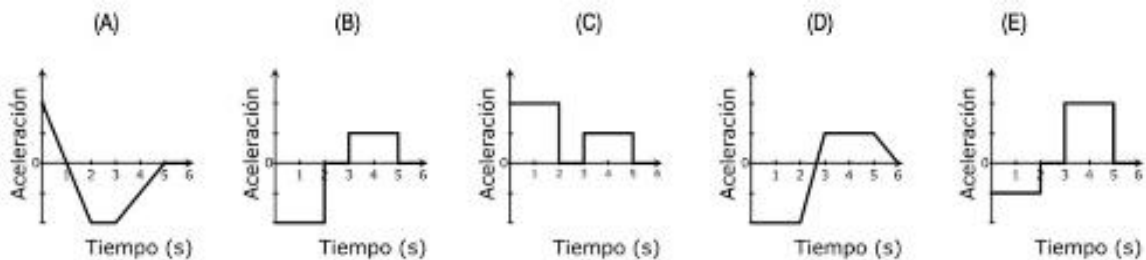
- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta opción representa el error de confundir la pendiente con la ordenada. Leen directamente la gráfica sin tener en cuenta la magnitud representada en el eje de ordenadas.
- Opción (C): Respuesta aleatoria.
- Opción (D): Esta opción representa una dificultad distinta a la opción (B), representa al estudiante que sí que identifica la velocidad con la pendiente de la gráfica posición-tiempo, pero el tramo que baja al 4º cuadrante, les parece que debe tener un valor más negativo.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 11

11- La gráfica siguiente muestra la velocidad en función del tiempo para un objeto durante un intervalo de 6 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de aceleración con respecto al tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo de tiempo?

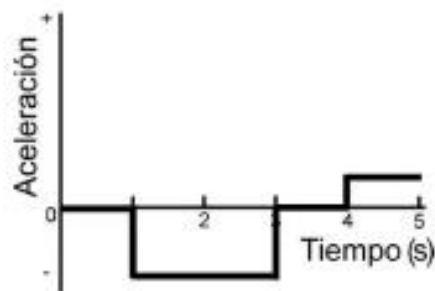


- Opción (A): Esta opción significa elegir la misma forma de la gráfica a pesar de que la magnitud representada en el eje de ordenadas es distinta. Muestra la dificultad para comprender que un mismo movimiento puede ser descrito por gráficas diferentes según la magnitud representada (posición, velocidad, aceleración).
- Opción (B): Esta es la opción correcta.
- Opción (C): Esta opción significa no haber tenido en cuenta el signo de la pendiente.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.

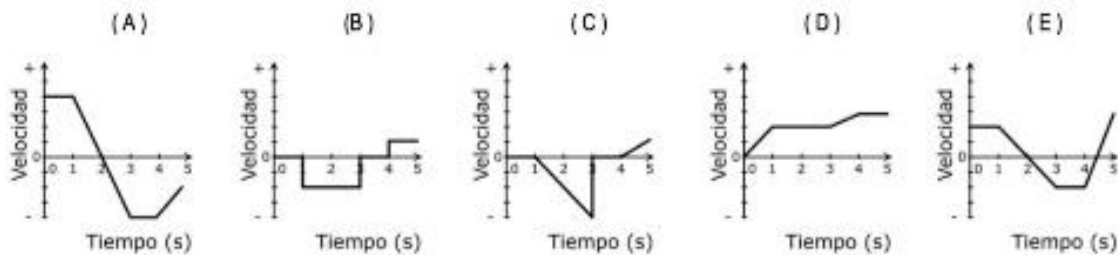
- Opción (E): Esta opción es muy buena, es casi la correcta. Vamos a ver que en cada cuestión de este objetivo hay dos opciones casi iguales, una correcta y la otra no. La única diferencia es fijarse en los valores de las pendientes que aparecen, porque una es mayor que la otra.

Cuestión 12

12- La gráfica representa la aceleración de un objeto en un intervalo de 5 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad con respecto al tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo?

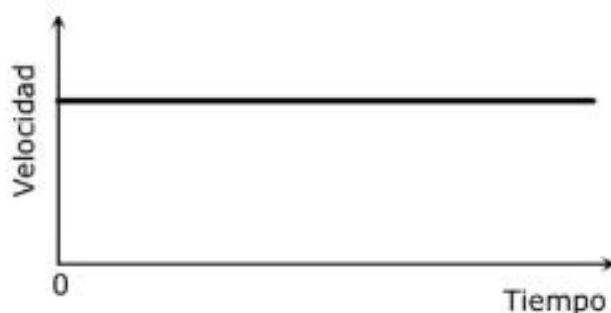


- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta opción significa elegir la misma forma de la gráfica a pesar de que la magnitud representada en el eje de ordenadas es distinta. Muestra la dificultad para comprender que un mismo movimiento puede ser descrito por gráficas diferentes según la magnitud representada (posición, velocidad, aceleración).
- Opción (C): Respuesta aleatoria.

- Opción (D): Esta opción significa no haber tenido en cuenta el signo de la pendiente.
- Opción (E): Esta opción es muy buena, es casi la correcta. Vamos a ver que en cada cuestión de este objetivo hay dos opciones casi iguales, una correcta y la otra no. La única diferencia es fijarse en los valores de las pendientes que aparecen, porque una es mayor que la otra.

Cuestión 13

13- En la gráfica se muestra la velocidad de un objeto que se mueve en una línea recta. Escoge la afirmación que represente al movimiento del objeto.



- (A) El objeto se mueve incrementando su posición uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (D) El objeto se mueve con aceleración constante diferente de cero.
- (E) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.

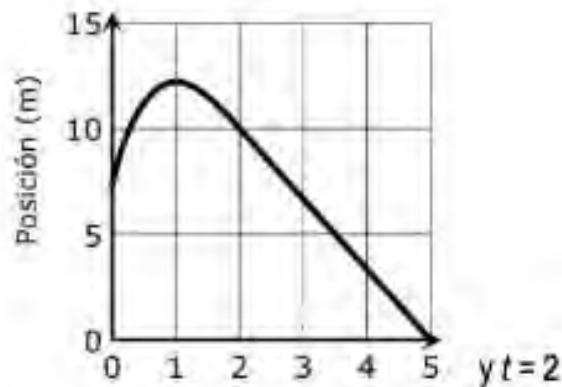
- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta opción correspondería a la confusión visual. Ven en la gráfica que algo se mantiene constante y eligen la frase que contenga esa palabra.
- Opción (C): Respuesta aleatoria.

- Opción (D): Esta opción correspondería a la confusión visual. Ven en la gráfica que algo se mantiene constante y eligen la frase que contenga esa palabra.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 14

14- La velocidad en el instante $t = 3s$ vale aproximadamente:

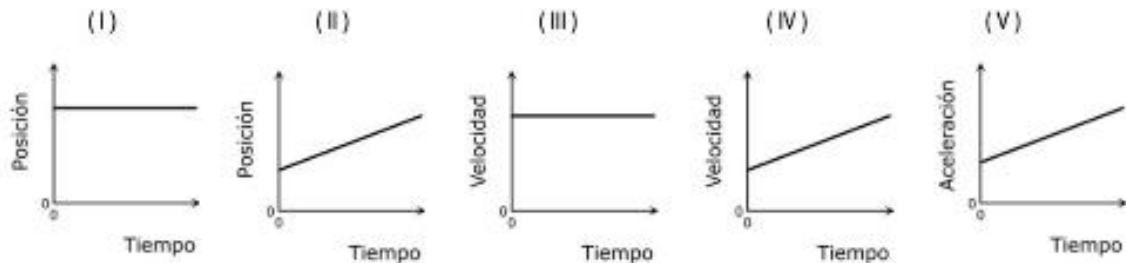
- (A) -3.3 m/s.
- (B) -2.0 m/s.
- (C) -0.67 m/s.
- (D) -2.3 m/s.
- (E) 7.0 m/s.



- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta es una respuesta aleatoria, aunque el valor se parece mucho a la respuesta (D). Como no se lee muy bien en la gráfica el valor de la ordenada a los 3 segundos, si toman 7 metros les da la respuesta (D), pero si toman 6 metros, les da esta respuesta.
- Opción (C): Esta opción corresponde a calcular la pendiente contando cuadritos sin fijarse en la escala de los ejes.
- Opción (D): Esta opción significa que calcula la velocidad como cociente entre posición y tiempo, en vez de calcular el cociente entre los incrementos de ambas magnitudes.
- Opción (E): Este es un error más grave que el anterior puesto que ni siquiera se calcula el cociente. Se lee la gráfica directamente, es decir, se busca el valor de la abscisa ($t = 3s$), se sube a la gráfica y se lee en el eje de ordenadas el valor de la posición y lo dan como respuesta de velocidad.

Cuestión 15

15- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



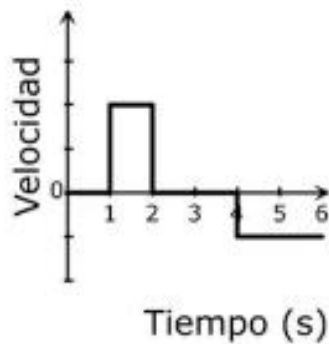
¿Cuáles de ellas representan un movimiento de un objeto en que su aceleración se incrementa uniformemente?

- (A) Sólo II y III.
- (B) Sólo IV y V.
- (C) Sólo V.
- (D) Sólo II, IV y V.
- (E) Sólo IV.

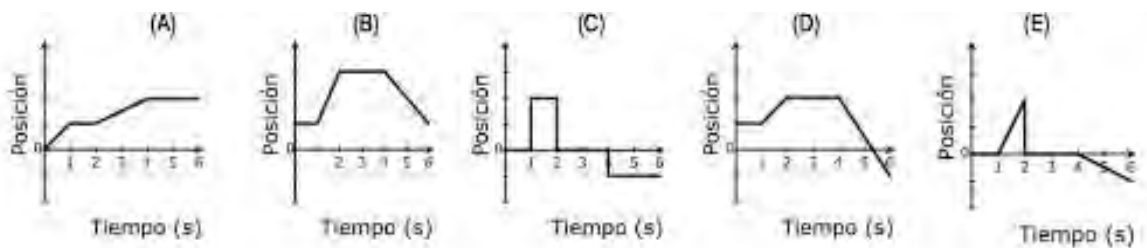
- Opción (A): Respuesta aleatoria.
- Opción (B): Esta opción representa la confusión visual. Eligen gráficas donde algo se incrementa uniformemente.
- Opción (C): Esta es la opción "obvia" y en este caso, coincide con la correcta, puesto que sólo hay una gráfica que se ajusta a la descripción. Es muy fácil acertar porque lo que ven coincide con la descripción textual.
- Opción (D): Esta opción representa la confusión visual. Eligen gráficas donde algo se incrementa uniformemente.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 16

16- La siguiente gráfica de velocidad representa el movimiento de un objeto durante cierto intervalo.



¿Cuál de las siguientes gráficas de posición versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?



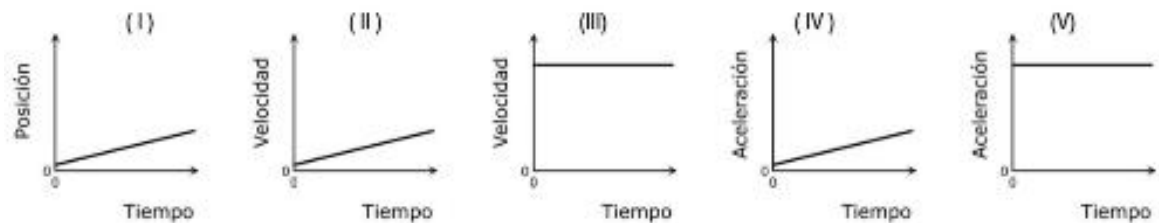
- Opción (A): Esta opción significa no haber tenido en cuenta el signo de la pendiente.
- Opción (B): Esta es la opción correcta.
- Opción (C): Esta opción significa elegir la misma forma de la gráfica a pesar de que la magnitud representada en el eje de ordenadas es distinta. Muestra la dificultad para comprender que un mismo movimiento puede ser descrito por gráficas diferentes según la magnitud representada (posición, velocidad, aceleración).
- Opción (D): Esta opción es muy buena, es casi la correcta. Vamos a ver que en cada cuestión de este objetivo hay dos opciones casi iguales, una correcta y la otra no. La única diferencia es fijarse en los

valores de las pendientes que aparecen, porque una es mayor que la otra.

- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 17

17- Considera las siguientes gráficas, notando los diferentes ejes:



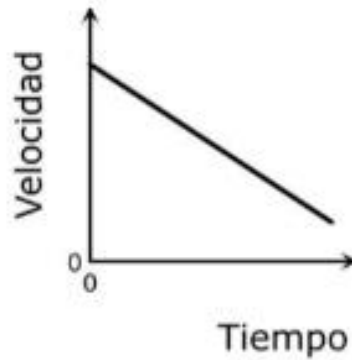
¿Cuáles de las anteriores gráficas representan un movimiento con aceleración constante diferente de cero?

- (A) Sólo I, II y IV.
- (B) Sólo V.
- (C) Sólo II y V.
- (D) Sólo la IV.
- (E) Sólo III y V.

- Opción (A): Esta opción muestra aquellos que asocian el concepto de aceleración con el cambio, es decir, que si hay aceleración algo tiene que cambiar y eligen justo las gráficas que no son constantes.
- Opción (B): Esta es la opción "obvia", que en esta cuestión no coincide con la correcta.
- Opción (C): Esta es la opción correcta.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.
- Opción (E): Representa la confusión visual, eligen aquellas gráficas en las que algo sea constante.

Cuestión 18

18- La grafica adjunta representa el movimiento de un objeto. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones proporciona la mejor interpretación?

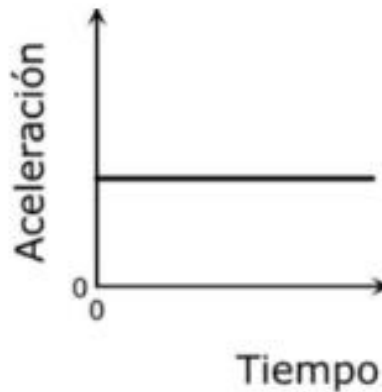


- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante.
- (B) El objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente.
- (C) La posición del objeto disminuye uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a una velocidad constante.
- (E) La posición del objeto es constante.

- Opción (A): Esta es la opción correcta.
- Opción (B): Esta opción representa la confusión visual ya que ven que algo disminuye uniformemente y eligen la respuesta que contenga esas palabras.
- Opción (C): Esta opción representa la confusión visual ya que ven que algo disminuye uniformemente y eligen la respuesta que contenga esas palabras.
- Opción (D): Respuesta aleatoria.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 19

19- La gráfica representa un movimiento de un objeto en línea recta. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones proporciona la mejor interpretación?

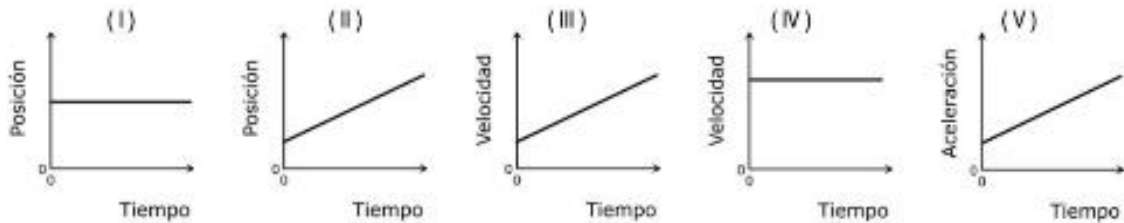


- (A) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su velocidad uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) La posición del objeto se incrementa uniformemente.

- Opción (A): Respuesta aleatoria.
- Opción (B): Esta opción representa la confusión visual ya que ven que algo permanece constante y eligen la respuesta que contenga esas palabras.
- Opción (C): Esta es la opción correcta.
- Opción (D): Esta opción representa la confusión visual ya que ven que algo permanece constante y eligen la respuesta que contenga esas palabras.
- Opción (E): Respuesta aleatoria.

Cuestión 20

20- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuáles de las anteriores gráficas representan un movimiento de un objeto con una velocidad que se incrementa uniformemente?

- (A) Sólo II.
- (B) Sólo III y V.
- (C) Sólo IV.
- (D) Sólo II, III y IV.
- (E) Sólo III.

- Opción (A): Respuesta aleatoria.
- Opción (B): Esta opción representa la confusión visual ya que se escogen las gráficas donde algo se incrementa uniformemente.
- Opción (C): Respuesta aleatoria.
- Opción (D): Esta opción representa la confusión visual ya que se escogen las gráficas donde algo se incrementa uniformemente.
- Opción (E): Esta es la opción "obvia", la gráfica representa lo mismo que ven, que la velocidad se incrementa uniformemente y, además, es la respuesta correcta, puesto que sólo una gráfica representa eso.

4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÓTESIS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CUESTIONARIO DE DIAGNÓSTICO

El cuestionario de diagnóstico se aplicó a una muestra de 210 estudiantes de 4º de ESO que cursaban la asignatura de Física y Química en 5 institutos públicos de la Comunidad Valenciana durante el curso 2016-17. El cuestionario fue contestado unos días después de haber finalizado el tema de cinemática y haberse examinado del mismo. La metodología empleada por el profesorado para impartir este tema fue la tradicional: libro de texto y problemas en la pizarra.

La Tabla 7 muestra los estadísticos descriptivos de la puntuación total máxima obtenida por el alumnado en el cuestionario de diagnóstico. En general, se observa un valor de la media muy bajo (6,88 sobre 20), especialmente teniendo en cuenta que el alumnado acababa de examinarse del tema de cinemática.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de la puntuación total máxima obtenida por el alumnado en el cuestionario de diagnóstico.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SUMA	210	0	19	6,88	4,262
N válido (por lista)	210				

La Tabla 8 y la Figura 1 muestran las frecuencias obtenidas al analizar cada una de las cuestiones. Se observa que las cuestiones en las que más se equivocan los estudiantes son: Q18 (14,7%), Q14 (16,5%), Q3 (17,7%) y Q5 (23,2%). Las demás, aunque con valores bajos, pasan del 25% de aciertos.

Tabla 8. Porcentaje de estudiantes que eligen cada una de las opciones (A, B, C, D, E) en cada cuestión del cuestionario de diagnóstico. En rojo se indica la opción correcta.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
%A	1,4	15,8	1,9	21,6	23,2	13,0	15,8	25,9	3,8	51,9
%B	27,6	2,5	1,0	32,8	12,8	19,3	44,0	12,7	27,8	25,7
%C	22,4	25,6	17,7	5,4	18,7	15,9	5,7	8,3	24,4	3,3
%D	1,0	35,0	38,8	4,9	37,4	42,5	8,6	43,4	27,3	19,1
%E	47,6	21,1	40,6	35,3	7,9	9,3	25,9	9,7	16,7	0

	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20
%A	20,3	39,7	56,5	16,5	1,5	4,4	13,6	14,7	7,9	4,4
%B	46,4	18,1	13,4	11,0	27,7	36,9	26,2	65,7	12,8	33,3
%C	5,8	18,6	1,0	13,0	39,3	14,6	25,7	16,2	37,0	4,9
%D	7,2	6,4	28,7	26,5	27,7	15,5	16,0	1,9	38,4	17,7
%E	20,3	17,2	0,4	33,0	3,8	28,6	18,5	1,5	3,9	39,7

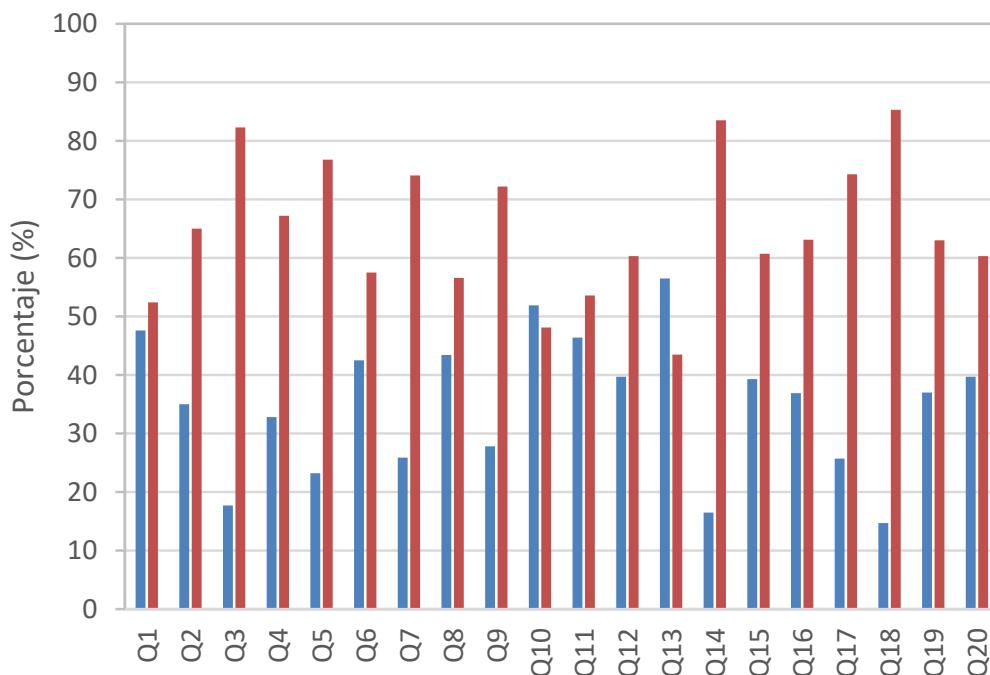


Figura 1. Porcentaje de aciertos (en azul) y fallos (en rojo) en cada una de las cuestiones del cuestionario de diagnóstico.

En la Tabla 9 podemos ver el análisis de los resultados por objetivos, donde se observa que los resultados son aleatorios, siendo los objetivos 1 y 2 los que concentran más porcentaje de error. En todo caso, sólo dos cuestiones pasan del 50% (aprobado) y ninguna llega al 60%, lo que indica un grado de comprensión de las gráficas en cinemática muy deficiente.

Tabla 9. Porcentajes de acierto en el cuestionario de diagnóstico organizados por objetivo.

Objetivo 1: Q3(17,7%), Q10(51,9%) y Q14(16,5%)
Objetivo 2: Q1(47,6%), Q4(32,8%) y Q5(23,2%)
Objetivo 3: Q8(43,4%), Q11(46,4%), Q12(39,7%) y Q16(36,9%)
Objetivo 4: Q2(35,0%), Q6(42,5%), Q13(56,5%), Q18(14,7%) y Q19(37,0%)
Objetivo 5: Q7(25,9%), Q9(27,8%), Q15(39,3%), Q17(25,7%) y Q20(39,7%)

A continuación, se muestran los resultados y la discusión de estos para cada uno de los ítems del cuestionario de diagnóstico. El análisis se va a hacer por objetivos, agrupando las cuestiones que trabajan el mismo objetivo.

Comenzamos con los objetivos 1 y 2, que vamos a analizar conjuntamente porque la tarea que piden es la misma: dada una gráfica, calcular la pendiente. Por tanto, las dificultades deben ser las mismas.

Objetivo 1: Q3(17,7%), Q10(51,9%) y Q14(16,5%)

Objetivo 2: Q1(47,6%), Q4(32,8%) y Q5(23,2%)

En el objetivo 1 se pide calcular la velocidad a partir de una gráfica posición-tiempo, y en el objetivo 2 se pide calcular la aceleración a partir de una gráfica velocidad-tiempo. Los ítems del cuestionario que trabajan estos objetivos son:

Cuestión 3

3- La velocidad en el instante $t = 2$ s es:

(A) 0.5 m/s
 (B) 8.5 m/s
 (C) 2.5 m/s
 (D) 5.0 m/s
 (E) 10.0 m/s

La gráfica muestra la posición en metros (eje vertical) frente al tiempo en segundos (eje horizontal). El eje vertical tiene marcas en 0, 5, 10, 15 y 20. El eje horizontal tiene marcas en 0, 1, 2, 3, 4 y 5. La curva comienza en el punto (0, 5), aumenta de forma casi lineal hasta t=2 s (posición 10 m), luego se curva hacia arriba para alcanzar un máximo de 15 m a los 4 s, y finalmente disminuye ligeramente hasta 14 m a los 5 s.

Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (correcta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	1,9%	1,0%	17,7%	38,8%	40,6%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 3.

Sólo un 17,7% escogen la opción correcta. La mayoría eligen las opciones D y E. La opción D significa que calculan la velocidad como cociente entre posición y tiempo, en lugar de calcular el cociente entre los incrementos de ambas magnitudes.

Un 40,6% escoge la opción E que representa un error más grave que el anterior, puesto que ni siquiera se calcula el cociente. Se lee la gráfica sin importar la magnitud representada en el eje, como si se tratara de leer una gráfica en matemáticas. Dada la abscisa (tiempo), suben a la gráfica y buscan su correspondiente valor para la ordenada (posición), y lo dan como valor de la velocidad.

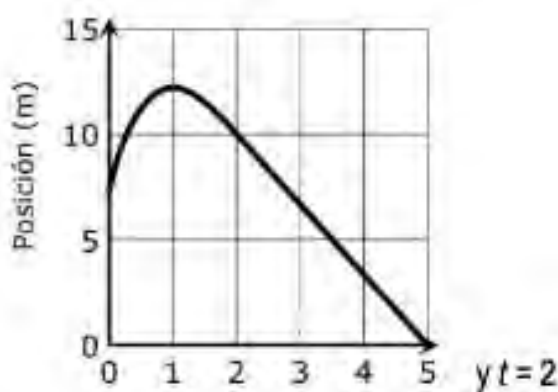
Hay un 1,9% que sí que calcula la pendiente, pero lo hace contando cuadritos, sin tener en cuenta las distintas escalas de los ejes.

Por último, sólo un 1% escogen la opción aleatoria B, que carece de sentido.

Cuestión 14

14- La velocidad en el instante $t = 3$ s vale aproximadamente:

- (A) -3.3 m/s.
- (B) -2.0 m/s.
- (C) -0.67 m/s.
- (D) -2.3 m/s.
- (E) 7.0 m/s.



Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	16,5%	11,0%	13,0%	26,5%	33,0%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 14.

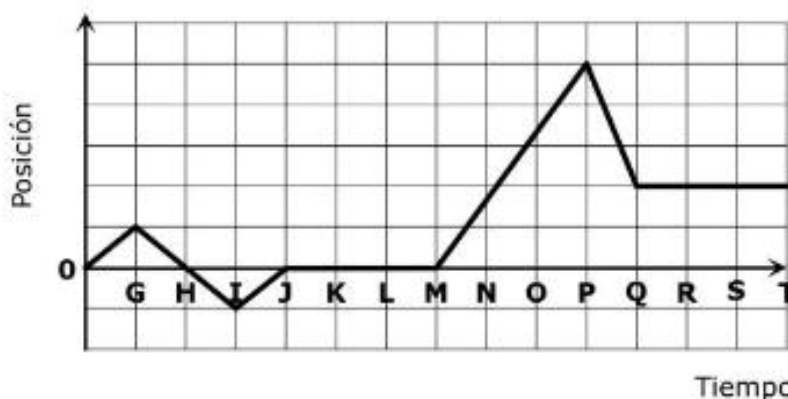
El alumnado que elige la opción correcta es casi el mismo que en la cuestión anterior (16,5%). Entre los que eligen opciones incorrectas vemos que la mayoría vuelven a seleccionar las opciones D y E, que representan las mismas dificultades que en la cuestión anterior. Un 26,5% calcula el cociente entre posición y tiempo en vez del cociente entre incrementos, y un 33% busca el tiempo en abscisas, sube a la gráfica, lee el valor de la ordenada (posición) y lo da como valor de la velocidad.

Un 13% calcula la pendiente contando cuadritos, sin tener en cuenta la escala, y un 11% eligen la respuesta aleatoria. En la cuestión anterior, sólo había un 1% que seleccionan la respuesta aleatoria. Observamos que en esta cuestión no se lee muy bien el valor de la ordenada a los 3 segundos. Si toman 7 metros, les da la respuesta D, pero si toman 6 metros les da esta opción B. Eso puede explicar que haya tantos que la escojan.

Cuestión 10

10- La gráfica presenta el movimiento de un objeto en línea recta. ¿Cuándo es más negativa su velocidad?

- (A) De P a Q.
- (B) En I.
- (C) De M a P.
- (D) De G a I.
- (E) En P.



Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	51,9%	25,7%	3,3%	19,1%	0%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 10.

Esta cuestión también pide la velocidad, pero es distinta a las otras dos porque pregunta cuándo es más negativa. El porcentaje de aciertos es mucho mayor que en las otras dos anteriores (51,9%) debido a que no han tenido que hacer ningún cálculo ni recordar fórmulas. El concepto de que la velocidad es la pendiente de la gráfica posición -tiempo parece estar mejor asimilado.

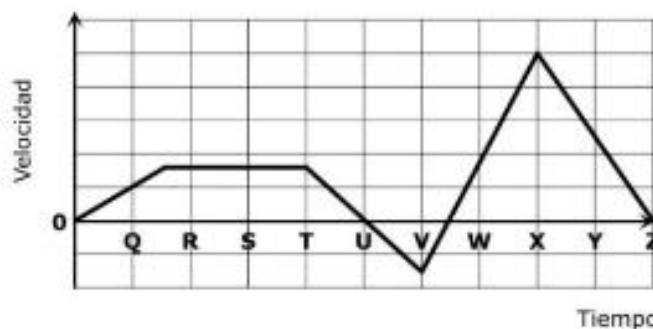
Entre las dificultades tenemos la opción B (25,7%) que representa el error de confundir la pendiente con la ordenada, como las opciones E en las cuestiones 3 y 14, y la opción D (19,1%) que representa una dificultad distinta, ya que sí identifican velocidad con pendiente, pero el tramo que baja al 4º cuadrante de la gráfica, les parece que debe ser más negativo.

Las opciones aleatorias C y E han sido muy poco escogidas: 3% y 0%, respectivamente.

Cuestión 1

1- ¿Cuándo es más negativa la aceleración?

- (A) Desde V hasta X
- (B) Desde T hasta V
- (C) En V
- (D) En X
- (E) Desde X hasta Z



Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (correcta)
Porcentaje	1,4%	27,6%	22,4%	1,0%	47,6%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 1.

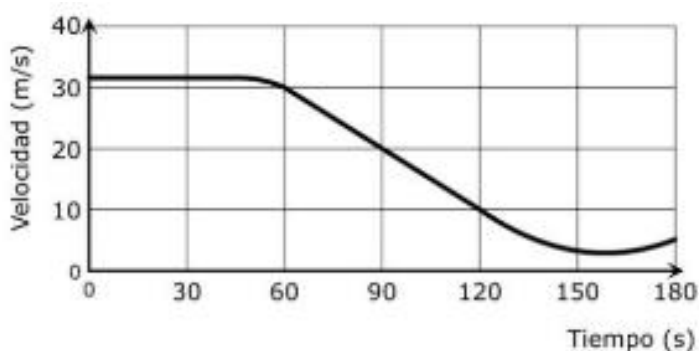
Casi la mitad del alumnado, un 48%, elige la opción E, que es la correcta, por lo que saben interpretar cómo cambia la aceleración dada una gráfica velocidad-tiempo, $v=f(t)$.

De todo el alumnado que responde a la pregunta incorrectamente, solo el 1.4% y el 1% han elegido las respuestas aleatorias A y D, respectivamente. El 28% identifica la aceleración como la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo (opción B), por lo que el tramo que baja al 4º cuadrante parece inexorablemente más negativo. El 22% confunde la pendiente con la ordenada y eligen el punto donde la ordenada es más negativa (opción C).

Cuestión 4

4- La gráfica adjunta muestra la velocidad en función del tiempo para un automóvil de masa $1.5 \cdot 10^3$ Kg. ¿Cuál era su aceleración a los 90 s?

- (A) -0.22 m/s^2
- (B) -0.33 m/s^2
- (C) -1.0 m/s^2
- (D) -2.0 m/s^2
- (E) 20 m/s^2



Respuesta	A (incorrecta)	B (correcta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	21,6%	32,8%	5,4%	4,9%	35,3%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 4.

Un 32,8% de los estudiantes aciertan esta cuestión.

La opción A (21,6%) corresponde al error de calcular la aceleración como cociente entre velocidad y tiempo, en vez de cociente entre incremento de ambas magnitudes.

El mayor porcentaje está en la opción E (35,3%), que corresponde a la dificultad de discriminar entre la pendiente y la ordenada.

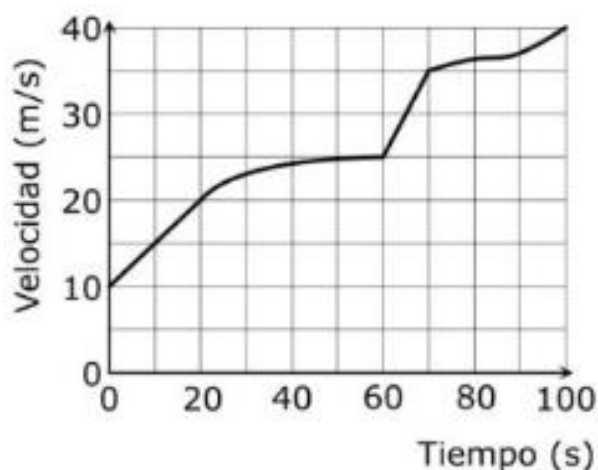
Un 5,4% calculan bien la pendiente, pero lo hacen contando cuadritos, sin tener en cuenta la escala de los ejes (opción C) y sólo un 4,9% escogen la respuesta aleatoria D.

Cuestión 5

5- La gráfica muestra el movimiento de un objeto que se mueve en línea recta.

En el instante $t = 65$ s, la aceleración instantánea del objeto tiene un valor aproximado de:

- (A) 1.0 m/s^2
- (B) 2.0 m/s^2
- (C) 0.46 m/s^2
- (D) 30 m/s^2
- (E) 34 m/s^2



Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	23,2%	12,8%	18,7%	37,4%	7,9%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 5.

Un 23,2% escogen la respuesta correcta. Entre las incorrectas la más elegida es la D (37,4%) que corresponde a la dificultad de discriminar entre la pendiente y la ordenada.

La dificultad de calcular el cociente entre magnitudes en vez del cociente entre los incrementos corresponde a la opción C (18,7%).

Un 12,8% calculan la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes (opción B) y un 7,9% eligen la respuesta aleatoria.

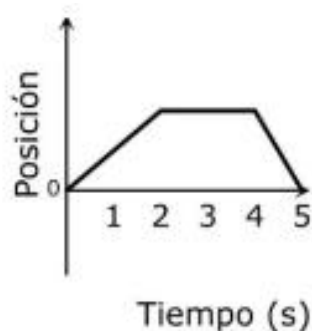
Del análisis de estas 6 cuestiones de los objetivos 1 y 2 podemos concluir que las dificultades que presenta el alumnado al interpretar gráficas de cinemática son:

- **Dificultad 1 (D1):** confundir la pendiente con el valor de la ordenada.
- **Dificultad 2 (D2):** calcular el cociente entre magnitudes en lugar del cociente entre los incrementos de dichas magnitudes.
- **Dificultad 3 (D3):** calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes.

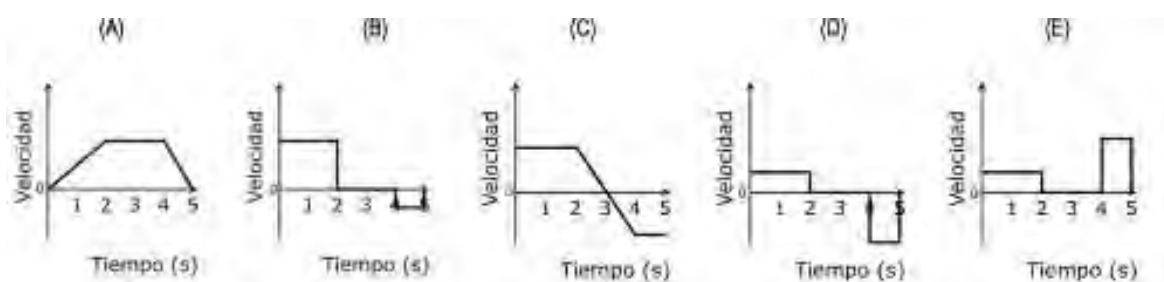
Continuamos con el análisis de los resultados de las cuestiones del objetivo 3, que pide seleccionar la gráfica correspondiente a partir de una gráfica dada.

Cuestión 8

8- La gráfica adjunta muestra el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo durante un intervalo de 5 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad en función del tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo?



Respuesta	A	B	C	D	E
	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(correcta)	(incorrecta)
Porcentaje	25,9%	12,7%	8,3%	43,4%	9,7%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 8.

La respuesta más elegida es la D (43,4%), que es la correcta. Además, hay un 12,7% que eligen la B, que es una opción muy buena, muy parecida a la correcta. Sólo se diferencia en los valores absolutos de las pendientes que aparecen, porque una es mayor que la otra. Vamos a ver que, en cada cuestión de este objetivo, aparecen estas dos opciones casi iguales, una es correcta y la otra casi correcta.

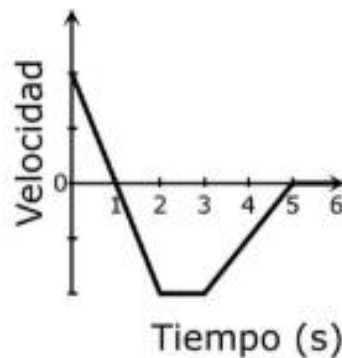
El mayor error que se comete es elegir la gráfica que tiene la misma forma, a pesar de que ha cambiado la magnitud representada en el eje de ordenadas. Esta es la opción A (26%) y también va a aparecer en cada una de las cuestiones de este objetivo.

La opción E (9,8%) representa el error de no haber tenido en cuenta el signo de la pendiente.

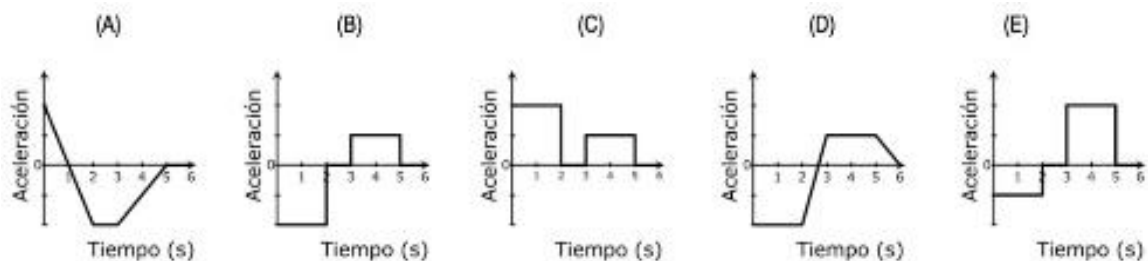
Sólo un 8,3% eligen la opción aleatoria C, que no tiene ningún sentido.

Cuestión 11

11- La gráfica siguiente muestra la velocidad en función del tiempo para un objeto durante un intervalo de 6 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de aceleración con respecto al tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo de tiempo?



Respuesta	A (incorrecta)	B (correcta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	20,3%	46,4%	5,8%	7,2%	20,3%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 11.

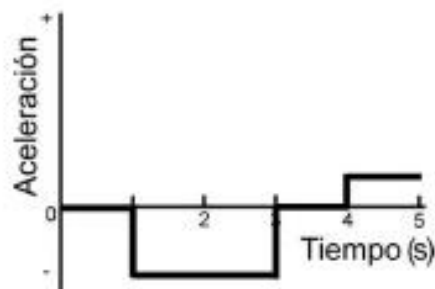
La opción correcta B vuelve a ser la más elegida (46,4%) y la casi correcta E (20,3%).

El error de elegir la gráfica con la misma forma es la opción A (20,3%).

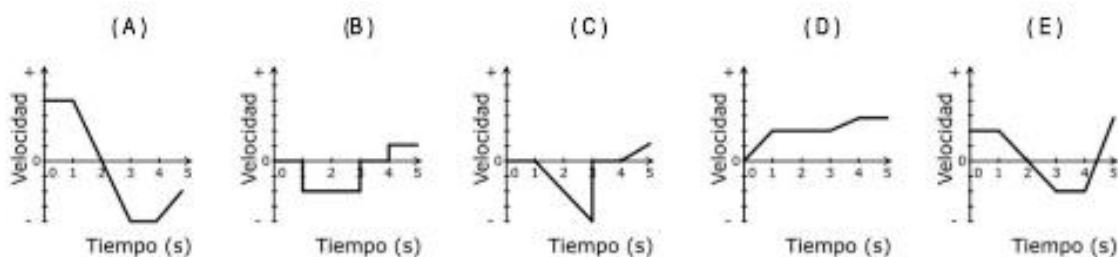
No tener en cuenta el signo de la pendiente es la opción C (5,8%) y la opción aleatoria es la D que la elige un 7,2%.

Cuestión 12

12- La gráfica representa la aceleración de un objeto en un intervalo de 5 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad con respecto al tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo?



Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	39,7%	18,1%	18,6%	6,4%	17,2%

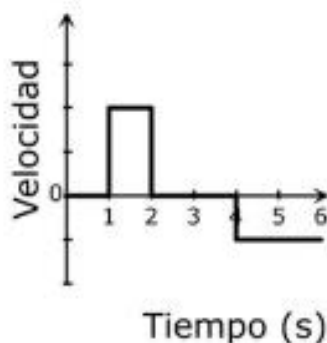
Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 12.

La opción correcta A vuelve a ser la más elegida (39,7%) y un 17,2% elige la casi correcta, que es la E. Misma forma de gráfica es la opción B (18,1%). No tener en cuenta los signos de la pendiente es la opción D (6,4%) y la aleatoria, que es la C es elegida esta vez por un 18,6%.

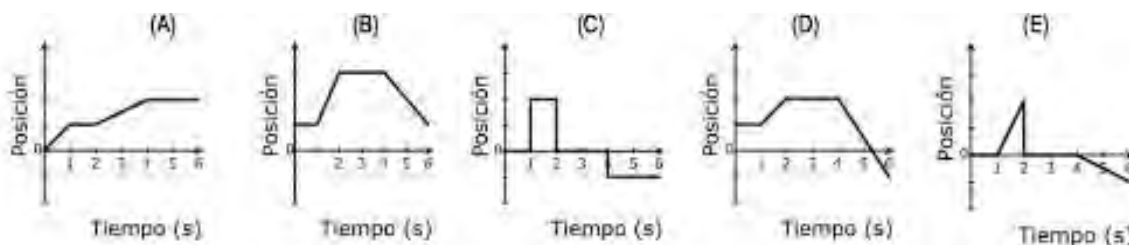
Comparando con las dos cuestiones de este objetivo analizadas anteriormente, cuestión 8 y 11, se pone de manifiesto que el alumnado tiene menor dificultad cuando infiere la gráfica de la velocidad a partir de la posición (cuestión 8), o la de la aceleración a partir de la de velocidad (cuestión 11), que cuando la tarea es inversa, como ocurre en esta cuestión 12, donde se les da la gráfica de aceleración y se les pide que infieran la de velocidad. Por eso hay tanta respuesta aleatoria. Lo mismo va a ocurrir en la siguiente cuestión.

Cuestión 16

16- La siguiente gráfica de velocidad representa el movimiento de un objeto durante cierto intervalo.



¿Cuál de las siguientes gráficas de posición versus tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante el mismo intervalo?



Respuesta	A	B	C	D	E
	(incorrecta)	(correcta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)
Porcentaje	4,4%	36,9%	14,6%	15,5%	28,6%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 16.

Efectivamente, se cumple la predicción. Un 28,6% elige la opción E, que es aleatoria y carece de sentido. Esto se debe otra vez a que la tarea en esta cuestión es inferir la gráfica de posición a partir de la de velocidad, lo que resulta de mayor dificultad que a la inversa (cuestión 8).

Acierta un 36,9%, eligiendo la opción B, y casi acierta un 15,5%, eligiendo la opción D.

Un 14,6% eligen la gráfica que tiene la misma forma (C), y sólo un 4,4% elige la opción A que representa no tener en cuenta el signo de las pendientes representadas.

En general las cuestiones de este bloque han sido bastante acertadas por el alumnado, sobre todo si tenemos en cuenta la suma de los porcentajes de los que aciertan y los que casi aciertan, ya que estas dos opciones son casi iguales. Esta suma está alrededor del 60%.

La dificultad más grande es la de elegir la gráfica que tiene la misma forma, a pesar de representar una magnitud distinta, esta dificultad aparece alrededor de un 20% del alumnado, por lo que la añadimos a nuestra lista de dificultades.

- **Dificultad 4 (D4):** dificultad para relacionar gráficas que representan diferentes magnitudes de un mismo movimiento.

Continuamos con el análisis de los resultados de las cuestiones del objetivo 4, que pide seleccionar la descripción textual correspondiente a una gráfica determinada.

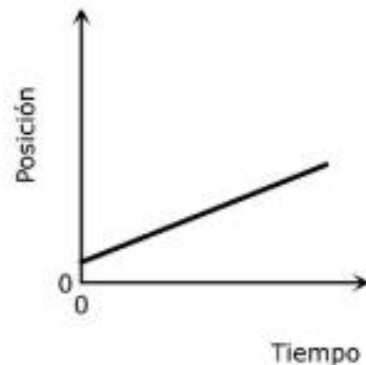
Objetivo 4: Q2(35,0%), Q6(42,5%), Q13(56,5%), Q18(14,7%) y Q19(37,0%)

Cuestión 2

2- La figura adjunta muestra la gráfica de movimiento de un objeto.

¿Cuál de las siguientes es la mejor interpretación?

- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante y distinta de cero.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) El objeto se mueve con una aceleración que aumenta uniformemente.



Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (correcta)	E (incorrecta)
Porcentaje	15,8%	2,5%	25,6%	35,0%	21,1%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 2.

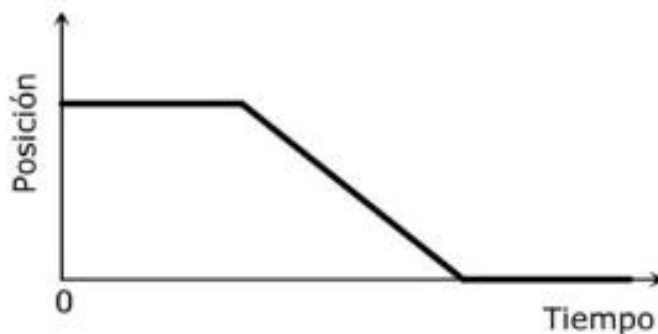
La opción más elegida es la D, que es la correcta (35%).

Las opciones C y E son elegidas por un 25,6% y 21,1% respectivamente. Ambas opciones representan el mismo tipo de error, la confusión visual. Consiste en elegir la opción que contenga las palabras “aumenta uniformemente”, independientemente de la magnitud representada en el eje de ordenadas. La visión de la forma de la gráfica es más determinante para escoger respuesta que el posible razonamiento sobre qué tipo de movimiento está representado. Ven una gráfica que aumenta uniformemente, y es lo que eligen.

Las otras dos opciones son aleatorias y, de hecho, han sido elegidas con poca frecuencia.

Cuestión 6

6- La gráfica adjunta muestra el movimiento de un objeto.



¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?

- (A) El objeto rueda sobre una superficie horizontal, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (B) El objeto no se mueve al principio, después cae rodando por una pendiente y finalmente se para.
- (C) El objeto se mueve a velocidad constante, después frena hasta que se para.
- (D) El objeto no se mueve al principio, después se mueve hacia atrás y finalmente se para.
- (E) El objeto se mueve sobre una superficie horizontal, luego se mueve hacia atrás por una pendiente y después sigue moviéndose.

Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (correcta)	E (incorrecta)
Porcentaje	13,0%	19,3%	15,9%	42,5%	9,3%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 6.

Dentro de este objetivo, esta cuestión es un poco distinta a las demás porque trata de detectar una dificultad distinta. La gráfica dada es de posición-tiempo y el texto hace referencia a la trayectoria.

Las opciones A y B (13% y 19,3%) representan esta dificultad de confundir la gráfica posición tiempo con la trayectoria descrita por el móvil. Esta dificultad ha sido descrita en el marco teórico y su estudio formó parte del TFM que hicimos en el 2012 con alumnado de 2º de ESO. Es una dificultad muy común entre alumnado joven que no ha estudiado nunca cinemática. Una de las conclusiones del TFM es que el uso de sensores de movimiento ayuda mucho a superar esa dificultad. La llamaremos dificultad 0 (D0) puesto que ya fue trabajada en una investigación previa a ésta.

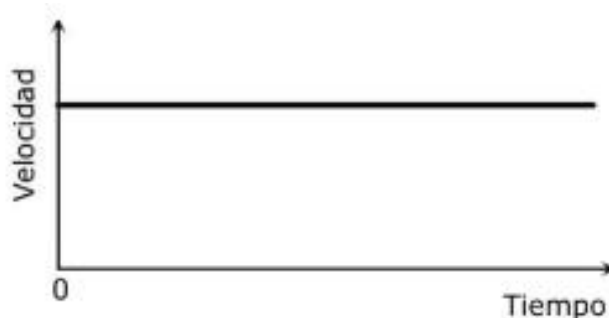
En ambas opciones (A y B) aparece la expresión “cae rodando” para describir el movimiento, cuando la posición disminuye de forma uniforme con el tiempo. Es decir, se confunde la pendiente negativa con una rampa por la que el objeto cae.

La opción C ha sido escogida por un 15,9% y corresponde a la confusión visual: ven algo que se mantiene constante, luego disminuye y luego vale cero, y no se fijan en la magnitud representada. Si estuviera representada la velocidad, esta opción sería correcta.

La opción más elegida (42,5%) ha sido la D que es la correcta y un 9,2% elige la E que es la aleatoria.

Cuestión 13

13- En la gráfica se muestra la velocidad de un objeto que se mueve en una línea recta. Escoge la afirmación que represente al movimiento del objeto.



- (A) El objeto se mueve incrementando su posición uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (D) El objeto se mueve con aceleración constante diferente de cero.
- (E) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.

Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	56,5%	13,4%	1,0%	28,7%	0,4%

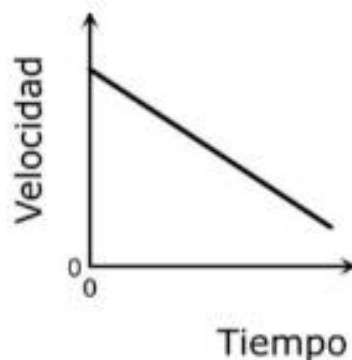
Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 13.

Volvemos a encontrar el patrón de la cuestión 2. La respuesta correcta A, es la más elegida (56,5%). La gráfica muestra una recta de pendiente cero, paralela al eje de abscisas, que se interpreta como que algo permanece constante, así que las opciones que contienen la palabra “constante” representan la confusión visual. En este caso la B y la D, con un 13,4% y 28,7% respectivamente.

Las opciones aleatorias C y E apenas son elegidas (1% y 0,4%).

Cuestión 18

18- La grafica adjunta representa el movimiento de un objeto. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones proporciona la mejor interpretación?



- (A) El objeto se mueve con una aceleración constante.
- (B) El objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente.
- (C) La posición del objeto disminuye uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a una velocidad constante.
- (E) La posición del objeto es constante.

Respuesta	A (correcta)	B (incorrecta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	14,7%	65,7%	16,2%	1,9%	1,5%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 18.

En esta cuestión, la opción más elegida (B) representa la confusión visual. La gráfica de velocidad-tiempo muestra una recta de pendiente negativa por lo que ven que algo disminuye uniformemente. Las opciones B y C contienen esas palabras, aunque son incorrectas, y son elegidas por un 65,7% y 16,2% respectivamente. La opción correcta A sólo es elegida por un 14,7%.

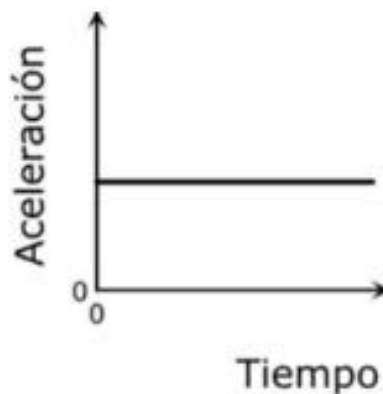
Este bajo porcentaje de acierto comparado con las otras cuestiones que ya hemos visto en este objetivo nos muestra de nuevo la dificultad extra que supone el inferir la aceleración a partir de una gráfica de velocidad.

En la cuestión 2 se acierta mucho más (35%) porque la gráfica dada es de posición-tiempo, más sencilla para el alumnado. En la cuestión 13 acierta un 56,5%, la gráfica es de velocidad-tiempo, pero es velocidad constante y la opción correcta describe la posición en un MRU. Esto también resulta más sencillo al alumnado.

Por último, las opciones aleatorias D y E son muy poco escogidas: 1,9% y 1,5%.

Cuestión 19

19- La gráfica representa un movimiento de un objeto en línea recta. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones proporciona la mejor interpretación?



- (A) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su velocidad uniformemente.
- (D) El objeto se mueve a velocidad constante.
- (E) La posición del objeto se incrementa uniformemente.

Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (correcta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	7,9%	12,8%	37,0%	38,4%	3,9%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 19.

La gráfica aceleración-tiempo muestra una recta paralela al eje de abscisas lo que se interpreta como “constante”. Esta palabra aparece en las opciones B y D que son elegidas un 12,8% y 38,4% respectivamente. Ambos casos representan la confusión visual. La opción correcta C es elegida un 37% y las opciones aleatorias A y E tiene poca representación. Vemos pues que se ha repetido el patrón en este objetivo.

Añadimos pues dos dificultades a la lista:

- **Dificultad 5 (D5):** a la que hemos llamado confusión visual. Dificultad para discernir entre lo que ven directamente en la gráfica y el tipo de movimiento que está siendo representado.
- **Dificultad 0 (D0):** confundir la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil.

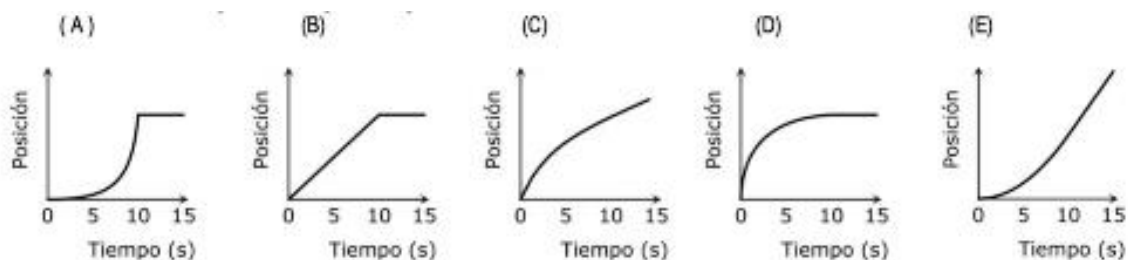
Continuamos con el análisis de los resultados de las cuestiones del objetivo 5, que pide seleccionar la gráfica correspondiente a una descripción textual determinada.

Objetivo 5: Q7(25,9%), Q9(27,8%), Q15(39,3%), Q17(25,7%) y Q20(39,7%)

En este objetivo, se trabaja la tarea opuesta al objetivo anterior. En el objetivo 4 daban una gráfica y pedían seleccionar la descripción textual. En este objetivo 5, dan una descripción textual y piden que se seleccione la(s) gráfica(s) que se ajustan a dicho texto. Las dificultades que van a aparecer son muy similares.

Cuestión 7

7- Un objeto que estaba en reposo comienza a moverse con una aceleración positiva y constante durante 10 segundos. Después continúa con velocidad constante. ¿Cuál de las gráficas siguientes describe correctamente dicha situación?



Respuesta	A	B	C	D	E
	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(correcta)
Porcentaje	15,8%	44,0%	5,7%	8,6%	25,9%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 7.

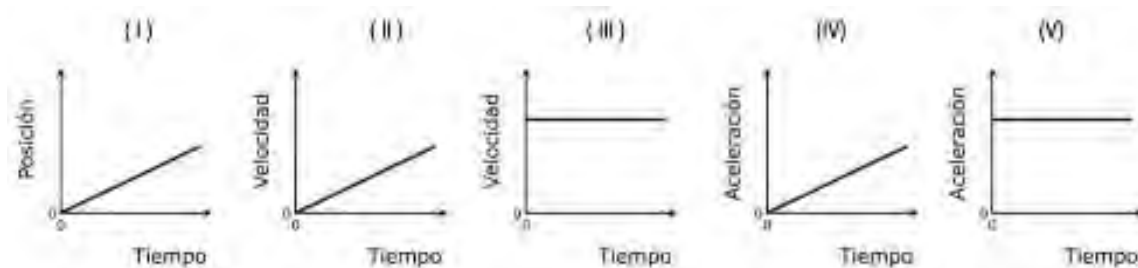
Sólo un 25,9% eligen la opción correcta, y la segunda mejor opción que es muy parecida a la correcta es la C, que la eligen un 5,7%.

La opción más elegida es la B (44%) y representa al porcentaje de estudiantes que asocia el concepto de aceleración a “cambio” y luego buscan que algo sea constante.

Esta opción, junto con la A (15,8%) y la D (8,6%) representan la confusión visual ya que la descripción textual dice que después de 10 segundos continúa a velocidad constante, y las tres opciones: A, B y D, contienen ese tramo constante a partir de los 10 segundos, pero no se han fijado en la magnitud representada en el eje de ordenadas.

Cuestión 9

9- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuáles de ellas representan un movimiento a velocidad constante?

- (A) Sólo I, II y IV.
- (B) Sólo I y III.
- (C) Sólo III.
- (D) Sólo III y V.
- (E) Sólo I, III y V.

Respuesta	A (incorrecta)	B (correcta)	C (incorrecta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	3,8%	27,8%	24,4%	27,3%	16,7%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 9.

Tenemos ahora cuatro cuestiones que siguen el mismo patrón. Se representan cinco gráficas con distintas magnitudes en los ejes y una sola descripción textual: ¿cuál de ellas representa un movimiento a velocidad constante? La respuesta correcta puede ser una sola gráfica o varias de ellas.

A diferencia de las cuestiones del objetivo 4, ahora siempre aparece la gráfica a la que llamaremos opción “obvia”, que es aquella en la que coincide lo que ven con lo que se les pide. En este caso, la gráfica (III) es la opción “obvia”, ven algo constante y en el eje se representa la velocidad, que es lo que piden que sea constante.

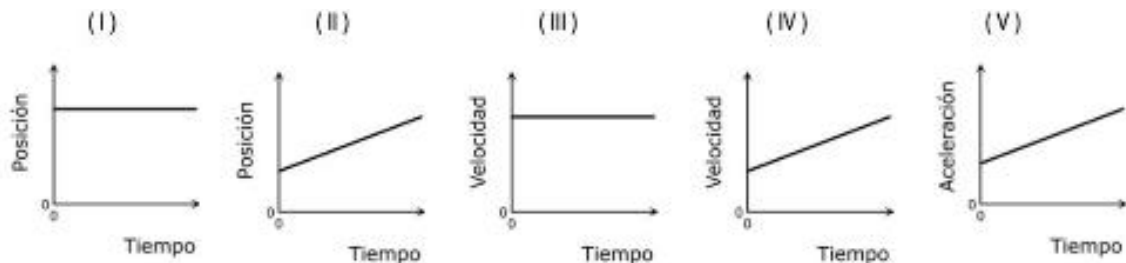
Vamos a ver que, cuando la única opción correcta sea la “obvia”, va a haber un gran porcentaje de aciertos (cuestiones 15 y 20), pero cuando haya más gráficas que se ajusten a la descripción, el porcentaje de aciertos disminuye ya que muy pocos se dan cuenta y eligen como única la opción “obvia”. Es lo que sucede en esta cuestión, un 24,4% eligen C que es sólo la gráfica (III), es decir, la opción “obvia”. La correcta es la B, ya que la gráfica (I) también representa velocidad constante, y es elegida por un 27,8%.

La otra opción que ha sido muy elegida es la D (27,3%) y representa claramente la confusión visual ya que en ambas algo se mantiene constante. La siguiente opción (E) es muy parecida, pero añaden la gráfica (I) que es la más trabajada: posición-tiempo en un MRU. Un 16,7% eligen esta opción.

La opción A es aleatoria y no tiene sentido, sólo un 3,8% la escogen.

Cuestión 15

15- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuáles de ellas representan un movimiento de un objeto en que su aceleración se incrementa uniformemente?

- (A) Sólo II y III.
- (B) Sólo IV y V.
- (C) Sólo V.
- (D) Sólo II, IV y V.
- (E) Sólo IV.

Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (correcta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	1,5%	27,7%	39,3%	27,7%	3,8%

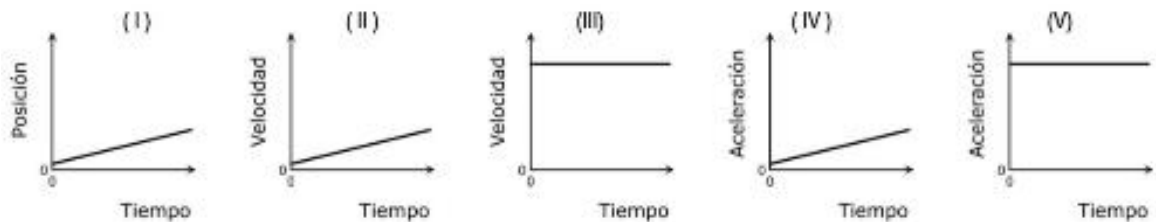
Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 15.

En este caso sólo hay una gráfica que se ajuste a la descripción de aceleración que se incrementa uniformemente, y es la gráfica (V) y por tanto opción “obvia” que coincide con la opción correcta, por eso hay un porcentaje de aciertos tan alto (39,3%). Las opciones B y D (ambas 27,7%) representan la confusión visual puesto que eligen gráficas en las que algo aumenta uniformemente.

Las opciones A y E son aleatorias (1,5% y 3,8%) respectivamente.

Cuestión 17

17- Considera las siguientes gráficas, notando los diferentes ejes:



¿Cuáles de las anteriores gráficas representan un movimiento con aceleración constante diferente de cero?

- (A) Sólo I, II y IV.
- (B) Sólo V.
- (C) Sólo II y V.
- (D) Sólo la IV.
- (E) Sólo III y V.

Respuesta	A (incorrecta)	B (incorrecta)	C (correcta)	D (incorrecta)	E (incorrecta)
Porcentaje	13,6%	26,2%	25,7%	16,0%	18,5%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 17.

En esta cuestión sucede lo mismo que en la cuestión 9, la opción “obvia” no coincide con la correcta y por eso el porcentaje de aciertos disminuye.

Piden las gráficas que representen aceleración constante. La gráfica (V) es la “obvia” y la elige un 26,2%.

La gráfica (II) también representa aceleración constante, aunque es una gráfica velocidad-tiempo. Elegir estas dos gráficas es la opción correcta C (25,7%).

La siguiente opción más elegida es la E (18,5%) y representa la confusión visual, aquellos que eligen las gráficas en las que algo es constante.

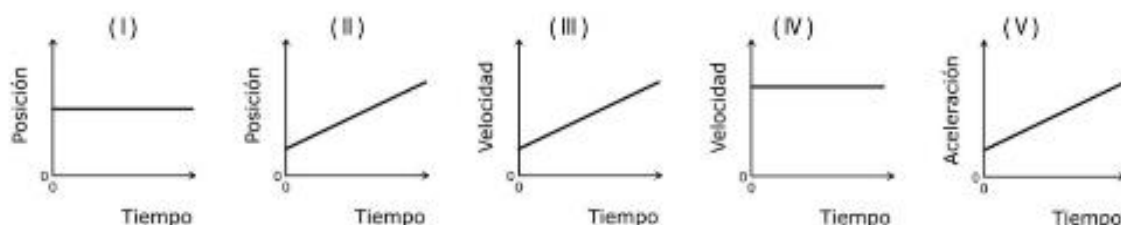
Las otras dos opciones son algo aleatorias, pero los altos porcentajes de selección que tienen requieren un estudio más profundo.

La opción A (13,6%) mostraría aquellos estudiantes que asocian el concepto de aceleración con el de cambio, es decir, que si hay aceleración algo tiene que cambiar, y eligen justo las gráficas que no son constantes.

La opción D (16%) sólo elige la gráfica (IV). También muestra esa asociación entre el concepto de aceleración y cambio, como en la opción A, puesto que a pesar de tener la gráfica (V) que representa literalmente lo que piden, eligen la que tiene pendiente ya que algo tiene que cambiar si hay aceleración.

Cuestión 20

20- Considera las siguientes gráficas, observando los diferentes ejes:



¿Cuáles de las anteriores gráficas representan un movimiento de un objeto con una velocidad que se incrementa uniformemente?

- (A) Sólo II.
- (B) Sólo III y V.
- (C) Sólo IV.
- (D) Sólo II, III y IV.
- (E) Sólo III.

Respuesta	A	B	C	D	E
	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(incorrecta)	(correcta)
Porcentaje	4,4%	33,3%	4,9%	17,7%	39,7%

Información extraída de la Tabla 8 para la cuestión 20.

Esta cuestión repite el patrón de la cuestión 15, ya que la opción “obvia” coincide con la correcta (E) y por tanto el porcentaje de aciertos es alto (39,7%). En la cuestión 15 acertaba un 39,3%.

Piden que la velocidad se incremente uniformemente. Elegir las opciones B y D (33,3% y 17,7% respectivamente) representa la confusión visual ya que escogen gráficas en las que algo se incrementa uniformemente.

Las otras dos opciones (A y C) no tienen sentido, son aleatorias y muy poco elegidas (4,4% y 4,9%).

Este último objetivo 5 no aporta dificultades nuevas a las ya estudiadas en los otros objetivos, pero pone de manifiesto la necesidad de trabajar la asociación de gráficas con magnitudes distintas en los ejes y que representan un mismo movimiento.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE ENTREVISTAS AL ALUMNADO

Los resultados cuantitativos del apartado anterior pueden completarse con los resultados cualitativos obtenidos a partir de las entrevistas personales realizadas a 13 alumnos/as siguiendo el cuestionario y que sirven para aclarar algunos ítems, profundizar en las dificultades del alumnado, etc. Se utilizan números para identificar a cada estudiante y también se indica su género. La profesora hace referencia a la propia investigadora de este trabajo.

La transcripción completa de 13 de las entrevistas está en el anexo I.

Objetivo 1- Determinar la velocidad a partir de una gráfica posición-tiempo, $x=f(t)$.

Cuestión 3

Ilustramos algunas respuestas extraídas de las entrevistas sobre esta cuestión:

(líneas 1, 2 y 3)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

Alumna 1: Creo que es la "d" porque he hecho posición partido tiempo, el tiempo es 2 y la posición es 10, entonces he hecho 10 entre 2 que me da 5.

(líneas 62,63 y 64)

Alumna 7: pues creo, creo que cuando empieza en 0 segundos la, o sea, va a 5 metros, bueno, está en la posición 5 metros a los 2 segundos está en posición 10 por lo que sería, la velocidad... 5 m/s.

(líneas 89 y 90)

Alumno 8: a ver, para la velocidad miro posición y tiempo...sería 10 entre 2, que sería 5, entonces sería la respuesta "d".

(línea 98)

Alumno 9: diría que la respuesta correcta sería la "d" porque cada segundo recorre 5 metros.

(líneas 115 y 116)

Alumno 10: elijo la "e": 10 m/s, porque me dice que t es igual a 2 y luego miro la posición y veo que es 10.

(líneas 129 y 130)

Alumna 11: es el "d" porque en un segundo hace 5 y en 2 segundos hace 10, que en 2 segundos se mueve 10 m, tiene que ser 5 la velocidad.

(líneas 145 y 146)

Alumna 13: pues miro el tiempo, en 2 segundos, subo pa'rrriba y veo 10, 10 metros por segundo ¿no?

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que:

- Los alumnos/as 1, 7, 8, 9 y 11 han elegido la opción D, que representa la dificultad de calcular la velocidad como cociente entre posición y tiempo, en vez de hacerlo con el cociente entre los incrementos de ambas magnitudes (D2).
- Los alumnos/as 10 y 13 han elegido la opción E que representa la dificultad de confundir la pendiente con el valor de la ordenada (D1).

Estas dos dificultades son las que han aparecido en el análisis cuantitativo del cuestionario de diagnóstico con más frecuencia.

Objetivo 2- Determinar la aceleración a partir de una gráfica velocidad-tiempo, $v=f(t)$.

Cuestión 1

Algunas intervenciones extraídas de las entrevistas sobre esta cuestión confirman las dificultades expuestas.

(líneas 31, 32 y 33)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 1?

Alumna 4: yo creo que cuando dice aceleración negativa es cuando la línea va hacia abajo y se sale del plano incluido o... entonces yo pondría la "b" o la "e", que fue lo que más me lio...

(líneas 82, 83 y 84)

Alumno 8: a ver, yo para mirar la aceleración, miro la velocidad del tiempo y en el momento en el que más baja, porque me piden que sea negativa, creo que es la (B): desde T hasta V, que es cuando más abajo ha llegado.

(líneas 94, 95 y 96)

Alumno 9: vale, pues...en la pregunta número 1, cuando la aceleración es negativa, yo diría que es desde el punto T hasta el V, porque en la gráfica se muestra cómo la velocidad va descendiendo con el tiempo.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas pone de manifiesto la dificultad de confundir la pendiente con el valor de la ordenada (D1).

Cuestión 4

En las entrevistas encontramos:

(líneas 65 y 66)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 4?

Alumna 7: me pregunta la aceleración a los 90 segundos, a los 90 s la velocidad es de 20 m/s.

(líneas 132 y 133)

Alumna 11: la velocidad cambia 10, de 20 a 30, en 90 segundos. Entonces 90 entre 10 es 9 y no hay ninguna opción...

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que:

- La alumna 7 en la cuestión 4 muestra la dificultad 1, ya que da el valor de la ordenada (velocidad) en ese tiempo, en vez de calcular la pendiente.
- La alumna 11 en la cuestión 4 muestra la dificultad 2 puesto que divide valores absolutos en vez de incrementos.

Cuestión 5

Algunos extractos de las entrevistas con respecto a esta cuestión son:

(líneas 19, 20 y 21)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 5?

Alumno 3: Yo creo que es la "b" porque de aquí a aquí pasan 10 segundos y hace como el doble, aumenta 2 y por eso yo he pensado que era 2 m/s.

(líneas 52 y 53)

Alumna 6: me piden la aceleración en la gráfica velocidad-tiempo, tengo que calcular la pendiente con la fórmula... no me acuerdo.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que el alumno 3 en la cuestión 5 muestra la dificultad 3 al calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala en los ejes.

Por lo tanto, en las entrevistas hemos encontrado evidencias también de las tres dificultades detectadas en el análisis cuantitativo de los datos.

Objetivo 3- Seleccionar la gráfica correspondiente a partir de una gráfica determinada.

Cuestión 8

De las entrevistas extraemos las intervenciones siguientes:

(líneas 38, 39, 40 y 41)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 8?

Alumna 4: Como del segundo 0 a 2 la posición no se mantiene recta, está como una pendiente, yo pondría que la velocidad aumenta, y luego del segundo 2 a 4 está parado, y luego del segundo 4 a 5 la posición desciende que significa que es negativa.

(líneas 55, 56 y 57)

Alumna 6: es que a mí lo que me lían son las rayas (señala la forma de la gráfica) porque como es diferente significado según los ejes y la primera es de posición-tiempo y las otras de velocidad-tiempo...

(líneas 118, 119, 120 y 121)

Alumno 10: el problema es que no sé lo que me piden, por ejemplo, aquí cogería y diría, vale se mueve del 0 al 2 con velocidad constante, escogería... mmm, no sabría cuál decirte, cogería la A otra vez, porque se tiene que mover a velocidad constante y en la B no se mueve de 0 a 2, ni en la C, D ni E se mueven de 0 a 2.

(línea 92)

Alumno 8: es la (A) porque es la misma gráfica, entonces representa lo mismo.

Así, de las entrevistas se extrae la dificultad de relacionar gráficas que representan el mismo movimiento (D4). Esta destreza no está muy trabajada por lo que deberá ser incluida en el diseño de la intervención.

Objetivo 4- Seleccionar la descripción textual correspondiente a una gráfica determinada.

Cuestión 2

En las entrevistas encontramos:

(líneas 85, 86 y 87)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 2?

Alumno 8: creo que es la "e" porque conforme más acelera, más rápido sube de posición y menos tarda en el tiempo, por eso está inclinada la pendiente.

(líneas 111, 112 y 113)

Alumno 10: creo que es la C: el objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente, porque pienso que a la vez que se mueve de posición está pasando el tiempo, por tanto, pienso que aumenta su velocidad.

(líneas 135, 136, 137 y 138)

Alumna 12: vale pues yo la "b" no diría que es, diría que es la "a" porque aquí dice que el objeto se mueve con una aceleración constante distinta de cero y aquí es distinta de cero y hay una aceleración como que sube hacia arriba, porque al estar yendo la raya hacia arriba yo interpreto que hay una aceleración.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que las alumnas 2 y 7 y el alumno 9 muestran la misma dificultad en la cuestión 18, tratan de razonar, pero acaban eligiendo la opción que contiene las palabras disminuye uniformemente, que es lo que ven.

Cuestión 18

En las entrevistas encontramos las siguientes repuestas:

(líneas 16, 17 y 18)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 18?

Alumna 2: Elijo la "b" que es: el objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente, porque si disminuye es que se va haciendo más pequeña.

(líneas 49 y 50)

Alumno 5: para mí la gráfica dice que el objeto frena, así que a opción "a": el objeto se mueve con una aceleración constante, no es parábola, no creo que sea.

(líneas de la 73 a la 80)

Alumna 7: (lee) la(A): el objeto se mueve con una aceleración constante, yo creo que sí... bueno no, no tiene aceleración porque cuando tenía aceleración es cuando era una parábola. (sigue leyendo) la (B): el objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente, mmm, no creo porque sigue siendo aceleración y ya he descartado que tenga aceleración. Yo creo que el objeto se mueve a una velocidad constante, ¿no?... no, a ver, a ver, me estoy rayando, sería una velocidad constante si fuera una línea recta, porque es una gráfica de velocidad-tiempo... pues, mmm, la (B), que el objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente.

(líneas 107, 108 y 109)

Alumno 9: a ver, he escogido la "b": que el objeto se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente, porque la velocidad está disminuyendo constantemente, entonces tiene que tener una aceleración negativa.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que los alumnos 8 y 10 muestran la confusión visual en la cuestión 2, que hemos llamado dificultad 5. Eligen las opciones que contienen las palabras aumenta uniformemente, independientemente de la magnitud representada en los ejes.

Por lo tanto, se confirma que la dificultad 5 es la que más aparece en estas respuestas.

Objetivo 5- Seleccionar la gráfica correspondiente a una descripción textual determinada.

Cuestión 7

A continuación, se muestran algunas entrevistas que ilustran esta cuestión:

(líneas 4-7)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?

Alumna 1: Estoy entre la C y la E porque como empieza con aceleración positiva, no estoy segura cuál de los dos gráficos es, pero las otras no pueden ser porque es velocidad constante, entonces significa que sigue moviéndose.

(líneas 29 y 30)

Alumno 3: elijo la C porque primero hace parábola y luego sigue recta, que es velocidad constante.

(líneas 35, 36 y 37)

Alumna 4: al decir que es con aceleración constante y está en posición-tiempo, yo diría que forma una parábola y luego velocidad constante, que está recta (horizontal), es decir que la A, B o D.

(líneas 100, 101 y 102)

Alumno 9: yo diría que es la C, ya que al principio hay una aceleración y es una parábola, y luego, sobre el segundo 10, ya empieza a ser constante y no serían las demás porque, por ejemplo, en la A, B y D, a los 10 segundos la posición se para y la E es aceleración todo el rato.

(líneas 148, 149 y 150)

Alumna 13: sería la A porque si hay aceleración es una parábola, y después si es constante es una recta. La D también es parábola y recta pero no puede ser porque es aceleración positiva, la aceleración va aumentando, así que la A.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que:

- Las alumnas 3 y 13 insisten en las opciones con un tramo horizontal, ya que se pide velocidad constante. Ponen de nuevo de manifiesto la dificultad 5 al no fijarse en la magnitud representada, que es la posición, no la velocidad.
- El alumno 9 aporta un dato muy interesante. Su razonamiento es correcto, pero descarta la opción buena (E) porque la forma de la gráfica confunde, parece una parábola todo el intervalo de tiempo, cuando en realidad es una parábola los 10 primeros segundos y luego es una recta de pendiente positiva. Esta información la tendremos en cuenta a la hora de seleccionar los ítems del cuestionario final, puesto que el diseño de la gráfica confunde al alumnado.

Cuestión 9

En las entrevistas encontramos:

(líneas 12, 13, 14 y 15)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 9?

Alumna 2: He elegido la C, sólo la gráfica (III) porque la velocidad es una línea recta y en las otras hace pendiente y eso es que va acelerando, y podría ser la (V) pero no se supone que si...para que haya velocidad constante no tiene que haber aceleración y tendría que ser cero.

(líneas 123 y 124)

Alumno 10: yo diría que la (I) sí que se mueve a velocidad constante, la (II) no porque está acelerando, la (III) diría que sí, la (IV) no y la (V) sí, así que la (I), (III) y (V), opción E.

(líneas 140 y 141)

Alumna 12: yo diría que es la (III) y la (V), la (III) la velocidad es constante y la (V) dice que hay una aceleración, pero como va igual, yo diría que es velocidad constante.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que:

- La alumna 2 elige la opción “obvia” en la cuestión 9 y en este caso, no coincide con la correcta. Esta era una de las dificultades que vimos en este objetivo.
- El alumno 10 y la alumna 12 muestran la dificultad 5 en la cuestión 9, al escoger la gráfica (V) como velocidad constante, porque es lo que ven.

Cuestión 15

En las entrevistas encontramos:

(líneas 26, 27 y 28)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 15?

Alumno 3: la B, la gráfica (IV) y (V) porque se incrementa uniformemente.

(líneas 43-47)

Alumno 5: a ver, me piden aceleración que se incrementa uniformemente, así que descarto la (I), que no se mueve, la (II) y la (III), que son velocidad constante y por tanto no hay aceleración, la velocidad de la (IV) sí que se ve que aumenta uniformemente, o sea que la aceleración también tiene que ser esa, y la (V) hay aceleración y... lo que no me acuerdo... bueno, yo diría que la opción B, la (IV) y la (V).

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que los alumnos 3 y 5 muestran la misma dificultad 5 en la cuestión 15 al elegir las gráficas (IV) y (V) en las que algo se incrementa uniformemente, como pide el enunciado, sin tener en cuenta la magnitud representada.

Cuestión 17

En las entrevistas vemos:

(líneas 58, 59 y 60)

Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 17?

Alumna 6: veo aceleración constante en la V, en la IV no, y las demás son de velocidad y posición, así que sólo la V, opción B.

El análisis de las respuestas obtenidas en las entrevistas muestra que la alumna 6 en la cuestión 17 elige la opción “obvia” que, en esta cuestión tampoco es la correcta, puesto que hay otra gráfica que no es obvia pero también representa lo que pide el enunciado.

De nuevo, las entrevistas ilustran todas las dificultades encontradas en el análisis de los resultados cuantitativos.

4.3 DIFICULTADES ENCONTRADAS EN LA INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS DE CINEMÁTICA

El estudio detallado cuantitativa y cualitativamente de cada una de las cuestiones nos lleva a la conclusión de que el alumnado presenta 6 dificultades distintas cuando interpreta gráficas de cinemática:

- **D0:** confundir la forma de la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil.
- **D1:** confundir la pendiente con el valor de la ordenada.
- **D2:** calcular el cociente entre magnitudes en lugar del cociente entre los incrementos de dichas magnitudes.
- **D3:** calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes.
- **D4:** esta dificultad aparece cuando se pide asociar dos gráficas que representan el mismo movimiento pero distintas magnitudes en el eje de ordenadas, y el/la estudiante eligen aquellas gráficas que tienen la misma forma. Es una dificultad para relacionar gráficas.
- **D5:** confusión visual: esta dificultad aparece cuando se pide asociar una gráfica a una descripción textual y el/la estudiante eligen la opción de texto que contenga la forma de la gráfica que ven, independientemente de la magnitud que esté representada en los ejes.

La Tabla 10 muestra el porcentaje del alumnado que presenta cada una de estas dificultades. En la tercera columna se muestra el porcentaje de cada cuestión. En la cuarta columna se calculan porcentajes medios de todas las cuestiones que trabajan esa dificultad.

Tabla 10. Porcentajes de elección de las opciones erróneas agrupadas por dificultad.

DIFICULTAD	OPCIÓN/CUESTIÓN		PORCENTAJE		PORCENTAJE MEDIO
D0	A/ (Q6)	B/ (Q6)	13,0%	19,3%	16,2%
D1	E / (Q3)	E / (Q14)	40,6%	33,0%	32,4%
	B / (Q10)	C / (Q1)	25,7%	22,4%	
	E / (Q4)	D / (Q5)	35,3%	37,4%	
D2	D / (Q3)	D / (Q14)	38,8%	26,5%	26,4%
	A / (Q4)	C/ (Q5)	21,6%	18,7%	
D3	A / (Q3)	C / (Q14)	1,9%	13,0%	8,3%
	C / (Q4)	B / (Q5)	5,4%	12,8%	
D4	A / (Q8)	A / (Q11)	25,9%	20,3%	19,7%
	B / (Q12)	C / (Q16)	18,1%	14,6%	
D5	C / (Q2)	E / (Q2)	25,6%	21,1%	25,9%
	C / (Q6)	B / (Q13)	15,9%	13,4%	
	D / (Q13)	B / (Q18)	28,7%	65,7%	
	C / (Q18)	B / (Q19)	16,2%	12,8%	
	D / (Q19)	C / (Q9)	38,4%	24,4%	
	D / (Q9)	B / (Q15)	27,3%	27,7%	
	D / (Q15)	E / (Q17)	27,7%	18,5%	
	B / (Q20)	D / (Q20)	33,3%	17,7%	

En la siguiente fase de la investigación, vamos a proponer una intervención para la enseñanza y el aprendizaje de las gráficas de cinemática que trate de minimizar estos errores, trabajando cada una de las dificultades. Además, en el diseño del cuestionario para evaluar en qué medida esta propuesta didáctica contribuye a superar estas dificultades habrá que tener en cuenta los resultados obtenidos en el cuestionario de diagnóstico que muestran que algunas cuestiones falsean un poco los resultados, bien porque la gráfica es confusa (cuestión 7) o porque la respuesta es obvia y aciertan tanto los que interpretan correctamente las gráficas, como los que no lo hacen (cuestiones 15 y 20).

5 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS

Para contrastar la segunda hipótesis, se han planteado los dos objetivos de investigación siguientes:

- 1) Diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de las gráficas de cinemática.
- 2) Evaluar en qué medida esta propuesta didáctica contribuye a superar las dificultades de aprendizaje detectadas en el alumnado.

5.1 DISEÑO DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS GRÁFICAS DE CINEMÁTICA

El currículo básico de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato en España (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015; Consellería de Educación, Cultura y Deporte, 2015) establece en los contenidos y criterios de evaluación de las asignaturas de física y química que el alumnado debe ser capaz de interpretar y utilizar representaciones gráficas de las magnitudes fundamentales de la cinemática: posición, velocidad y aceleración. Sin embargo, son un problema bien conocido las dificultades que presenta el alumnado de cualquier nivel educativo a la hora de interpretar estas gráficas, e incluso se han desarrollado herramientas para evaluar su capacidad para interpretarlas (Beichner, 1994; Zavala et al., 2017). En general, el alumnado presenta dificultades para relacionar las representaciones gráficas de cinemática con los conceptos físicos y con el mundo real.

La Tabla 11 muestra las actividades propuestas para superar cada una de las dificultades detectadas en el alumnado en el diagnóstico realizado previamente.

Tabla 11. Actividades propuestas para superar cada una de las dificultades detectadas.

DIFICULTAD	ACTIVIDAD PROPUESTA
D0: confundir la forma de la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil.	Uso de sensores de movimiento y corporeización. El alumnado se mueve y visualiza la gráfica simultáneamente en la pantalla, lo que le permitirá comprender que la gráfica no representa su trayectoria.
D1: confundir la pendiente con el valor de la ordenada.	Uso de sensores de movimiento y del programa <i>DataStudio</i> . Se pide al alumnado que calcule la velocidad con que se mueve para que entienda que no la puede leer directamente en la gráfica posición-tiempo.
D2: calcular el cociente entre magnitudes en lugar del cociente entre los incrementos de dichas magnitudes.	Uso de sensores de movimiento y de la herramienta “incremento” del programa <i>DataStudio</i> . Uso de la simulación por ordenador “El hombre móvil” del PhET. Se pide al alumnado que calcule la velocidad media cuando los valores iniciales no son cero.
D3: calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes.	Uso de sensores de movimiento y del programa <i>DataStudio</i> para que el alumnado observe la distinta escala de los ejes al hacer cálculos de velocidades medias.
D4: relacionar gráficas que representan diferentes magnitudes de un mismo movimiento.	Juego de tarjetas gráficas que facilitan establecer relaciones entre las distintas magnitudes del movimiento y su representación gráfica.
D5: confusión visual. Seleccionar la gráfica por la forma que presenta sin tener en cuenta la magnitud representada.	Juego de tarjetas gráficas que permitan seleccionar la gráfica correcta de la magnitud representada.

En un principio, cuando se diseñó esta investigación, la propuesta para la SEA era trabajar con los sensores de movimiento y la simulación del PhET. Al empezar a desarrollar la investigación y, sobre todo, en la fase de las entrevistas personales, se vio que la SEA propuesta inicialmente no iba a cubrir todas las dificultades encontradas en el alumnado al interpretar gráficas. Aparecía una dificultad, no descrita en la literatura consultada, relativa a relacionar gráficas del mismo movimiento.

McDermott et al. (1987) hace referencia a la dificultad de relacionar un tipo de gráfica con otra, pero no profundizan en la causa de esta dificultad.

Las entrevistas personales pusieron de manifiesto la paradoja que causa en un estudiante el hecho de “ver” una gráfica e “inferir” lo que la gráfica representa. Por ejemplo, “ven” una recta paralela al eje de abscisas, su mente les está diciendo que la magnitud representada en ordenadas permanece constante con el tiempo, pero tienen que elegir el texto “la velocidad aumenta uniformemente”, puesto que la magnitud representada en la primera gráfica era la aceleración.

Siguiendo el modelo propuesto por Guisasola, Zuza, Ametller y Gutierrez-Berraondo (2019), fundamentado en la metodología de Investigación Basada en el Diseño, el rediseño y refinamiento como proceso iterativo permite diseñar y evaluar las secuencias de enseñanza aprendizaje de manera que estén relacionadas con la progresión de los estudiantes en el aprendizaje. La secuencia de enseñanza aprendizaje propuesta debe ser evaluada (Guisasola, Ametler y Zuza, 2021) y, por tanto, tras los resultados del cuestionario diagnóstico, rediseñamos la SEA y propusimos una tercera actividad, añadida al uso de los sensores de movimiento y el simulador del PhET. Esta actividad es un juego de tarjetas gráficas diseñadas exclusivamente para ayudar al estudiante a superar esa paradoja creada en

su mente cuando tiene que conectar lo que “ve” en una gráfica y lo que “representa físicamente” esa gráfica.

La secuencia de enseñanza-aprendizaje diseñada consta, pues, de tres tipos de actividades diferentes para ayudar al alumnado a superar sus dificultades de interpretación de gráficas de cinemática mediante el uso de sensores de movimiento, simulaciones por ordenador y un juego de tarjetas (Orero y Esteve, 2019). Estas actividades se plantean una vez se han introducido las magnitudes fundamentales (posición, velocidad y aceleración) y los tipos de movimiento (rectilíneo uniforme, MRU, y rectilíneo uniformemente acelerado, MRUA) en el tema de cinemática.

5.1.1 Obtención de gráficas con sensores de movimiento

La primera actividad consiste en el uso de sensores de movimiento PASCO, con su correspondiente software *DataStudio*. Cada estudiante se moverá delante del sensor observando y analizando la gráfica posición-tiempo de su movimiento generada simultáneamente en la pantalla del ordenador (Figura 2).



Figura 2. Estudiantes generando la gráfica posición-tiempo con el sensor de movimiento y software de PASCO.

El programa *DataStudio* tiene numerosas herramientas que permite analizar en cada punto de la gráfica obtenida variables como: coordenadas, incrementos, pendiente... En el anexo II se especifica cada una de estas funciones con capturas de pantalla.

Se ha comprobado que la utilización de sensores de movimiento puede ayudar a superar ciertas dificultades en la interpretación de gráficas de cinemática (Orero, Solbes y Esteve, 2018).

Esto es especialmente cierto con la dificultad D0: confundir la forma de la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil. Al utilizar su propio cuerpo moviéndose y visualizar directamente la gráfica producida en la pantalla del ordenador, el/la estudiante asocia la gráfica con el movimiento real y se da cuenta de que no tiene nada que ver con su trayectoria. Se está moviendo en línea recta sobre el suelo horizontal y, sin embargo, obtiene una recta con pendiente (positiva o negativa según se acerque o aleje del sensor). Aprovechamos también esta actividad para trabajar las dificultades: D1, D2 y D3.

Para el estudio del MRU, se pide al estudiante que realice una serie de determinados movimientos (por ejemplo, no moverse, acercarse al sensor a velocidad constante, alejarse del sensor a velocidad constante, etc.) y conteste una serie de cuestiones observando la gráfica posición-tiempo que ha generado con su movimiento (Figura 3).

Con estas cuestiones se pretende que el alumnado se familiarice con la interpretación de gráficas de cinemática, se acostumbre a buscar las coordenadas de cada punto y calcule la velocidad como el cociente de incrementos. La pregunta “¿puedes leer directamente la velocidad en el eje de ordenadas?” está hecha para superar la dificultad detectada D1. Las cuestiones que piden la velocidad media en un intervalo en el que ni la posición inicial, ni el tiempo inicial, son cero están orientadas a superar la dificultad D2.

Como el programa *DataStudio* no da la escala de los ejes de unidad en unidad, el cálculo de la pendiente para calcular la velocidad media también ayuda a superar la dificultad D3. El alumnado debe ajustar cada vez la escala a los valores obtenidos, lo que le obliga a fijarse en la división de cada eje y razonar cuánto vale cada marca en la escala. Ya no es obvio que cada marca sea una unidad de medida.

Act.1-Pon la carpeta delante del sensor a una cierta distancia (uno o dos palmos) y mantenla quieta. Haz clic en “inicio”. Observa la gráfica. Pulsa el botón “detener” al cabo de unos 10 segundos.

- a) ¿Qué lees en los ejes de la gráfica?
- b) ¿Qué forma tiene la gráfica? Dibújala.

Utiliza la herramienta inteligente del *DataStudio*.

- c) Cuando han pasado 3 segundos ¿Qué información te da la gráfica?
- d) ¿Y a los 5 segundos?
- e) ¿Ha cambiado la posición?

Act.2- Sujeta la carpeta a la misma altura que el sensor, pulsa el botón de “inicio” y camina alejándote de el sensor a velocidad constante durante unos 6 segundos y haz clic en “detener”. Observa la gráfica.

- a) ¿Qué forma tiene ahora la gráfica? Dibújala.
- b) Con la herramienta inteligente del *DataStudio* calcula:
 - La posición cuando ha pasado 1 segundo =
 - La posición a los 3 segundos =
 - La velocidad en ese intervalo (de 1 a 3 segundos) =
 - La posición a los 2 segundos =
 - La posición a los 4 segundos =
 - La velocidad en ese intervalo (de 2 a 4 segundos) =

- c) Compara ambas velocidades. ¿Qué puedes concluir?
- d) ¿puedes leer directamente la velocidad en el eje de ordenadas? ¿por qué?

Act.3- Desde donde te has quedado antes, sujeta la carpeta a la misma altura que el sensor, pulsa el botón de “inicio” y camina acercándote al sensor a velocidad constante durante unos 6 segundos. Pulsa el botón “detener”. Observa la gráfica.

- a) ¿Qué forma tiene ahora la gráfica? Dibújala.
- b) Con la herramienta inteligente del *DataStudio* calcula:
 - La posición a los 2 segundos =
 - La posición a los 4 segundos =
 - La velocidad en ese intervalo =

Figura 3. Ficha de trabajo para la obtención y análisis de gráficas con sensores de movimiento.

A continuación, una vez analizados los MRU de las actividades anteriores, se pide a cada estudiante que genere con su movimiento delante del sensor unas determinadas gráficas para comprobar que sabe relacionar la representación gráfica con el movimiento real (Figura 4).

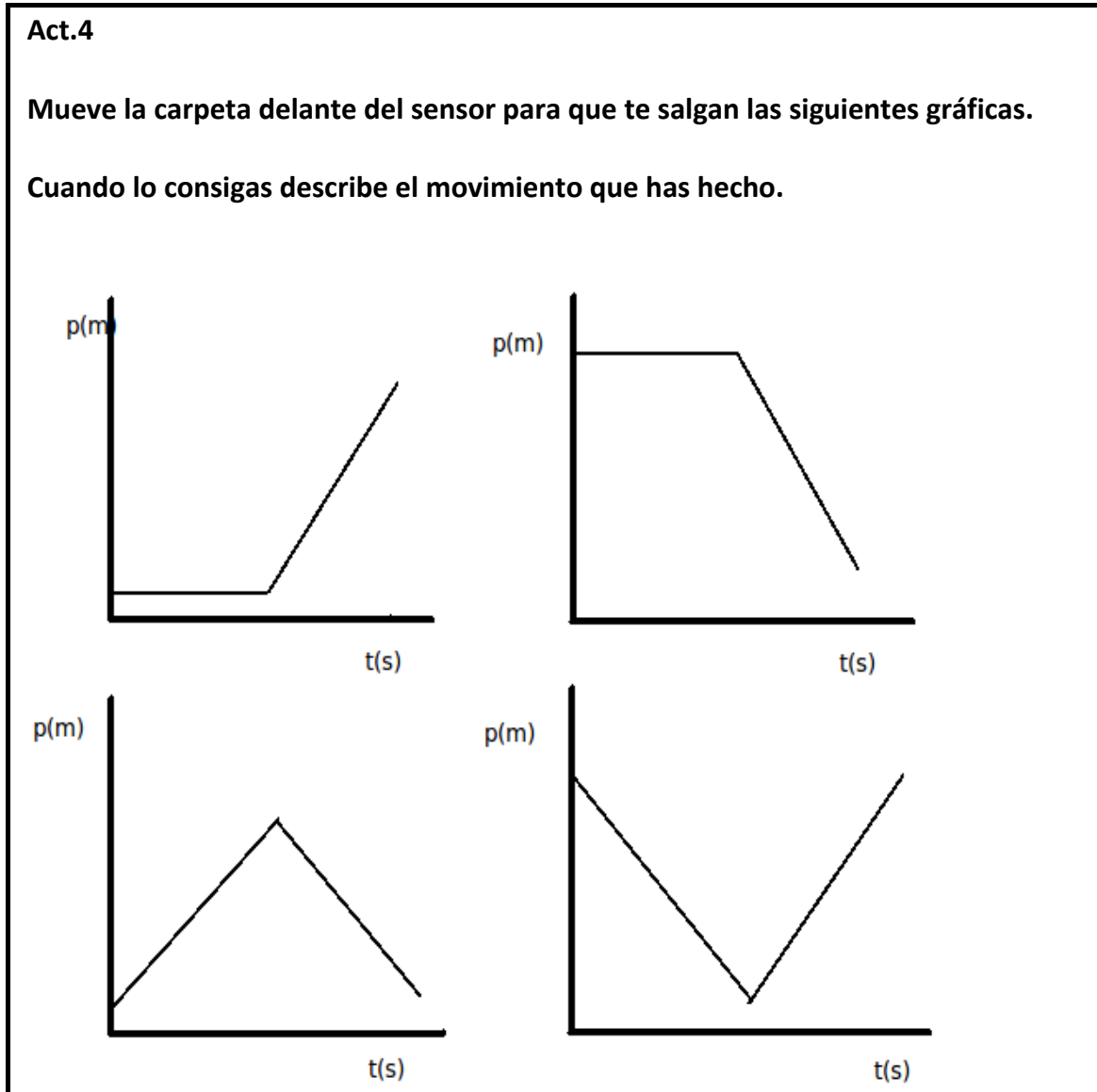


Figura 4. Gráficas que cada estudiante debe generar con su movimiento delante del sensor.

Para el estudio del MRUA y la introducción del cálculo de la aceleración, se utiliza la caída libre vertical o el deslizamiento por un plano inclinado de un objeto, puesto que es muy difícil que el alumnado pueda moverse con una aceleración constante delante del sensor. Así, el alumnado dispone de

rampas, balones de baloncesto, carritos... de forma que pueden dejar caer objetos libremente o por el plano inclinado, cambiar el ángulo de inclinación, etc. Tras observar los movimientos producidos y las gráficas generadas con el sensor, se les pide que calculen la velocidad media de caída entre dos puntos (por ejemplo, al empezar a caer por el plano inclinado y casi al llegar abajo) mediante la expresión $V_m = \Delta x / \Delta t$. A continuación, deberá comprobar cuál es el valor de la pendiente de la gráfica en cada uno de esos puntos (que corresponde a la velocidad instantánea del objeto en ese instante) mediante la herramienta “pendiente” del software *DataStudio* (ver anexo II). Se plantea al alumnado que reflexione sobre la diferencia observada entre la velocidad media y la instantánea y los motivos a los que puede deberse esta diferencia.

Con esta actividad se pretende que el alumnado comprenda que la trayectoria descrita en los distintos movimientos no tiene la misma forma que las gráficas recogidas por el sensor con el software *DataStudio*, lo que ayudaría a superar la dificultad D0 (confundir trayectoria con gráfica). El alumnado camina con trayectoria horizontal y la gráfica tiene pendiente (positiva o negativa). El manejo del programa para calcular la pendiente les ayuda a superar las dificultades D1, D2 y D3.

La necesidad de tener que calcular cada vez la velocidad como el cociente entre incrementos ayuda al alumnado a comprender que la velocidad no se puede leer directamente en el eje de ordenadas en la gráfica posición-tiempo. Además, se les ha preguntado si se puede leer directamente en el eje el valor de la velocidad, lo que les habrá hecho reflexionar y superar la dificultad D1 (confundir pendiente con la ordenada).

Como se pide que el cálculo de la velocidad se haga siempre entre valores distintos de cero, el alumnado va superando la dificultad D2: calcular el cociente entre magnitudes en lugar del cociente entre incrementos de dichas magnitudes. El uso de la herramienta “incremento” del *DataStudio* refuerza la superación de dicha dificultad.

El hecho de que el programa *DataStudio* permita elegir la escala de los ejes más adecuada ayuda al alumnado a superar la dificultad D3: calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes.

5.1.2 Análisis del movimiento obtenido con una simulación interactiva por ordenador

Para profundizar en el aprendizaje de las representaciones gráficas de posición, velocidad y aceleración se utiliza la simulación por ordenador “El Hombre Móvil”, que ofrece el proyecto de simulaciones interactivas PhET, Universidad de Colorado (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/moving-man>). Esta simulación interactiva permite establecer unos valores iniciales de posición, velocidad y aceleración (tanto positivos como negativos). Pulsando el botón de “Play”, el “hombre móvil” realizará ese movimiento y se mostrarán, simultáneamente, las tres gráficas de las magnitudes físicas en función del tiempo (Figura 5).

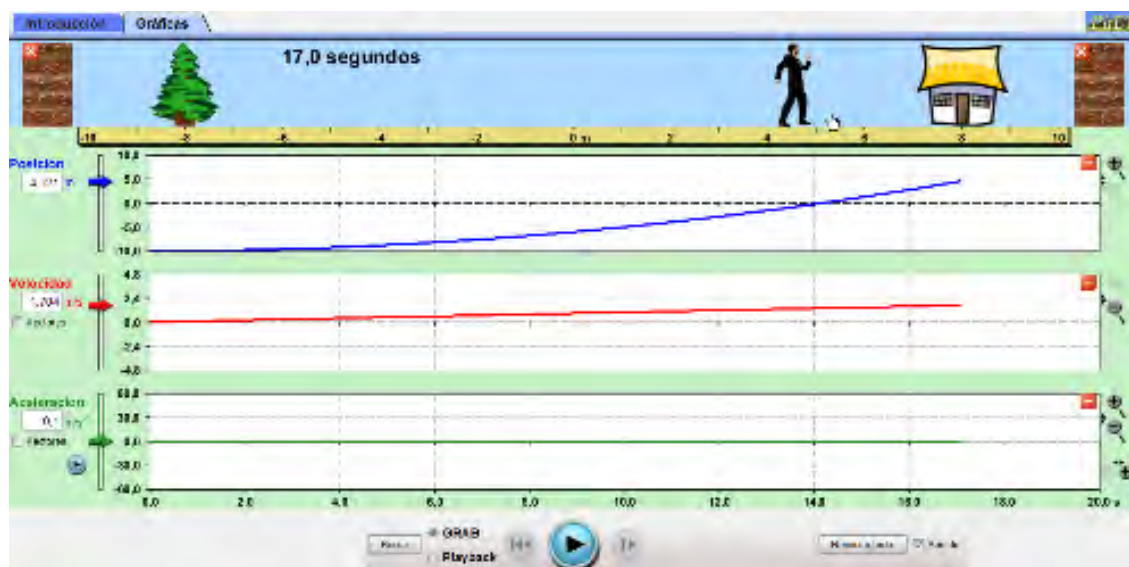


Figura 5. Simulación interactiva por ordenador “El Hombre Móvil”.

En primer lugar, se propone una actividad para que el alumnado calcule velocidades medias haciendo uso de los incrementos de posición y tiempo (Figura 6). Es importante sugerir posiciones iniciales distintas al origen de

coordenadas para evitar la confusión habitual entre el valor de una magnitud y su incremento (dificultad D2).

Con estas actividades se pretende superar, sobre todo, la dificultad detectada D2: confundir el cociente entre magnitudes con el cociente entre sus incrementos.

Además, los sensores PASCO no permiten trabajar con valores de posiciones negativas. El sensor sólo emite y recibe en un sentido de la dirección, el alumnado puede alejarse o acercarse al sensor, pero no puede continuar el movimiento hacia el otro sentido, es decir, no puede ocupar posiciones negativas porque no serían detectadas por el sensor y no aparecerían en la gráfica. Ahora, con la simulación interactiva por ordenador, el alumnado puede trabajar todas las opciones para entender el signo del desplazamiento y de la velocidad media.

1- Introduce los valores iniciales: posición = 2 m; velocidad = 2 m/s; aceleración = 0 m/s²

Pulsa el botón de “Play”. Páralo cuando haya pasado aproximadamente 1 segundo, pulsa el botón de “Pausa”. Anota exactamente los tiempos y posiciones iniciales y finales. Calcula la velocidad media usando la expresión:

$$V_m = \Delta x / \Delta t$$

Tiempo inicial =

Posición inicial =

Tiempo final =

Posición final =

Tiempo transcurrido (Δt) =

Desplazamiento o cambio de posición (Δx) =

Velocidad media ($\Delta x / \Delta t$) =

Vuelve a pulsar el botón de “Play”. Cuando haya pasado aproximadamente 1 segundo, pulsa el botón de “Pausa”. Anota exactamente los tiempos y posiciones iniciales y finales. Calcula la velocidad media.

Tiempo inicial =

Posición inicial =

Tiempo final =

Posición final =

Tiempo transcurrido (Δt) =

Desplazamiento o cambio de posición (Δx) =

Velocidad media ($\Delta x / \Delta t$) =

Compara ambos valores de la velocidad media.

2- Reinicia la simulación por ordenador. Introduce los valores iniciales: posición inicial = 8m (casa); velocidad = 1 m/s; a = 0 m/s². Pulsa el botón de “Play”. ¿Qué pasa? ¿Cómo puedes hacer que el hombre móvil vaya hacia el árbol?

3- Reinicia la simulación por ordenador. Introduce los valores iniciales: posición inicial = 6 m. velocidad = -2 m/s; a = 0 m/s². Antes de pulsar el botón de “Play”, calcula cuánto tardará el hombre móvil en llegar al árbol (x = -8 m), usando la definición de V_m . Luego pulsa el botón de “Play” y comprueba tu resultado. ¿Es correcto?

CONCLUSIÓN: la velocidad es positiva cuando _____ y es negativa cuando _____

Figura 6. Actividad para el cálculo de velocidades medias con la simulación interactiva por ordenador “El Hombre Móvil”.

A continuación, se propone una actividad para que el alumnado interprete el significado del signo de la aceleración (Figura 7), ya que en 4º de ESO se estudia la caída libre y les cuesta entender que una aceleración negativa puede significar que el objeto vaya cada vez más rápido. Tienen el preconcepto de que aceleración negativa siempre es frenar.

4- Introduce en la simulación por ordenador estas cuatro situaciones, reiniciando todo cada vez. Observa lo que sucede durante los primeros 2 segundos y pulsa el botón "Pausa". Anota si el hombre móvil va cada vez más rápido o más lento.

a) $x_0 = 0 \text{ m}$; $v_0 = 2 \text{ m/s}$; $a = 1 \text{ m/s}^2$ _____

b) $x_0 = 0 \text{ m}$; $v_0 = 2 \text{ m/s}$; $a = -1 \text{ m/s}^2$ _____

c) $x_0 = 0 \text{ m}$; $v_0 = -2 \text{ m/s}$; $a = 1 \text{ m/s}^2$ _____

d) $x_0 = 0 \text{ m}$; $v_0 = -2 \text{ m/s}$; $a = -1 \text{ m/s}^2$ _____

CONCLUSIÓN: El hombre se acelera cuando _____

Y se frena cuando _____

Figura 7. Actividad para interpretar el signo de la aceleración con la simulación interactiva por ordenador "El Hombre Móvil".

Por último, se propone una actividad en la que el alumnado debe dibujar las gráficas posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo obtenidas en la simulación interactiva por ordenador a partir de unos datos iniciales de posición, velocidad y aceleración (Tablas 12 y 13). Con esta actividad se pretende ayudar a superar la dificultad detectada D4: relacionar gráficas que representan diferentes magnitudes de un mismo movimiento. El alumnado visualiza al "hombre móvil" realizando un movimiento y, al mismo tiempo, en la pantalla se construyen tres gráficas de distinta apariencia y que el alumnado asocia a un solo movimiento.

Tabla 12. Movimientos rectilíneos uniformes (MRU) para copiar sus gráficas de la simulación interactiva por ordenador.

Movimiento	Gráfica x-t	Gráfica v-t	Gráfica a-t
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = 3 \text{ m/s}$ $a = 0 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = -3 \text{ m/s}$ $a = 0 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = -10 \text{ m}$ $V_0 = 3 \text{ m/s}$ $a = 0 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = 10 \text{ m}$ $V_0 = -3 \text{ m/s}$ $a = 0 \text{ m/s}^2$			

Tabla 13. Movimientos rectilíneos uniformemente acelerados (MRUA) para copiar sus gráficas de la simulación interactiva por ordenador.

Movimiento	Gráfica x-t	Gráfica v-t	Gráfica a-t
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = 0 \text{ m/s}$ $a = 2 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = 0 \text{ m/s}$ $a = -2 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = 5 \text{ m/s}$ $a = -2 \text{ m/s}^2$			
$X_0 = 0 \text{ m}$ $V_0 = -5 \text{ m/s}$ $a = 2 \text{ m/s}^2$			

5.1.3 Juego de tarjetas sobre descripción de gráficas

Para ayudar a superar las dificultades D4 y D5, se necesita otro tipo de actividad que desarrolle la habilidad del alumnado para relacionar las distintas gráficas que representan un mismo movimiento. Para ello, hemos diseñado un juego de tarjetas sobre descripción de gráficas (Orero y Esteve, 2019).

El alumnado juega por parejas en el aula (como muestra la figura 8), de forma que un estudiante debe describir el movimiento que corresponde a la gráfica que tienen en su tarjeta y su compañero/a debe dibujarla a partir de esa descripción.



Figura 8. Estudiantes jugando con las tarjetas sobre descripción de gráficas.

Para esta actividad, se han diseñado 8 tarjetas diferentes con 2 gráficas del mismo movimiento: posición-tiempo, velocidad-tiempo o aceleración-tiempo (Figura 9). La dificultad de las representaciones gráficas va en orden ascendente con la numeración de las tarjetas. Para jugar, el alumnado también necesita papel cuadriculado, lápiz y calculadora.

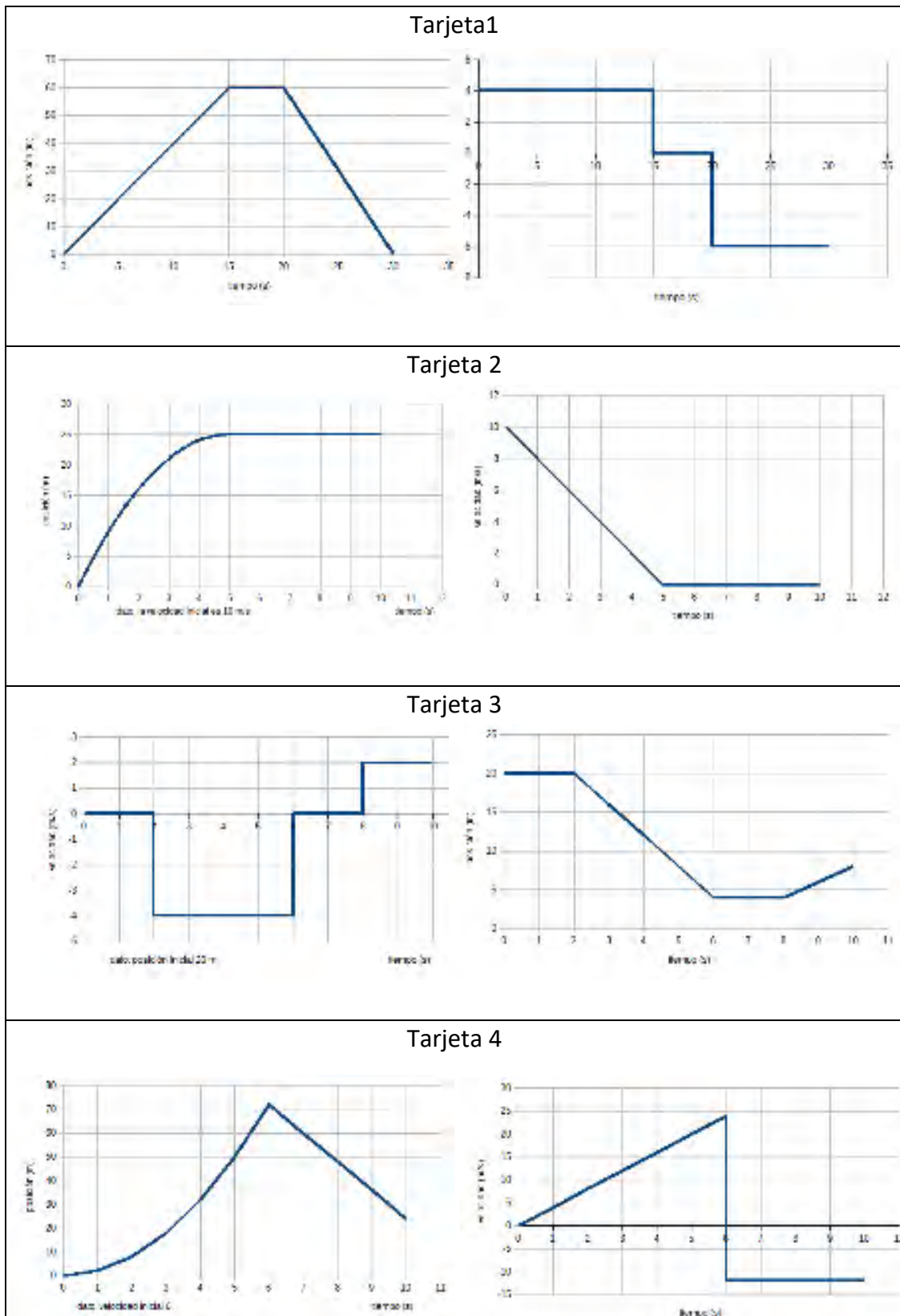


Figura 9. Juego de las tarjetas gráficas.

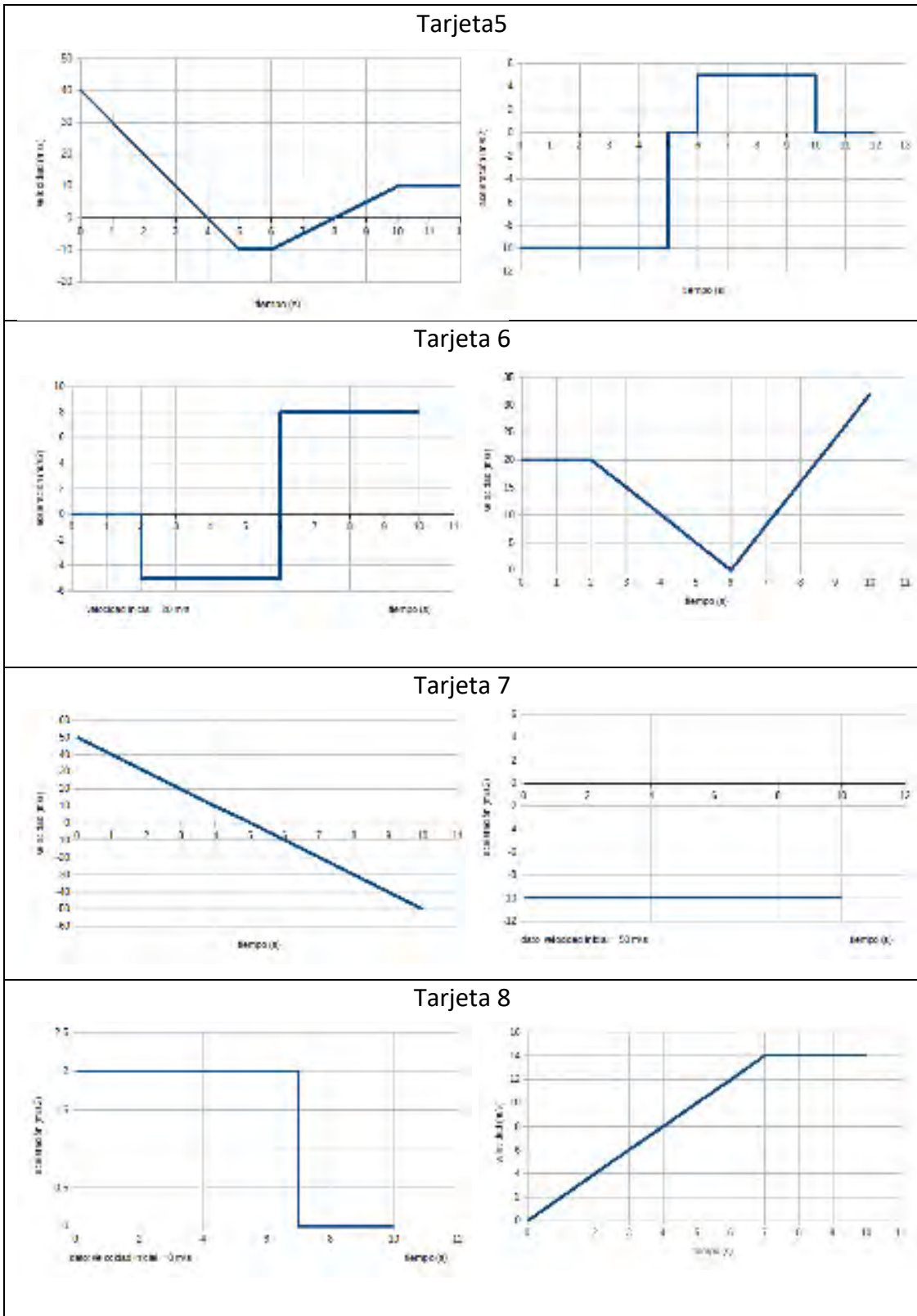


Figura 9 (cont.). Juego de las tarjetas gráficas.

En primer lugar, el/la estudiante que tiene la tarjeta 1 (estudiante 1) debe empezar describiendo la primera gráfica (por ejemplo, posición-tiempo) a su compañero/a (estudiante 2) utilizando expresiones como: *“Haz una gráfica posición-tiempo. En abscisas pones el tiempo en segundos y en ordenadas la posición en metros. Divide el eje x de 5 en 5 s y el eje y de 10 en 10 m. En el instante inicial el objeto se encuentra sobre el origen de coordenadas, y a partir de ahí describe un movimiento uniforme hasta que en $t=15$ s, su posición es 60 m en el eje positivo”*. En esta actividad, el alumnado trabaja la descripción de gráficas mediante un lenguaje y vocabulario adecuado. Si el/la estudiante 2 dibuja bien la gráfica a partir de la descripción que ha hecho el/la estudiante 1, el/la estudiante 2 gana 1 punto. A continuación, el/la estudiante 2 debe intentar representar la segunda gráfica de la tarjeta 1 sabiendo únicamente el tipo de gráfica (por ejemplo, velocidad-tiempo). Si el/la estudiante 2 dibuja bien esta gráfica, gana 3 puntos.

Una vez finalizada la tarjeta 1, la pareja pasa a la tarjeta 2 intercambiándose los papeles: el/la estudiante 1 dibuja las gráficas y el/la estudiante 2 describe el contenido de la tarjeta. Así, cada pareja deberá completar las 8 tarjetas del juego, intercambiándose los papeles en cada cambio de tarjeta. Al finalizar todas las tarjetas, cada estudiante sumará los puntos que ha ganado y los comparará con los de su compañero/a.

Aunque al principio el alumnado encuentra complicada esta actividad, especialmente la parte de dibujar la segunda gráfica de una magnitud diferente a la magnitud que ven en la primera gráfica, a medida que avanza el juego aumenta su capacidad y destreza en la descripción e interpretación de las representaciones gráficas.

5.2 EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La evaluación de la propuesta didáctica se ha realizado mediante un diseño pre-post en el que 117 estudiantes de la asignatura Física y Química de 4º de ESO la han utilizado durante los cursos 2017-18 y 2018-19 para estudiar el tema de cinemática y mejorar su aprendizaje sobre las gráficas de cinemática.

Como se pretende comprobar en qué medida esta propuesta didáctica contribuye a superar las dificultades de aprendizaje detectadas en el alumnado en el apartado 4.3, se ha adaptado el cuestionario descrito en el apartado 3.1.

En primer lugar, como el profesorado de los 5 institutos públicos que pasaron el cuestionario diagnóstico con 20 preguntas a su alumnado comentaron que este era muy largo y al alumnado se le hacía pesado de contestar y, además, el cuestionario contiene muchas cuestiones por cada objetivo, se decidió reducir el número de cuestiones escogiendo dos para cada objetivo. A la hora de escoger las cuestiones, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el apartado 4.3, después del análisis detallado de cada una de las cuestiones. Así, se decidió que las cuestiones 7, 15 y 20 no debían ponerse en el cuestionario final. No obstante, se incluyó la cuestión 8 ya que era la única que trabaja la dificultad D0: confundir la gráfica con la trayectoria.

Por último, se añadió una cuestión adicional (Q12) que recoge una de las dificultades apuntadas por McDermott (1987), en la que se comparan velocidades de dos móviles en la misma gráfica (Figura 10). Todas las cuestiones del TUG-K se refieren al movimiento de un solo móvil, y nos pareció interesante añadir esta cuestión que compara el movimiento de dos móviles representados simultáneamente en la misma gráfica. La dificultad que se está midiendo es la D1: confundir la ordenada con la pendiente, pero la forma de indagar en esta dificultad es distinta al comparar dos móviles a

como lo hace el TUG-K. Nuestra intención es comprobar si esta forma de presentar la pregunta proporciona información nueva sobre las dificultades del alumnado.

Cuestión 12

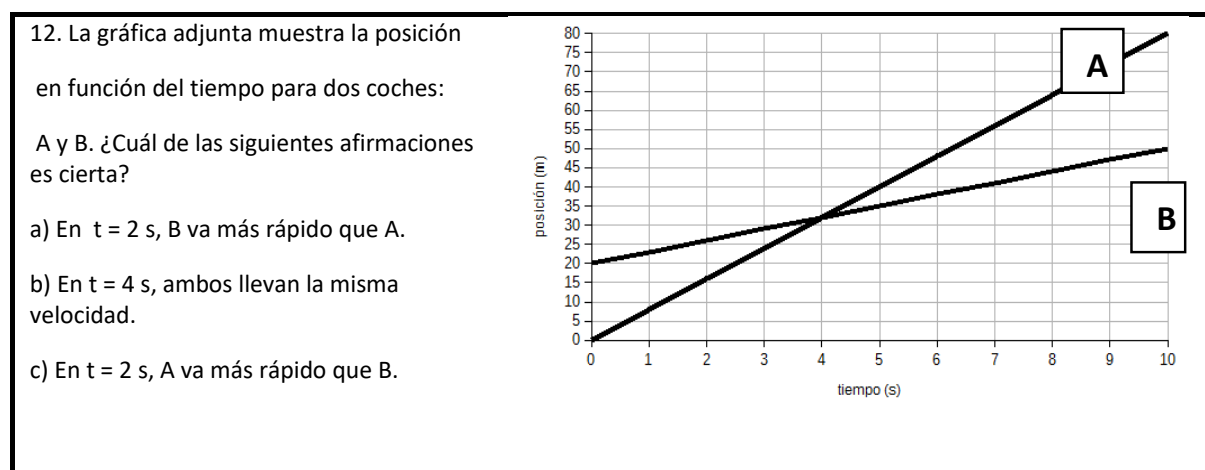


Figura 10. Cuestión 12 del cuestionario del diseño pre-post para evaluar la propuesta didáctica.

En esta pregunta, las opciones de respuesta son:

- Opción (a): corresponde a la dificultad de confundir la ordenada con la pendiente (D1).
- Opción (b): corresponde a la misma dificultad que la opción (a), ya que ven el mismo valor de ordenada (posición) y piensan que corresponde a mismo valor de pendiente (velocidad). Dificultad D1.
- Opción (c): opción correcta.

De esta forma, se pasó de un cuestionario de 20 preguntas a uno de 12. En la Tabla 14 se muestra la relación de cada una de las cuestiones del cuestionario pre-post con su objetivo y las dificultades que trabaja. Debido a la remodelación del cuestionario de 20 preguntas, el número asignado a cada cuestión ha sido modificado, por lo que en la segunda columna se puede ver la cuestión a la que corresponde del cuestionario diagnóstico de 20 preguntas.

Tabla 14. Cuestiones, objetivos y dificultades del cuestionario del diseño pre-post para evaluar la propuesta didáctica.

CUESTIÓN PRETEST-POSTEST	CUESTIÓN GR. CONTROL	OBJETIVO	DIFICULTAD
Q1	Q11	3	D4
Q2	Q1	2	D1, D2 Y D3
Q3	Q13	4	D5
Q4	Q4	2	D1, D2 Y D3
Q5	Q3	1	D1, D2 Y D3
Q6	Q8	3	D4
Q7	Q17	5	D5
Q8	Q6	4	D0
Q9	Q14	1	D1, D2 Y D3
Q10	Q9	5	D5
Q11	Q19	4	D5
Q12	NUEVA	4	D1

Este cuestionario se pasó al alumnado en octubre, cuatro meses antes de la impartición de la propuesta didáctica (pre-test). Posteriormente, se desarrolló la propuesta didáctica en febrero durante 3 sesiones de 55 minutos no consecutivas, intercaladas durante la unidad didáctica de cinemática. En la primera sesión se hace uso de los sensores de movimiento con la ficha correspondiente, en la segunda sesión el alumnado trabaja en el aula de informática la simulación por ordenador “El Hombre móvil” con su ficha correspondiente y en la tercera sesión, que se debe plantear al finalizar la unidad didáctica, se trabajan las tarjetas gráficas. Algunos grupos necesitaron 2 sesiones para trabajar todas las tarjetas gráficas, por lo que en total serían 4 sesiones de 55 minutos. A continuación, se volvió a pasar el cuestionario al alumnado unos 15 días después de terminar la cinemática y haberse examinado de la unidad. Los resultados obtenidos (post-test) se

compararán con los del pre-test, tanto en global como cuestión a cuestión, para ver si hay diferencias significativas entre ambos. Los resultados del post-test también se compararán con los resultados obtenidos para la muestra de control de 210 estudiantes que contestaron al cuestionario de diagnóstico para la detección de las dificultades.

6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CONTRASTAR LA SEGUNDA HIPÓTESIS

En la Tabla 15 se muestra un resumen de los grupos que han participado en este estudio y sus principales características. Cabe recordar que el grupo pre-test y el post-test están formados por los mismos individuos.

Tabla 15. Características de los grupos que han participado en el estudio.

Grupo	nº individuos	Curso académico	¿Qué han estudiado?	Metodología	TEST
CONTROL	210	4ºESO (2016-17)	Tema de cinemática de 4ºESO	Tradicional	20 cuestiones del TUG-K
PRE	117	4ºESO (2017-18) (2018-19)	Tema de cinemática de 3ºESO	Tradicional	12 cuestiones del TUG-K
POST	117	4ºESO (2017-18) (2018-19)	Tema de cinemática de 4ºESO	Intervención	12 cuestiones del TUG-K

6.1 COMPARACIÓN ENTRE EL PRE-TEST Y EL POST-TEST

6.1.1 Comparación de los resultados globales

Las respuestas a cada una de las cuestiones planteadas en el cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica han sido categorizadas en correctas (1) e incorrectas (0), por lo que la puntuación total máxima es 12 y la mínima, 0.

Los grupos pre-test y post-test están formados por los mismos 117 alumnos, por lo que se trata de dos muestras relacionadas.

La Tabla 16 muestra los estadísticos descriptivos para las variables SUMAPRE y SUMAPOST, obtenidas de sumar la puntuación total para cada estudiante. En el anexo III se puede observar en las tablas de frecuencia de cada variable cómo estas se alejan de una distribución normal.

Tabla 16. Estadísticos descriptivos para las variables SUMAPRE y SUMAPOST.

Variable	Media	Desviación estándar
SUMAPRE	2,9	2,5
SUMAPOST	7,4	2,9

La media obtenida en el pre-test es muy baja (2,9/12) ya que el alumnado solo tiene algún recuerdo de lo que estudiaron en el curso anterior (unos 5 meses antes). Sin embargo, la media obtenida en el post-test sale mucho mejor (7,4/12), lo que pone de manifiesto que la secuencia de actividades propuesta mejora el aprendizaje.

Para comparar la media global de los grupos pre-test y post-test se debe elegir entre pruebas paramétricas (prueba t de Student de muestras emparejadas) o no paramétricas (prueba de rangos con signo de Wilcoxon). Para ello, debe comprobarse primero si las variables siguen una distribución normal o no, por lo que se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov tanto para la variable que contiene la suma de las respuestas de todos los ítems del pre-test (SUMAPRE) como para la variable que contiene la suma de las respuestas de todos los ítems del post-test (SUMAPOST). La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos en la prueba de Kolmogorov-Smirnov para las variables SUMAPRE y SUMAPOST.

Tabla 17. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

	Sig. asintótica	P < 0,05
SUMAPRE	0,000	sí
SUMAPOST	0,002	sí

Para ambas variables se obtiene una significación asintótica menor que 0,05, por lo que no siguen una distribución normal y no se pueden aplicar pruebas paramétricas. Por tanto, para comparar ambas variables deberemos usar la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas. Al calcular esta prueba estadística obtenemos los resultados de la Tabla 18.

Tabla 18. Resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas.

	SUMAPRE - SUMAPOST
Z	-9,2 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,000

El valor de la significación asintótica es menor que 0,05, y esto permite afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias globales de los grupos pre-test y post-test, lo que significa que se ha producido una mejora estadísticamente significativa al aplicar la propuesta didáctica.

Para saber si esta diferencia es grande, mediana o pequeña, calculamos el tamaño de efecto. En este caso, como hemos utilizado la prueba de Wilcoxon, el tamaño de efecto se debe calcular con el parámetro “r”, y considerar que es grande cuando $r = 0,5$, medio cuando $r = 0,3$ y pequeño cuando $r = 0,1$ (Fritz, Morris y Richler, 2012). En nuestro caso, se calcula de la forma siguiente:

$$r = |Z|/\sqrt{N} \quad \text{donde} \quad Z = -9,2 \text{ y } N = 117+117 = 234$$

Se obtiene un valor del tamaño de efecto $r = 0,6$, que permite considerar que esta diferencia entre las medias globales de los dos grupos pre-test y post-test es grande.

6.1.2 Comparación de los resultados de cada ítem

La figura 11 muestra el porcentaje de aciertos obtenidos para cada ítem del cuestionario en el pre-test y el post-test, donde también se observa la mejoría indicada por los estadísticos descritos anteriormente. En todas las cuestiones se observa mejoría, aunque en unas más que en otras.

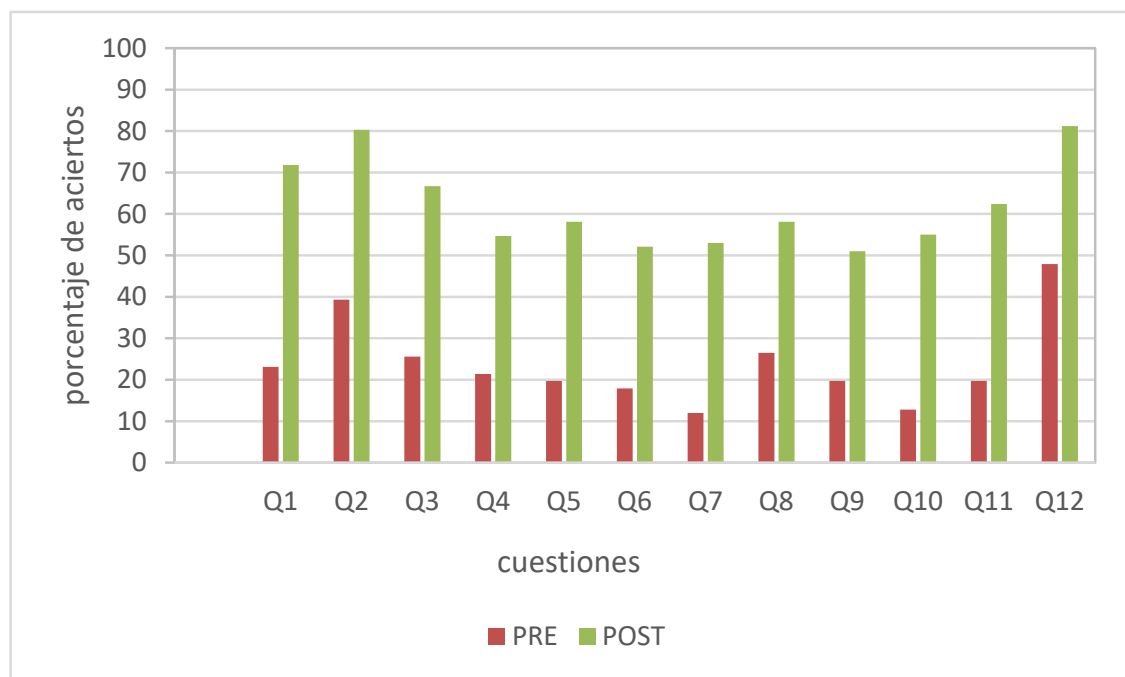


Figura 11. Comparación del porcentaje de aciertos en el pre-test y el post-test.

Las Tablas 19 y 20 muestran el análisis de las cuestiones una a una para el pre-test y el post-test, respectivamente.

Tabla 19. Porcentaje de estudiantes que eligen cada una de las opciones (A, B, C, D, E) para cada cuestión del pre-test. En rojo se indica la opción correcta.

PRE	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
%A	36,8	2,6	25,6	7,7	6,0	36,8	23,1	18,8	19,7	7,8	5,9	17,1
%B	23,1	23,9	23,1	21,4	0,8	14,5	15,4	27,4	8,5	12,8	15,4	35,0
%C	17,1	29,1	2,5	11,1	19,7	12,0	12,0	17,1	9,4	22,2	19,7	47,9
%D	17,1	5,1	47,9	12,8	21,4	17,9	6,8	26,5	9,4	44,4	57,3	0
%E	5,9	39,3	0,9	47,0	52,1	18,8	42,7	10,2	53,0	12,8	1,7	0

Tabla 20. Porcentaje de estudiantes que eligen cada una de las opciones (A, B, C, D, E) para cada cuestión del post-test. En rojo se indica la opción correcta.

POST	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
%A	6,8	3,4	66,7	17,9	1,7	7,7	6,7	2,5	51,3	1,7	9,4	5,1
%B	71,8	5,1	14,5	54,7	0,9	29,9	19,7	19,7	14,5	54,7	2,5	13,7
%C	6,0	9,4	2,6	11,1	58,1	6,0	53,0	12,0	6,8	21,4	62,4	81,2
%D	5,1	1,7	15,4	7,7	30,8	52,1	8,6	58,1	21,4	13,7	15,4	0
%E	10,3	80,4	0,8	8,6	8,5	4,3	12,0	7,7	6,0	8,5	10,3	0

Para hacer un análisis más detallado de los resultados obtenidos en cada ítem del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica, utilizamos pruebas de homogeneidad marginal para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en cada uno de ellos en el pre-test y el post-test. Como las respuestas de los 12 ítems del cuestionario tienen solo 2 categorías, correcta e incorrecta, se utiliza la prueba no paramétrica de McNemar. También se muestran las tablas de contingencia ya que contienen

información sobre la cantidad de alumnado que ha mejorado o empeorado en cada uno de los ítems del cuestionario. Los estadísticos completos se pueden consultar en el anexo III.

Cuestión 1

En la tabla de contingencia para la cuestión 1 (Tabla 21), en la diagonal principal se observa que 30 estudiantes que se equivocaron en el pre-test siguen haciéndolo en el post-test, mientras que los 24 estudiantes que respondieron correctamente en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test. 60 estudiantes mejoraron su respuesta en el post-test, mientras que tan solo 3 estudiantes que contestaron correctamente en el pre-test se equivocaron en el post-test.

Tabla 21. Tabla de contingencia para el ítem 1 del cuestionario de evaluación.

Q1PRE	Q1POST	
	0	1
0	30	60
1	3	24

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig. asintót.”=0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 1 en el pre-test y el post-test.

En este caso, el tamaño de efecto se debe calcular utilizando la v de Cramer, puesto que se trata de datos categóricos y el estadístico empleado ha sido la prueba de McNemar (Fritz et al., 2012).

La expresión para la V de Cramer es: $V = \sqrt{\frac{Chi^2}{N \cdot gl}}$

donde: $Chi^2 = 49,778$; $N = 117 + 117 = 234$; y gl son los grados de libertad, en este caso $gl = 1$.

Los criterios para determinar el tamaño de efecto son los mismos que para el parámetro “r”, es decir, se considera que es grande cuando $r = 0,5$, medio cuando $r = 0,3$ y pequeño cuando $r = 0,1$.

Se obtiene un valor de 0,46, lo que se puede considerar un tamaño de efecto medio.

Cuestión 2

En la tabla de contingencia para la cuestión 2 (Tabla 22), vemos que 55 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 16 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 39 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 7 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 22. Tabla de contingencia para el ítem 2 del cuestionario de evaluación.

Q2PRE	Q2POST	
	0	1
0	16	55
1	7	39

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 2 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un

valor de 0,39 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 3

En la tabla de contingencia para la cuestión 3 (Tabla 23), vemos que 52 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 35 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 26 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 4 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 23. Tabla de contingencia para el ítem 3 del cuestionario de evaluación.

Q3PRE	Q3POST	
	0	1
0	35	52
1	4	26

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 3 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,41 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 4

En la tabla de contingencia para la cuestión 4 (Tabla 24), vemos que 49 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 43 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 15 que

acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 10 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 24. Tabla de contingencia para el ítem 4 del cuestionario de evaluación.

Q4PRE	Q4POST	
	0	1
0	43	49
1	10	15

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 4 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,32 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 5

En la tabla de contingencia para la cuestión 5 (Tabla 25), vemos que 53 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 41 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 15 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 8 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 25. Tabla de contingencia para el ítem 5 del cuestionario de evaluación.

Q5PRE	Q5POST	
	0	1
0	41	53
1	8	15

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 5 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,37 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 6

En la tabla de contingencia para la cuestión 6 (Tabla 26), vemos que 49 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 47 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 12 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 9 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 26. Tabla de contingencia para el ítem 6 del cuestionario de evaluación.

Q6PRE	Q6POST	
	0	1
0	47	49
1	9	12

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 6 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,33 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 7

En la tabla de contingencia para la cuestión 7 (Tabla 27), vemos que 51 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 52 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 11 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 3 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 27. Tabla de contingencia para el ítem 7 del cuestionario de evaluación.

Q7PRE	Q7POST	
	0	1
0	52	51
1	3	11

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 7 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,42 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 8

En la tabla de contingencia para la cuestión 8 (Tabla 28), vemos que 41 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 45 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 27 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 4 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 28. Tabla de contingencia para el ítem 8 del cuestionario de evaluación.

Q8PRE	Q8POST	
	0	1
0	45	41
1	4	27

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 8 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,35 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 9

En la tabla de contingencia para la cuestión 9 (Tabla 29), vemos que 46 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 48 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 14 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 9 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 29. Tabla de contingencia para el ítem 9 del cuestionario de evaluación.

Q9PRE	Q9POST	
	0	1
0	48	46
1	9	14

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 9 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,32 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 10

En la tabla de contingencia para la cuestión 10 (Tabla 30), vemos que 51 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 51 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 13 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 2 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 30. Tabla de contingencia para el ítem 10 del cuestionario de evaluación.

Q10PRE	Q10POST	
	0	1
0	51	51
1	2	13

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 10 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,43 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 11

En la tabla de contingencia para la cuestión 11 (Tabla 31), vemos que 55 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 39 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 18 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 5 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 31. Tabla de contingencia para el ítem 11 del cuestionario de evaluación.

Q11PRE	Q11POST	
	0	1
0	39	55
1	5	18

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 11 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,41 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Cuestión 12

En la tabla de contingencia para la cuestión 12, vemos que 45 estudiantes han mejorado su respuesta en el post-test, 16 que se equivocaban en el pre-test lo siguen haciendo en el post-test, 50 que acertaban en el pre-test aciertan también en el post-test y 6 han empeorado del pre-test al post-test.

Tabla 32. Tabla de contingencia para el ítem 12 del cuestionario de evaluación.

Q12PRE	Q12POST	
	0	1
0	16	45
1	6	50

El resultado de la prueba de McNemar es que “Sig.asintót.” = 0,000., por lo que es menor que 0,05, pudiéndose rechazar la hipótesis nula, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las respuestas a la cuestión 12 en el pre-test y el post-test. Además, se obtiene un valor de 0,35 para la V de Cramer, lo que indica un tamaño de efecto mediano.

Por lo tanto, las pruebas estadísticas de homogeneidad realizadas para cada una de las parejas pre-test y post-test en cada uno de los ítems del cuestionario muestran que existen diferencias significativas para todos los ítems con un tamaño de efecto mediano. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 33.

Tabla 33. Significación asintótica, V de Cramer y tamaño de efecto para cada uno de los ítems del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica.

CUESTIÓN	Sig. asintótica	Diferencia estadísticamente significativa ($\alpha < 0,05$)	V_{Cramer}	Tamaño de efecto
Q1	0,000	Sí	0,46	Mediano
Q2	0,000	Sí	0,39	Mediano
Q3	0,000	Sí	0,41	Mediano
Q4	0,000	Sí	0,32	Mediano
Q5	0,000	Sí	0,37	Mediano
Q6	0,000	Sí	0,33	Mediano
Q7	0,000	Sí	0,42	Mediano
Q8	0,000	Sí	0,35	Mediano
Q9	0,000	Sí	0,32	Mediano
Q10	0,000	Sí	0,43	Mediano
Q11	0,000	Sí	0,41	Mediano
Q12	0,000	Sí	0,35	Mediano

6.2 COMPARACIÓN ENTRE EL GRUPO CONTROL Y EL POST-TEST

Para comprobar si realmente la intervención ha mejorado el aprendizaje del alumnado sobre la interpretación de las gráficas de cinemática, vamos a comparar el grupo control con el grupo post-test. El grupo control siguió una metodología tradicional para estudiar la unidad didáctica de cinemática, mientras que el grupo post-test aplicó nuestra secuencia de aprendizaje para estudiarlo. Se trata de dos grupos no relacionados, ya que no son los mismos estudiantes. Además, el grupo control contestó a las 20 preguntas del cuestionario de diagnóstico descrito en el apartado 3.1, mientras que el grupo post-test contestó a las 12 preguntas del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica descrito en el apartado 5.2, por lo que en este

apartado solo se van a poder comparar las 11 preguntas comunes en ambos cuestionarios.

6.2.1 Comparación de los resultados globales

Para comprobar si la variable que contiene la suma de las respuestas de todos los ítems del grupo control (SUMACONTROL) sigue una distribución normal o no, se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Al realizar esta prueba, se obtiene una significación asintótica menor que 0,05, por lo que esta variable no sigue una distribución normal y no se pueden aplicar pruebas paramétricas.

La variable SUMAPOST ha sido analizada en el apartado 6.1 y tampoco seguía una distribución normal, por lo tanto, para comparar las medias globales del grupo control y el post-test debemos aplicar una prueba estadística no paramétrica para grupos independientes, en este caso, la prueba U de Mann-Whitney. Al calcular esta prueba estadística obtenemos un valor de la significación asintótica “Sig.asintótica”= 0,000, menor que 0,05, por lo que podemos afirmar que la diferencia entre las medias globales de los dos grupos es estadísticamente significativa. Esto significa que la mejora que se ha producido en el grupo post-test con la propuesta didáctica es estadísticamente significativa. Los resultados de las pruebas estadísticas se pueden consultar en el anexo III.

Al utilizar la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, el tamaño de efecto se debe calcular con el parámetro “r” (Fritz et al., 2012). En este caso, obtenemos un valor del tamaño de efecto $r = 0,43$, que significa que la diferencia entre las medias globales del grupo control y post-test tiene un tamaño entre mediano y grande. Esto es importante porque confirma que la intervención ha mejorado significativamente el aprendizaje sobre las gráficas en cinemática.

6.2.2 Comparación de los resultados de cada ítem

Para hacer un análisis cuestión a cuestión, usamos las tablas de contingencia con el estadístico no paramétrico Chi-cuadrado.

Para la cuestión 1 se obtiene la Tabla 34, que nos dice que fallaron 114 de 210 estudiantes del grupo control (54,3%), así como también fallaron 33 de 117 estudiantes del grupo post-test (28,2%). Además, lo que es más interesante, nos dice que acertaron un 45,7% (96/210) en el grupo control y un 71,8% (84/117) en el grupo post-test. Estas cifras son las que nos ayudan a entender en qué cuestiones los estudiantes han mejorado más y por ello están en rojo.

Tabla 34. Tabla de contingencia con el estadístico no paramétrico Chi-cuadrado para el ítem 1 del cuestionario de diagnóstico del grupo control y del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica del grupo post-test.

			GRUPO		Total
			1	2	
Q1	0	Recuento	114	33	147
		% dentro de GRUPO	54,3%	28,2%	45,0%
	1	Recuento	96	84	180
		% dentro de GRUPO	45,7%	71,8%	55,0%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

En el anexo IV se pueden consultar las tablas para el resto de las cuestiones, cuyos principales resultados se recapitulan en la Tabla 35, que recoge el porcentaje de aciertos en ambos grupos: control y post-test (las cifras indicadas en rojo).

Tabla 35. Comparativa de aciertos para cada uno de los ítems comunes del cuestionario del grupo control y del cuestionario del grupo post-test.

CUESTIÓN	% aciertos Grupo control	% aciertos Grupo post-test	diferencia
Q1	45,7	71,8	+26,1
Q2	47,6	80,3	+32,7
Q3	56,2	66,7	+10,5
Q4	31,9	54,7	+22,8
Q5	17,6	58,1	+40,5
Q6	42,4	52,1	+9,7
Q7	25,2	53,0	+27,8
Q8	41,9	58,1	+16,2
Q9	15,7	51,3	+35,6
Q10	27,6	54,7	+27,1
Q11	35,7	62,4	+26,7

Observamos que hay una diferencia importante en todas las cuestiones excepto la Q3 y Q6. Esto nos lo confirma el estadístico para muestras no relacionadas Chi-cuadrado. Sus valores, junto con la significación asintótica bilateral se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Significación asintótica, Chi cuadrado y V de Cramer para cada uno de los ítems comunes del cuestionario de diagnóstico del grupo control y del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica del grupo post-test.

ÍTEM	Sig. asintótica	Diferencia estadísticamente significativa ($\alpha < 0,05$)	V de Cramer	Tamaño del efecto
Q1	0,000	SÍ	0,3	Mediano
Q2	0,000	SÍ	0,3	Mediano
Q3	0,064*	NO	0,1	Pequeño
Q4	0,000	SÍ	0,2	Pequeño
Q5	0,000	SÍ	0,4	Mediano
Q6	0,090*	NO	0,1	Pequeño
Q7	0,000	SÍ	0,3	Mediano
Q8	0,005	SÍ	0,2	Pequeño
Q9	0,000	SÍ	0,4	Mediano
Q10	0,000	SÍ	0,3	Mediano
Q11	0,000	SÍ	0,3	Mediano

Cuando el valor de la significación asintótica es menor a 0,05, se puede concluir que la diferencia entre los valores medios para esa cuestión es estadísticamente significativa, y esto ocurre en todas las cuestiones excepto en la Q3 y Q6.

Como los datos son categóricos y la prueba estadística utilizada ha sido Chi cuadrado, el tamaño de efecto se debe calcular con la V de Cramer, cuya expresión y criterios hemos visto en el apartado 6.1.2 (Fritz et al., 2012).

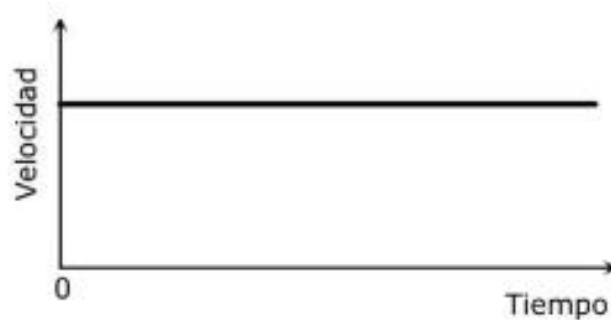
Tenemos dos cuestiones con un tamaño de efecto pequeño (Q4, Q8) y siete con tamaño de efecto mediano (Q1, Q2, Q5, Q7, Q9, Q10, Q11). La Q3 y Q6 ya hemos dicho que no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Las pruebas estadísticas de cada una de las cuestiones están en el anexo IV.

A continuación, estudiaremos qué ha pasado en las dos cuestiones que no ha habido mucha mejoría.

Cuestión 3 (equivale a la cuestión 13 en el TUG-K)

13- En la gráfica se muestra la velocidad de un objeto que se mueve en una línea recta. Escoge la afirmación que represente al movimiento del objeto.



- (A) El objeto se mueve incrementando su posición uniformemente.
- (B) La posición del objeto es constante.
- (C) El objeto se mueve incrementando su aceleración uniformemente.
- (D) El objeto se mueve con aceleración constante diferente de cero.
- (E) El objeto se mueve con una velocidad que aumenta uniformemente.

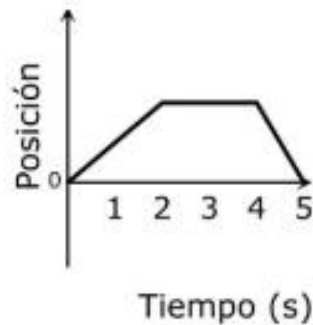
Como hemos visto en la tabla 35, el porcentaje de aciertos en el ítem Q3 para el grupo control es del 56,2% y para el grupo post-test es del 66,7%, es decir, sólo un 10,5% más de mejora, por eso, aunque hay mejora, sale que no es estadísticamente significativa.

Vemos que es la cuestión que más aciertos tuvo en el grupo control, y los resultados en el grupo post-test son buenos, lo que pasa es que como ya salió

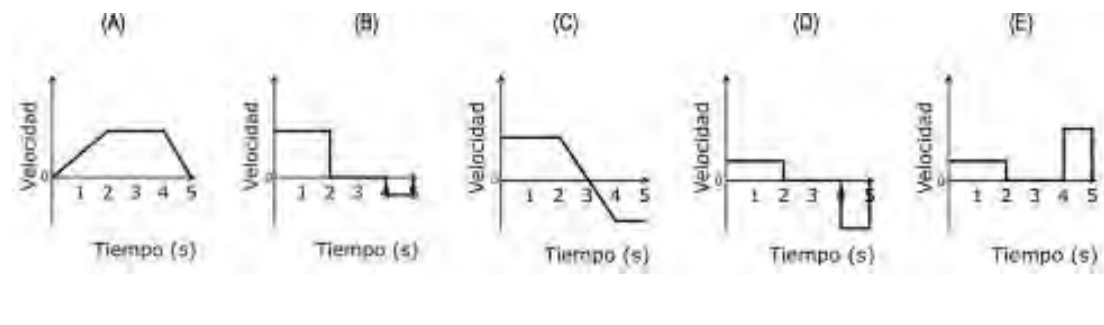
bien en el control, no hay mucha diferencia porque lo que sale bien, es difícil de mejorar.

Cuestión 6 (equivale a la cuestión 8 en el TUG-K)

8- La gráfica adjunta muestra el desplazamiento de un objeto con respecto al tiempo durante un intervalo de 5 s.



¿Cuál de las siguientes gráficas de velocidad en función del tiempo representaría mejor el movimiento del objeto durante dicho intervalo?



En esta cuestión es muy curioso lo que ha pasado. Pertenece al bloque 3: dada una gráfica, seleccionar otra correspondiente, en el que hay dos cuestiones, la Q1 y la Q6, que son muy parecidas:

- En la Q1 se da una gráfica $v = f(t)$ y cinco opciones de gráficas de $a = f(t)$ para que se elija la que corresponde.

- En la Q6 se da una gráfica $p = f(t)$ y cinco opciones de gráficas de $v = f(t)$ para que se elija la que corresponde.

Como hemos visto en la tabla 35, los porcentajes de aciertos para la cuestión 1 (Q1) son el 45,7% en el grupo control y el 71,8% en el grupo post-test, lo que arroja una diferencia de un 26,1% más de aciertos en el grupo post-test. Sin embargo, en la cuestión 6 (Q6), que es muy parecida a la cuestión 1, la diferencia es mucho menor. Un 42,4% acierta en el grupo control y un 52,1% acierta en el grupo post-test, por lo que la diferencia solo es del 9,7%.

Resulta extraño que, siendo dos cuestiones casi iguales, en la Q1 mejoren tanto y en la Q6 apenas mejoren. Un análisis más detallado nos da la respuesta de lo que ha sucedido.

En la Tabla 37 se recogen los porcentajes de respuestas para cada opción de las cuestiones Q1 y Q6 en el grupo post-test.

Tabla 37. Porcentaje de estudiantes del grupo post-test que elijen cada una de las opciones (A, B, C, D, E) para las cuestiones Q1 y Q6. En rojo se indica la opción correcta.

%Respuestas	Q1	Q6
%A	6,8	7,7
%B	71,8	29,9
%C	6,0	6,0
%D	5,1	52,1
%E	10,3	4,3

En la cuestión 1 hay dos respuestas muy parecidas: la B y la E. La correcta es la B, que aparece en orden de respuesta, antes que la E. Es decir, el alumnado ve la opción B como correcta y la elige.

En la cuestión 6 hay dos respuestas muy parecidas: la B y la D, pero ahora la correcta es la D, que aparece, en orden de respuesta, después. Es decir, el alumnado ve la opción B y muchos la eligen como válida sin seguir leyendo.

Si nos fijamos, un 29,9% de estudiantes ha elegido la B porque es la primera gráfica que han visto que correspondía y no han seguido mirando. Cuando comentamos los criterios de valoración de los ítems en el apartado 3.2, ya vimos que en este tipo de cuestiones había una opción “casi buena” porque es igual que la opción correcta, pero con una sutil diferencia en el valor cuantitativo de la pendiente. Por eso vamos a sumar el total de estudiantes que han contestado las dos opciones casi buenas, tomando los datos de las tablas 8 y 20 (Tabla 38). Así observamos que sí ha habido una mejora importante en ambas cuestiones en el grupo post-test con respecto al grupo control. Lo que ha sucedido es que el orden en que estaban colocadas las respuestas ha influido mucho en los resultados.

Tabla 38. Comparativa de aciertos para las cuestiones 1 (Q1) y 6 (Q6) del cuestionario de diagnóstico del grupo control y del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica del grupo post-test.

CUESTIÓN	% aciertos Grupo control	% aciertos Grupo post-test	Diferencia
Q1	66,7	82,1	15,4
Q6	56,1	82	25,9

6.3 COMPARACIÓN ENTRE EL GRUPO CONTROL, EL PRE-TEST Y EL POST-TEST

En la Figura 12 se muestra la comparación del porcentaje de aciertos obtenidos en el pre-test, post-test y grupo control para cada uno de los ítems comunes del cuestionario de diagnóstico del grupo control y del cuestionario de evaluación de la propuesta didáctica del grupo post-test. Podemos ver que en el post-test se han obtenido resultados mucho mejores que en el pre-test en todos los ítems del cuestionario. También se observa que los resultados del grupo control están entre ambos.

Se observa, como hemos señalado antes, que en las cuestiones Q3 y Q6, los resultados obtenidos en el grupo control están muy cerca de los obtenidos en el post-test, por lo que no han salido diferencias estadísticamente significativas, pero, en el resto de las cuestiones, los resultados del grupo control están más cerca de los obtenidos en el grupo pre-test.

Hay dos cuestiones, la Q5 y la Q9, en las que el porcentaje de aciertos en el grupo control es menor incluso que en el pre-test. Es decir, en esas dos cuestiones, han salido mejores resultados en alumnado que todavía no había estudiado la unidad didáctica que en los que ya lo habían hecho, lo que refuerza la primera hipótesis sobre la gran cantidad de dificultades que presenta el alumnado al interpretar gráficas de cinemática, incluso después de haberlas estudiado, y la necesidad de trabajar las gráficas de una manera diferente, como se propone en esta investigación.

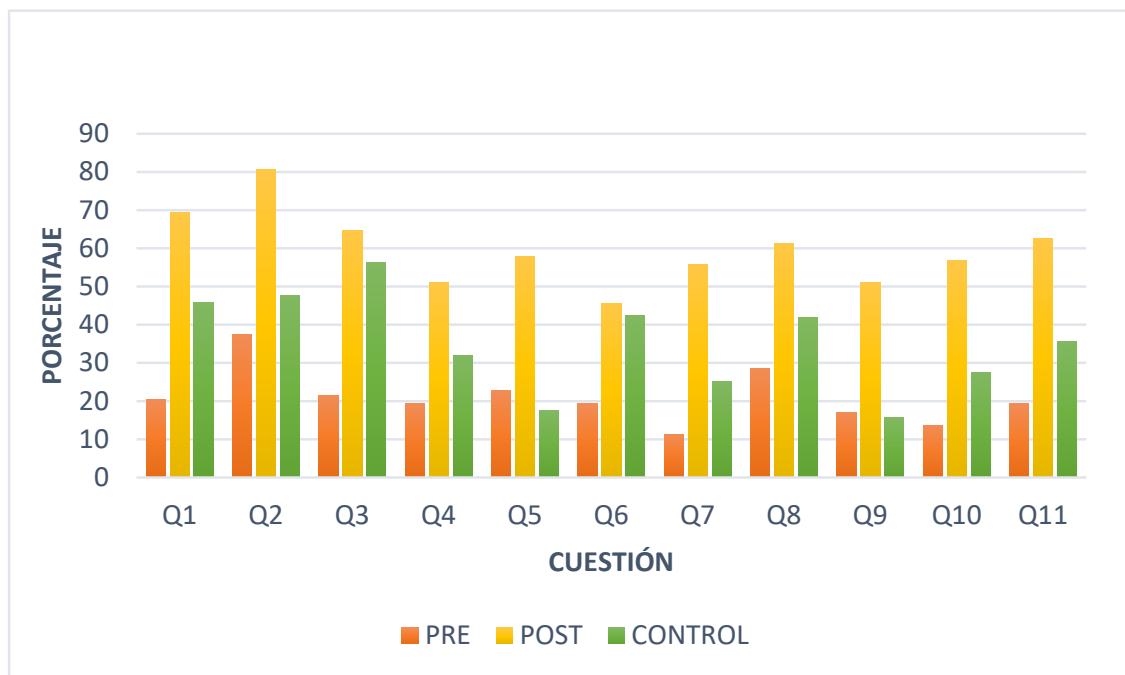


Figura 12. Porcentaje de aciertos en el grupo control, el pre-test y el post-test.

7 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Como hemos visto, numerosas investigaciones didácticas apuntan a que el alumnado presenta muchas dificultades a la hora de interpretar gráficas en cinemática. Además, esta habilidad es esencial para el aprendizaje significativo de la física en general, y de la mecánica en particular. Nos hemos planteado trabajar esta destreza en alumnado de 4º de ESO.

Hemos empezado por plantearnos las siguientes preguntas para abordar este problema:

- ✓ ¿Qué dificultades presenta el alumnado de 4º de ESO al interpretar gráficas de cinemática?
- ✓ ¿Cuáles pueden ser las causas de estas dificultades?
- ✓ ¿Puede ayudar el uso de sensores de movimiento a mejorar la interpretación de gráficas de cinemática?
- ✓ ¿Se pueden desarrollar otras técnicas para mejorar la habilidad de interpretación de gráficas?

Para dar solución a estas preguntas hemos planteado dos hipótesis:

- ✓ La primera hipótesis es que el alumnado de 4º de ESO no interpreta correctamente las gráficas de cinemática, incluso después de haberlas estudiado, porque la forma en que se enseña el movimiento de los cuerpos es, generalmente, muy teórica y sin apenas experimentación, lo que dificulta que el alumnado pueda relacionar el movimiento real con el que están representando gráficamente.
- ✓ La segunda hipótesis es que se puede mejorar significativamente este aprendizaje utilizando la experimentación y la realización de movimientos del alumnado (corporeización o *embodiment* en inglés) frente sensores de movimiento, así como utilizando simulaciones en laboratorios virtuales y juegos diseñados específicamente para desarrollar la destreza de interpretar gráficas.

Hemos fundamentado estas dos hipótesis en el marco teórico de la investigación didáctica con numerosos artículos y libros. Esto nos ha permitido elaborar una tabla de objetivos y dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las gráficas de cinemática. Esta fundamentación didáctica también contiene las bases que han servido para diseñar los experimentos necesarios para refutar ambas hipótesis.

Para comprobar la primera hipótesis se ha elaborado un cuestionario de diagnóstico basado en la última versión (4.0) del TUG-K (Zavala et al., 2017). Este cuestionario, que consta de 20 ítems, se pasó a 210 estudiantes de 4º de ESO de 5 institutos públicos de la Comunidad Valenciana cuando ya se habían examinado del tema de cinemática enseñado con una metodología tradicional.

Los resultados obtenidos con este cuestionario muestran una media muy baja (6,9/20) y un porcentaje de aciertos que van de un 14,7% a un 56,5%, variando mucho de un ítem a otro, pero que representan un grado de comprensión de las gráficas en cinemática muy bajo.

También se hicieron entrevistas personales que ayudaron mucho a entender la causa de todas estas dificultades.

El estudio detallado de cada ítem, junto con las reflexiones que se extraen de las entrevistas nos ha permitido concluir que el alumnado presenta, principalmente, 6 dificultades distintas:

- **D0:** confundir la forma de la gráfica posición-tiempo con la trayectoria descrita por el móvil.
- **D1:** confundir la pendiente con el valor de la ordenada.
- **D2:** calcular el cociente entre magnitudes en lugar del cociente entre los incrementos de dichas magnitudes.
- **D3:** calcular la pendiente contando cuadritos sin tener en cuenta la escala de los ejes.

- **D4:** esta dificultad aparece cuando se pide asociar dos gráficas que representan el mismo movimiento, pero distintas magnitudes en el eje de ordenadas y el estudiante elige aquellas gráficas que tienen la misma forma. Es una dificultad para relacionar gráficas.
- **D5:** confusión visual: esta dificultad aparece cuando se pide asociar una gráfica a una descripción textual y el estudiante elige la opción de texto que describa la forma de la gráfica que ven, independientemente de la magnitud que esté representada en los ejes.

La segunda hipótesis plantea mejorar el aprendizaje de las gráficas de cinemática utilizando sensores de movimiento, simulaciones por ordenador y otras herramientas como juegos de tarjetas con gráficas.

Para comprobar esta hipótesis se han buscado actividades para trabajar cada una de las 6 dificultades detectadas y se ha diseñado una secuencia de enseñanza-aprendizaje que consta de 3 actividades:

- ✓ Obtención de gráficas con sensores de movimiento: el alumnado se mueve delante del sensor de movimiento observando simultáneamente la gráfica que se obtiene en la pantalla del ordenador. Se plantean unas preguntas para que el alumnado reflexione sobre dichas gráficas.
- ✓ Análisis del movimiento obtenido con una simulación interactiva por ordenador: en este caso se utiliza la simulación “El hombre móvil” del proyecto PhET de la Universidad de Colorado. Se plantean también una serie de actividades para que el alumnado vaya asignando valores iniciales de posición, velocidad y aceleración (positivos y negativos) y, a partir de lo que observan en la pantalla, se les pide que reflexionen, que argumenten, que calculen magnitudes derivadas y que hagan predicciones de la forma de las gráficas.

- ✓ Juego de tarjetas sobre descripción de gráficas: este juego por parejas permite trabajar al alumnado la descripción de las distintas gráficas que representan un mismo movimiento, lo que les ayuda en la habilidad para relacionar gráficas con textos descriptivos e interpretar su significado.

La secuencia de enseñanza-aprendizaje se llevó a cabo con 117 estudiantes de 4º de ESO del IES L'Elia y se midió su eficacia con un diseño pretest-postest.

El cuestionario utilizado para evaluar la propuesta didáctica es una versión más corta del de diagnóstico, que se pasó a los 210 alumnos del grupo control, atendiendo a las recomendaciones del profesorado que participó en esa etapa de la investigación y que sugerían acortarlo, por lo que se pasó de 20 a 12 ítems.

Los resultados estadísticos obtenidos permiten comparar tanto el pre-test y post-test, como el grupo control y el post-test. Esta última comparación es más interesante en nuestra investigación, ya que nos dice si realmente la secuencia de enseñanza-aprendizaje propuesta ha supuesto una mejora en la comprensión de las gráficas de cinemática.

La primera comparación, entre el pre-test y el post-test, muestra una mejora de las medias de 2,9/12 a 7,4/12. Esta mejora es estadísticamente significativa (utilizando la prueba de Wilcoxon) con un valor de significación asintótica menor de 0,5 ($p < 0,5$) y un tamaño de efecto grande ($r = 0,6$). Además de las medias, se han comparado los ítems uno a uno con tablas de contingencia y la prueba de McNemar, obteniéndose en todos ellos un valor de significación asintótica menor de 0,5 ($p < 0,5$) y un tamaño de efecto mediano.

La segunda comparación, entre el grupo control y el post-test, muestra una mejora de las medias que es estadísticamente significativa según la prueba U de Mann-Whitney, con un valor de significación asintótica menor

de 0,5 ($p < 0,5$) y un tamaño de efecto entre mediano y grande ($r = 0,43$), lo que confirma que la secuencia de enseñanza aprendizaje propuesta ha mejorado significativamente el aprendizaje sobre las gráficas de cinemática. Para comparar los ítems del cuestionario uno a uno se han utilizado tablas de contingencia y el estadístico Chi-cuadrado. En este caso, hay dos cuestiones para las que no sale diferencia estadísticamente significativa (Q1 y Q6), pero para el resto sí que se obtienen diferencias estadísticamente significativas con tamaños de efecto entre medianos y pequeños. El análisis detallado de las cuestiones Q1 y Q6 ha mostrado que el orden en que estaban las respuestas ha influido mucho en los resultados obtenidos.

Por tanto, podemos concluir que las dos hipótesis han sido corroboradas experimentalmente y que la secuencia de enseñanza-aprendizaje propuesta es adecuada para mejorar la destreza de interpretar gráficas de cinemática en los estudiantes de 4º de ESO.

Esta investigación abre unas perspectivas de trabajo muy interesantes ya que, usando sensores tradicionales de presión, temperatura, fuerza, etc. o los sensores integrados en dispositivos electrónicos como smartphones y tablets, se pueden diseñar actividades integradas en secuencias de enseñanza-aprendizaje de física que hagan al alumnado indagar, argumentar y modelizar, como hemos visto en la fundamentación teórica de nuestra segunda hipótesis. Por tanto, nuestras perspectivas de trabajo son elaborar nuevas secuencias de enseñanza-aprendizaje basadas en la indagación científica sobre otros temas que fomenten que el alumnado participe en los procesos de razonamiento y de construcción de conocimientos propios de la ciencia.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, M., Giuliano, M., Sacerdoti, A., Nemirovsky, I., Pérez, S., y Cruz, R. (2008). Evaluación con pretest y postest de una experiencia didáctica de cinemática con utilización de applets. Recuperado de *Inclusión digital educativa en el Bicentenario Argentino. Noveno Simposio de Investigación en Física*.
- Anderson, J. L., y Wall, S. D. (2016). Kinecting physics: Conceptualization of motion through visualization and embodiment. *Journal of Science Education and Technology*, 25(2), 161-173. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9582-4>
- Araujo, I. S., Veit, E. A., y Moreira, M. A. (2008). Physics students' performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. *Computers & Education*, 50(4), 1128-1140. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.11.004>
- Ausubel, D., y Novak, J. (1976). *Psicología educativa*. México: Trillas.
- Barclay, W. L. (1985). Graphing misconceptions and possible remedies using microcomputer-based labs. *National Educational Computing Conference*. Recuperado de: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED264129.pdf>
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review Psychology*, 59(1), 617-645.
- Beichner, R. J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 803-815. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270809>

- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762. <https://doi.org/10.1119/1.17449>
- Bektasli, B., y White, A. L. (2012). The relationships between logical thinking, gender, and kinematics graph interpretation skills. *Eurasian Journal of Educational Research*, 48, 1-19.
- Berg, C. A., y Phillips, D. G. (1994). An investigation of the relationship between logical thinking structures and the ability to construct and interpret line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 323-344. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310404>
- Blanco Salgueiro, A. (2017). *La relatividad lingüística (variaciones filosóficas)*. Madrid: Akal.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., y Furst, E. J. (1972). *Taxonomía de los objetivos de la educación: Clasificación de las metas educacionales*. Alcoy: Marfil.
- Bolivar, A., Torres, N., y Solbes, J. (2017). Propuesta de contextualizar la enseñanza de la física usando los accidentes de tráfico. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, Núm. Extra, 561-566.
- Bollen, L., De Cock, M., Zuza, K., Guisasola, J., y van Kampen, P. (2016). Generalizing a categorization of students' interpretations of linear kinematics graphs. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010108>
- Bowen, G. M., y Roth, W. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), 1063-1088. <https://doi.org/10.1002/tea.20086>
- Bowen, G. M., y Roth, W. (2002). Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. *Research in Science Education*, 32(3), 303-327. <https://doi.org/10.1023/A:1020833231966>

- Brasell, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 385-395. <https://doi.org/10.1002/tea.3660240409>
- Brasell, H. M., y Rowe, M. B. (1993). Graphing skills among high school physics students. *School Science and Mathematics*, 93(2), 62-70. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1993.tb12196.x>
- Brungardt, J. B., y Zollman, D. (1995). Influence of interactive videodisc instruction using simultaneous-time analysis on kinematics graphing skills of high school physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(8), 855-869. <https://doi.org/10.1002/tea.3660320808>
- Castro Palacio, J. C., Velázquez Abad, L., Giménez, F., y Monsoriu, J. A. (2013). A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors. *European Journal of Physics*, 34(3), 737-744. <http://dx.doi.org/10.1088/0143-0807/34/3/737>
- Chi, M. T., Slotta, J. D., y De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Christensen, W. M., y Thompson, J. R. (2012). Investigating graphical representations of slope and derivative without a physics context. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8(2), 023101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.023101>
- Conselleria de Educació, Cultura y Deporte (2015). Decreto 87/2015, de 5 de junio, del Consell, por el que establece el currículo y desarrolla la ordenación general de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato en la Comunitat valenciana. Diario Oficial de la Generalitat Valenciana, 7544, 17437-18582. Recuperado de https://www.dogv.gva.es/datos/2015/06/10/pdf/2015_5410.pdf

- Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C., y Sacristán, J. A. (2020). *Enseñando ciencia con ciencia*. Madrid: Fundación Lilly y FECYT. Recuperado de <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Deniz, H., y Dulger, M. F. (2012). Supporting fourth graders' ability to interpret graphs through real-time graphing technology: A preliminary study. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 652-660. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9354-8>
- Diosa Ochoa, Y. (2015). *Enseñanza-aprendizaje de la cinemática lineal en su representación gráfica bajo un enfoque constructivista*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10389>
- Domènech-Casal, J., Gasco, J., Royo, P., y Vilches, S. (2008). Proyecto CRASH: Enseñando cinemática y dinámica en el contexto del análisis pericial de accidentes. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 15(2), 2103. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2103
- Dourish, P. (2004). *Where the action is: The foundations of embodied interaction*. Cambridge, EE.UU.: MIT press.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 6(2), 109-120.
- Driver, R., Newton, P., y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A)
- Eisenberg, M., y Pares, N. (2014). Tangible and full-body interfaces in learning. En: R. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. (pp. 339-357). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.021>.

- Esteve, A. R., Benavent, A., y Solbes, J. (2019). Smartphones y caída libre: Diseño y evaluación de una experiencia práctica. *Didáctica De Las Ciencias Experimentales Y Sociales*, 37, 165-177. <https://doi.org/10.7203/dces.37.15441>
- Fritz, C. O., Morris, P. E., y Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: Current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(1), 2-18. <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- Furió Gómez, C. (2009). *L'ensenyament-aprenentatge de la termoquímica. anàlisi crítica i proposta de millora*. Tesis doctoral. Universitat de València. Recuperado de <https://roderic.uv.es/handle/10550/15710>
- Gómez Crespo, M. A. (2017). *¿Por qué enseño como enseño? Tres actividades para aprender ciencia*. Madrid: Morata.
- Guidugli, S., Gauna, C. F., y Benegas, J. (2005). Graphical representations of kinematical concepts: A comparison of teaching strategies. *The Physics Teacher*, 43(6), 334-337. <https://doi.org/10.1119/1.2033514>
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., y Gutierrez-Berraondo, J. (2019). Una propuesta de diseño, evaluación y rediseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en física introductoria. *Universitas Tarraconensis. Revista De Ciències De L'Educació*, 1(2), 109-122. <https://doi.org/10.17345/ute.2019.2.2660>
- Guisasola, J., Ametler, J., y 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), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801

- Hale, P. (2000). Kinematics and graphs: Students' difficulties and CBLs. *The Mathematics Teacher*, 93(5), 414-417.
<https://doi.org/10.5951/MT.93.5.0414>
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-396.
<https://doi.org/10.1080/0140528810304004>
- Hochberg, K., Gröber, S., Kuhn, J., y Müller, A. (2014). The spinning disc: Studying radial acceleration and its damping process with smartphone acceleration sensors. *Physics Education*, 49(2), 137.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/2/137>
- Ivanjek, L., Susac, A., Planinic, M., Andrasevic, A., y Milin-Sipus, Z. (2016). Student reasoning about graphs in different contexts. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010106.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010106>
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 16(2), 203-216.
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: Cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 21(3), 359-370.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
[https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6%3C757::AID-SCE5%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6%3C757::AID-SCE5%3E3.0.CO;2-F)
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.

- Jimoyiannis, A., y Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: A case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36(2), 183-204. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00059-2)
- Kuhn, J., y Vogt, P. (2012). Analyzing spring pendulum phenomena with a smart-phone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 50(8), 504-505. <https://doi.org/10.1119/1.4758162>
- Lakoff, G., y Johnson, M. (2015). *Metáforas de la vida cotidiana*. Madrid: Cátedra.
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O., y Stein, M. K. (1990). Functions, graphs, and graphing: Tasks, learning, and teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1-64. <https://doi.org/10.3102%2F00346543060001001>
- Lozano, O. R., y Solbes, J. (2014). *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona: Graó.
- Malinverni, L., y Pares, N. (2014). Learning of abstract concepts through full-body interaction: A systematic. *Educational Technology & Society*, 17(4), 100-116.
- Maries, A., y Singh, C. (2013). Exploring one aspect of pedagogical content knowledge of teaching assistants using the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(2), 020120. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020120>
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R., y Jiménez-Liso, M. R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: Análisis de entrevistas a formadores de didáctica de las ciencias experimentales. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 32(3), 591-608. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>

- McDermott, L. C. (1997). Students' conceptions and problem solving in mechanics. En: A. Tiberghien, E. L. Jossem y J. Barojas (Eds.). *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. The International Commission on Physics Education (pp. 42-47). Recuperado de http://www.iupap-icpe.org/publications/teach1/ConnectingResInPhysEducWithTeacherEduc_Vol_1.pdf
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., y Van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513. <https://doi.org/10.1119/1.15104>
- McKenzie, D. L., y Padilla, M. J. (1986). The construction and validation of the test of graphing in science (TOGS). *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 571-579. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230702>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 3, 169-546. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105>
- Mokros, J. R., y Tinker, R. F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on children's ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-383. <https://doi.org/10.1002/tea.3660240408>
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., y Marti, A. C. (2015). The atwood machine revisited using smartphones. *The Physics Teacher*, 53(6), 373-374. <https://doi.org/10.1119/1.4928357>
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.

- Nemirovsky, R., Tierney, C., y Wright, T. (1998). Body motion and graphing. *Cognition and Instruction*, 16(2), 119-172.
- Oh, P. S., y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Olympiou, G., y Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96(1), 21-47. <https://doi.org/10.1002/sce.20463>
- Orero, M., Solbes, J., y Esteve, A. R. (2018). Uso del movimiento corporal y sensores de movimiento para mejorarla interpretación de gráficas en cinemática. En: *IV Simposio Internacional De Enseñanza De Las Ciencias SIEC 2018*.
- Orero, M., y Esteve, A. R. (2019). Construcción e interpretación de gráficas: Ejemplos de actividades para su estudio en cinemática. *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (95), 38-45.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2006). *Evolution of student interest in science and technology studies: Policy report*. Paris
- Ortega, E., Solaz-Portolés, J. J., y Sanjosé, V. (2020). Adecuación de recursos instruccionales en ciencias a las preferencias sensoriales del alumnado: un estudio exploratorio en enseñanza secundaria. *Revista complutense de educación*, 31(4), 473-484. <https://doi.org/10.5209/rced.65607>

Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. Londres: The Nuffield Foundation.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., y Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>

Perez-Goytia, N., Dominguez, A., y Zavala, G. (2010). Understanding and interpreting calculus graphs: Refining an instrument. *AIP Conference Proceedings*, 1289, 249-252.

Pintó, R. (2002). Introduction to the science teacher training in an information society (STTIS) project. *International Journal of Science Education*, 24(3), 227-234. <https://doi.org/10.1080/09500690110078888>

Pintó, R., Aliberas, J., y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 14(2), 221-232.

Planinic, M., Milin-Sipus, Z., Katic, H., Susac, A., y Ivanjek, L. (2012). Comparison of student understanding of line graph slope in physics and mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(6), 1393-1414. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9344-1>

Pozo, J. I. (2020). Aprender ciencias es reconstruir las ideas personales por medio del diálogo con otras personas y otros conocimientos. En: D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Eds). *Enseñando ciencia con ciencia*. Fundación Lilly y FECYT (pp. 14-24). Recuperado de <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>

Pozo, J. I. (2018). ¿Por qué los alumnos no quieren aprender lo que les queremos enseñar? *Desde La Patagonia. Difundiendo Saberes*, 15(26), 4.

- Pozo, J. (2017). Learning beyond the body: From embodied representations to explicitation mediated by external representations/aprender más allá del cuerpo: De las representaciones encarnadas a la explicitación mediada por representaciones externas. *Journal for the Study of Education and Development*, 40(2), 219-276. <https://doi.org/10.1080/02103702.2017.1306942>
- Psycharis, S. (2011). The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics. *Computers & Education*, 56(3), 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.09.011>
- Robles, A., Solbes, J., Cantó, J. R., y Lozano, O. R. (2015). Actitudes de los estudiantes hacia la ciencia escolar en el primer ciclo de la enseñanza secundaria obligatoria. *Revista Electrónica De Enseñanza De Las Ciencias*, 14(3), 361-376.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., y Hemmo, V. (2007). *Science education now. A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruselas: European Comission.
- Rosenquist, M. L., y McDermott, L. C. (1987). A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics*, 55(5), 407-415. <https://doi.org/10.1119/1.15122>
- Russell, D. W., Lucas, K. B., y McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(2), 165-185. <https://doi.org/10.1023/A:1025073410522>
- Sanmarti, N. (1997). Enseñar a elaborar textos científicos en las clases de ciencias. *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (12), 51-62.
- Sarda, A., y Sanmartí, N. (2000). Ensenyar a argumentar científicament: Un repte de les classes de ciències. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 405-422.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Simarro-Rodríguez, C., y Couso, D. (2013). Visiones del profesorado de ciencias sobre el trabajo experimental: Análisis desde un marco de indagación. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, Núm. Extra, 3332-3338.
- Sokoloff, D. R., y Thornton, R. K. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, 35(6), 340-347. <https://doi.org/10.1119/1.2344715>
- Solbes, J., Bolivar, A., y Torres, N. (2019). Contextualizando la enseñanza de la mecánica con la ciencia forense. En: J. Solbes, M. R. Jiménez-Liso y T. Pina (Eds). *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto* (pp. 77-97). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Solbes, J., Tuzón, P., y Palomar, R. (2019). Modelos físicos y químicos usando corporeización en la enseñanza de las ciencias. En: J. Solbes, M. R. Jiménez-Liso y T. Pina (Eds). *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto* (pp. 15-39). Valencia: Tirant lo Blanch.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 6(1), 2-20.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II): nuevas perspectivas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 6(2), 190-212.
- Solbes, J. (2019). ¿Qué y cómo enseñar sobre el movimiento? *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (95), 7-14.

- Solbes, J., Carrascosa, J., y Furió, C. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: Tres décadas de investigación. *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (48), 64-77.
- Solbes, J., Montserrat, R., y Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: Implicaciones en su enseñanza. *Didáctica De Las Ciencias Experimentales Y Sociales*, (21), 91-117.
- Solbes, J., Silvestre, V., y Furió, C. (2010). El desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico y sus implicaciones didácticas. *Didáctica De Las Ciencias Experimentales Y Sociales*, (24), 83-105.
- Svec, M. (1999). Improving graphing interpretation skills and understanding of motion using microcomputer based laboratories. *Electronic Journal of Science Education*, 3(4).
- Swinbank, E. (2003). Salters horners advanced physics project. *Alambique: Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, (36), 32-39.
- Tejeda, S., y Alarcon, H. (2012). A tutorial-type activity to overcome learning difficulties in understanding graphics in kinematics. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(1), 285-289.
- Testa, I., Monroy, G., y Sassi, E. (2002). Students' reading images in kinematics: The case of real-time graphs. *International Journal of Science Education*, 24(3), 235-256. <https://doi.org/10.1080/09500690110078897>
- Thornton, R. K., y Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58(9), 858-867. <https://doi.org/10.1119/1.16350>
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In: R. Millar, J. Leach, y J. Osborne (Eds). *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47). Buckingham: Open University Press.

- Tinker, R. (2000). *A history of Probeware*. Recuperado de <http://makingsens.stanford.edu/pubs/AHistoryOfProbeware.pdf>
- Tuzón, P., y Solbes, J. (2017). La modelización usando corporeización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas, Núm. Extra*, 587-594.
- Vieyra, R. E., y Vieyra, C. (2014). Analyzing forces on amusement park rides with mobile devices. *The Physics Teacher*, 52(3), 149-151. <https://doi.org/10.1119/1.4865516>
- Vogt, P., y Kuhn, J. (2014). Analyzing collision processes with the smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*, 52(2), 118-119. <https://doi.org/10.1119/1.4862122>
- Vourlias, K., y Seroglou, F. (2016). Physics and sports: Let's get out of the classroom! *AIP Conference Proceedings*, 1722, 310006. <https://doi.org/10.1063/1.4944316>
- Wavering, M. J. (1989). Logical reasoning necessary to make line graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(5), 373-379. <https://doi.org/10.1002/tea.3660260502>
- Wemyss, T., y Van Kampen, P. (2013). Categorization of first-year university students' interpretations of numerical linear distance-time graphs. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(1), 010107. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.010107>
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Woolnough, J. (2000). How do students learn to apply their mathematical knowledge to interpret graphs in physics? *Research in Science Education*, 30(3), 259-267. <https://doi.org/10.1007/BF02461633>

Zavala, G., Tejada, S., Barniol, P., y Beichner, R. J. (2017). Modifying the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020111. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020111>

9 ANEXOS

9.1 ANEXO I: Transcripciones de las entrevistas

1 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

2 Alumna 1: Creo que es la “d” porque he hecho posición partido tiempo,
3 el tiempo es 2 y la posición es 10, entonces he hecho 10 entre 2 que me
4 da 5.

5 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?

6 Alumna 1: Estoy entre la “c” y la “e” porque como empieza con
7 aceleración positiva, no estoy segura cuál de los dos gráficos es pero, las
8 otras no pueden ser porque es velocidad constante, entonces significa
9 que sigue moviéndose.

10 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 11?

11 Alumna 1: La “a” no puede ser porque es el mismo dibujo y cuando la
12 velocidad es negativa la aceleración tampoco puede ser completamente
13 igual, y en las otras gráficas, la aceleración todas empiezan en cero, más
14 o menos y luego son diferentes...no sé cuál puede ser.

15 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 9?

16 Alumna 2: He elegido la “c”, sólo la gráfica (III) porque la velocidad es una
17 línea recta y en las otras hace pendiente y eso es que va acelerando, y
18 podría ser la (V) pero no se supone que si...para que haya velocidad
19 constante no tiene que haber aceleración y tendría que ser cero.

20 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 18?

21 Alumna 2: Elijo la “b” que es: *el objeto se mueve con una aceleración que*
22 *disminuye uniformemente*, porque si disminuye es que se va haciendo
23 más pequeña.

- 24 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 5?
- 25 Alumno 3: Yo creo que es la “b” porque de aquí a aquí pasan 10 segundos
26 y hace como el doble, aumenta 2 y por eso yo he pensado que era 2 m/s.
- 27 Profesora: ¡ah!, tú has mirado la pendiente
- 28 Alumno 3: sí, he calculado la pendiente
- 29 Profesora: y no te has fijado que los ejes no están igualmente divididos
- 30 Alumno 3: anda, es verdad...
- 31 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 15?
- 32 Alumno 3: la “b”, la gráfica (IV) y (V) porque se incrementa
33 uniformemente.
- 34 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?
- 35 Alumno 3: elijo la “c” porque primero hace parábola y luego sigue recta,
36 que es velocidad constante.
- 37 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 1?
- 38 Alumna 4: yo creo que cuando dice aceleración negativa es cuando la
39 línea va hacia abajo y se sale del plano incluido o... entonces yo pondría
40 la “b” o la “e”, que fue lo que más me lio...
- 41 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?
- 42 Alumna 4: al decir que es con aceleración constante y está en posición-
43 tiempo, yo diría que forma una parábola y luego velocidad constante,
44 que está recta (horizontal), es decir que la A, B o D.
- 45 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 8?

46 Alumna 4: Como del segundo 0 a 2 la posición no se mantiene recta, está
47 como una pendiente, yo pondría que la velocidad aumenta, y luego del
48 segundo 2 a 4 está parado, y luego del segundo 4 a 5 la posición
49 desciende que significa que es negativa.

50 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 15?

51 Alumno 5: a ver, me piden aceleración que se incrementa
52 uniformemente, así que descarto la (I), que no se mueve, la (II) y la (III),
53 que son velocidad constante y por tanto no hay aceleración, la velocidad
54 de la (IV) sí que se ve que aumenta uniformemente, o sea que la
55 aceleración también tiene que ser esa, y la (V) hay aceleración y... lo que
56 no me acuerdo... bueno, yo diría que la opción "b", la (IV) y la (V).

57 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 18?

58 Alumno 5: para mí la gráfica dice que el objeto frena, así que a opción
59 "a": *el objeto se mueve con una aceleración constante*, no es parábola,
60 no creo que sea.

61 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 5?

62 Alumna 6: me piden la aceleración en la gráfica velocidad-tiempo, tengo
63 que calcular la pendiente con la fórmula... no me acuerdo.

64 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 8?

65 Alumna 6: es que a mí lo que me lían son las rayas (señala la forma de la
66 gráfica) porque como es diferente significado según los ejes y la primera
67 es de posición-tiempo y las otras de velocidad-tiempo...

68 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 17?

69 Alumna 6: veo aceleración constante en la V, en la IV no, y las demás son
70 de velocidad y posición, así que sólo la V, opción "b"

- 71 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?
- 72 Alumna 7: pues creo, creo que cuando empieza en 0 segundos la, o sea,
73 va a 5 metros, bueno, está en la posición 5 metros a los 2 segundos está
74 en posición 10 por lo que sería, la velocidad... 5 m/s.
- 75 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 4?
- 76 Alumna 7: me pregunta la aceleración a los 90 segundos, a los 90 s la
77 velocidad es de 20 m/s.
- 78 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 16?
- 79 Alumna 7: creo que sería la (B) porque la posición primero se mantiene
80 parado que es cuando la velocidad es cero, luego aumenta, o sea, cuando
81 la velocidad pasa de 0 a 2, lógicamente tiene que acelerar, aunque sea
82 un poco, la velocidad tiene que aumentar por lo que está la pendiente.
83 O sea, la posición aumenta y la velocidad también aumenta....
- 84 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 18?
- 85 Alumna 7: (lee) la(A): *el objeto se mueve con una aceleración constante,*
86 yo creo que sí... bueno no, no tiene aceleración porque cuando tenía
87 aceleración es cuando era una parábola. (sigue leyendo) la (B): *el objeto*
88 *se mueve con una aceleración que disminuye uniformemente,* mmm, no
89 creo porque sigue siendo aceleración y ya he descartado que tenga
90 aceleración. Yo creo que el objeto se mueve a una velocidad constante,
91 ¿no?... no, a ver, a ver, me estoy rayando, sería una velocidad constante
92 si fuera una línea recta, porque es una gráfica de velocidad-tiempo...
93 pues, mmm, la (B), que el objeto se mueve con una aceleración que
94 disminuye uniformemente.
- 95 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 1?

96 Alumno 8: a ver, yo para mirar la aceleración, miro la velocidad del
97 tiempo y en el momento en el que más baja, porque me piden que sea
98 negativa, creo que es la (B): desde T hasta V, que es cuando más abajo
99 ha llegado.

100 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 2?

101 Alumno 8: creo que es la “e” porque conforme más acelera, más rápido
102 sube de posición y menos tarda en el tiempo, por eso está inclinada la
103 pendiente.

104 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

105 Alumno 8: a ver, para la velocidad miro posición y tiempo...sería 10 entre
106 2, que sería 5, entonces sería la respuesta “d”.

107 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 11?

108 Alumno 8: es la (A) porque es la misma gráfica, entonces representa lo
109 mismo.

110 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 1?

111 Alumno 9: vale, pues...en la pregunta número 1, cuando la aceleración es
112 negativa, yo diría que es desde el punto T hasta el V, porque en la gráfica
113 se muestra cómo la velocidad va descendiendo con el tiempo.

114 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

115 Alumno 9: diría que la respuesta correcta sería la “d” porque cada
116 segundo recorre 5 metros.

117 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?

118 Alumno 9: yo diría que es la C, ya que al principio hay una aceleración y
119 es una parábola, y luego, sobre el segundo 10, ya empieza a ser constante

120 y no serían las demás porque, por ejemplo, en la A, B y D, a los 10
121 segundos la posición se para y la E es aceleración todo el rato.

122 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 14?

123 Alumno 9: no sabría calcular o encontrar la velocidad en esta posición y
124 en este tiempo, necesitaría la posición exacta a los 3 segundos que no la
125 puedo leer en la gráfica.

126 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 18?

127 Alumno 9: a ver, he escogido la "b": *que el objeto se mueve con una*
128 *aceleración que disminuye uniformemente*, porque la velocidad está
129 disminuyendo constantemente, entonces tiene que tener una
130 aceleración negativa.

131 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 2?

132 Alumno 10: creo que es la C: *el objeto se mueve con una velocidad que*
133 *aumenta uniformemente*, porque pienso que a la vez que se mueve de
134 posición está pasando el tiempo, por tanto, pienso que aumenta su
135 velocidad.

136 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

137 Alumno 10: elijo la "e": 10 m/s, porque me dice que t es igual a 2 y luego
138 miro la posición y veo que es 10.

139 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 8?

140 Alumno 10: el problema es que no sé lo que me piden, por ejemplo, aquí
141 cogería y diría, vale se mueve del 0 al 2 con velocidad constante,
142 escogería... mmm, no sabría cuál decirte, cogería la A otra vez, porque se
143 tiene que mover a velocidad constante y en la B no se mueve de 0 a 2, ni
144 en la C, D ni E se mueven de 0 a 2.

- 145 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 9?
- 146 Alumno 10: yo diría que la (I) sí que se mueve a velocidad constante, la
147 (II) no porque está acelerando, la (III) diría que sí, la (IV) no y la (V) sí, así
148 que la (I), (III) y (V), opción “e”.
- 149 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 2?
- 150 Alumna 11: es la “e” porque va subiendo, o sea, va cambiando de
151 posición y va aumentando el tiempo, entonces (lee) el objeto se mueve
152 con una aceleración que aumenta uniformemente.
- 153 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?
- 154 Alumna 11: es el “d” porque en un segundo hace 5 y en 2 segundos hace
155 10, que en 2 segundos se mueve 10 m, tiene que ser 5 la velocidad.
- 156 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 4?
- 157 Alumna 11: la velocidad cambia 10, de 20 a 30, en 90 segundos. Entonces
158 90 entre 10 es 9 y no hay ninguna opción...
- 159 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 2?
- 160 Alumna 12: vale pues yo la “b” no diría que es, diría que es la “a” porque
161 aquí dice que el objeto se mueve con una aceleración constante distinta
162 de cero y aquí es distinta de cero y hay una aceleración como que sube
163 hacia arriba, porque al estar yendo la raya hacia arriba yo interpreto que
164 hay una aceleración.
- 165 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 9?
- 166 Alumna 12: yo diría que es la (III) y la (V), la (III) la velocidad es constante
167 y la (V) dice que hay una aceleración, pero como va igual, yo diría que es
168 velocidad constante.
- 169 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

170 Alumna 12: ha recorrido 10 metros en 2 segundos, luego la velocidad es
171 5, opción "d".

172 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 3?

173 Alumna 13: pues miro el tiempo, en 2 segundos, subo pa'riba y veo 10,
174 10 metros por segundo ¿no?

175 Profesora: ¿Cuál crees que la opción correcta en la cuestión 7?

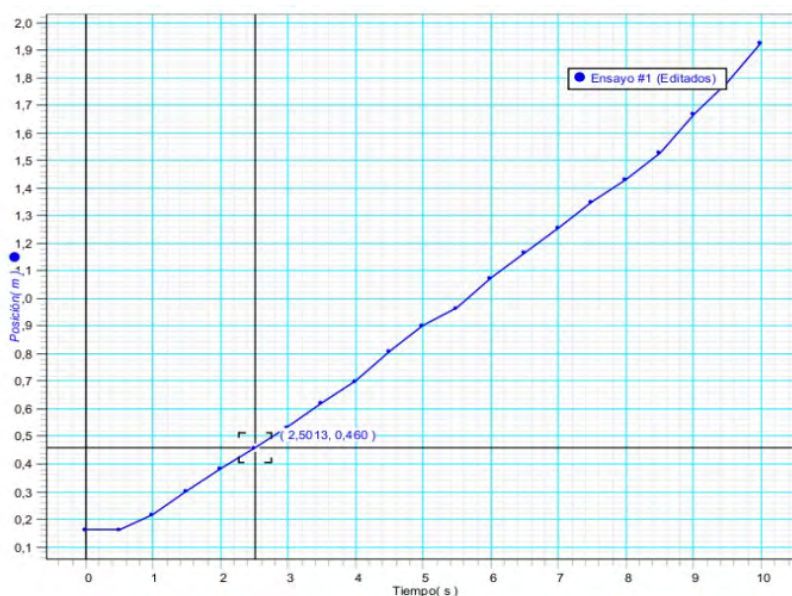
176 Alumna 13: sería la A porque si hay aceleración es una parábola, y
177 después si es constante es una recta. La D también es parábola y recta,
178 pero no puede ser porque es aceleración positiva, la aceleración va
179 aumentando, así que la A.

9.2 ANEXO II: Software DataStudio

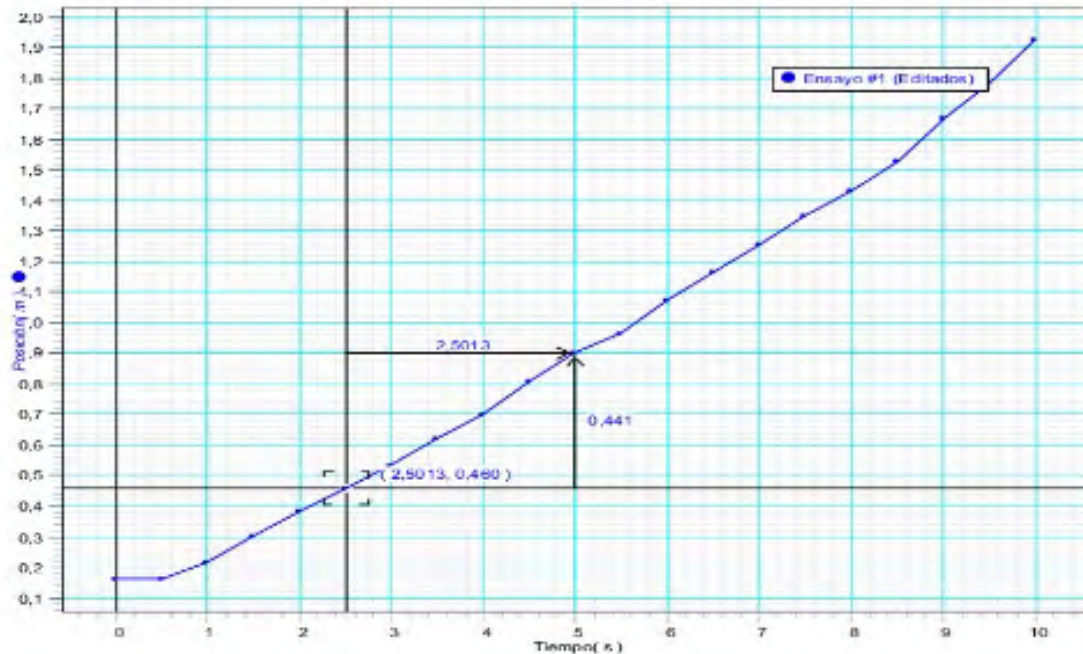
DataStudio es un software que se utiliza para analizar resultados experimentales de alta precisión que se pueden obtener en el laboratorio escolar utilizando sensores de magnitudes físicas (posición, fuerza, temperatura, luz, sonido, conductividad, etc.) y químicas (pH, oxígeno, etc.). Una vez instalado en el ordenador, el programa se asocia a los sensores de la casa Pasco y se utiliza también para realizar ajustes en ellos. Se puede consultar el manual de instrucciones en: <http://www.tecnoedu.com/Download/DataStudioManual.pdf>

DataStudio construye tablas de valores y gráficas sobre la evolución de las magnitudes. Entre las muchas posibilidades que ofrece para el tratamiento de datos, resulta de particular interés que permite seleccionar algunos resultados (descartando otros), realiza ajustes matemáticos predeterminados o diseñados por el usuario, incluye herramientas de cálculo e interpretación muy útiles. Veamos algunas de ellas.

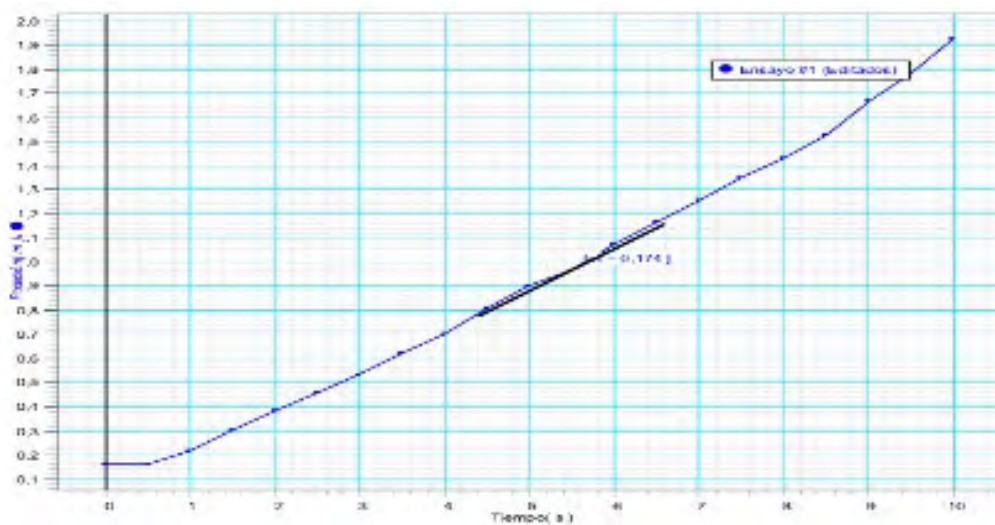
1- Herramienta inteligente: activa una mira que muestra las coordenadas de un punto del gráfico sobre el que se pasa.



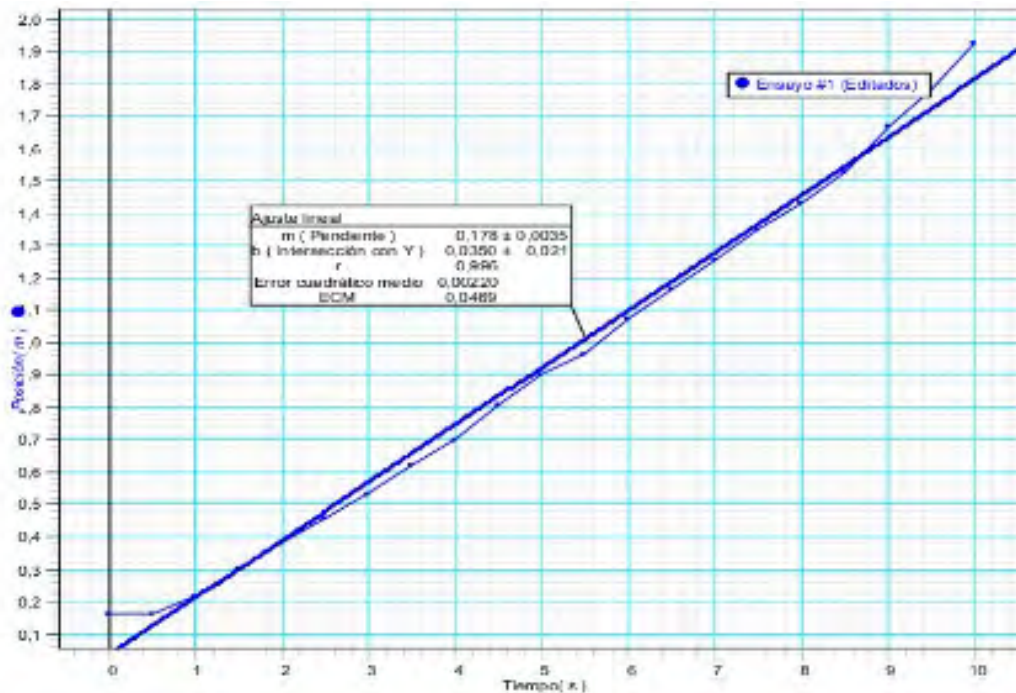
2- Herramienta Delta (Δ) para medida de incrementos: es una característica de la herramienta inteligente que permite medir el cambio de las coordenadas x e y entre dos puntos de datos de una pantalla de gráfico.



3- Cálculo de la pendiente: esta herramienta calcula y muestra la pendiente de la gráfica en cada punto y se puede desplazar sobre la línea gráfica pasando por distintos puntos.



4- Herramienta de ajuste: permite ajustar los datos a la relación que se pida entre una lista como: ajuste lineal, cuadrático, polinómico, proporcional, exponencial, inverso, sinusoidal... En este ejemplo se ha hecho el lineal.



En todas las gráficas, los ejes muestran las magnitudes medidas con sus unidades.

La herramienta inteligente ayuda a conectar cada punto de la gráfica con la magnitud medida en el movimiento realizado.

La herramienta Delta permite conocer el desplazamiento y lo diferencia de la posición. Además, puede ser muy interesante que relacionen el cociente entre ambos incrementos ($\Delta p/\Delta t$) con el valor que nos da la herramienta de pendiente.

La herramienta de pendiente también se puede usar para calcular su valor máximo o mínimo simplemente deslizando sobre la gráfica.

Por último, el ajuste lineal ayuda a aplicar los conocimientos matemáticos.

9.3 ANEXO III: Pruebas estadísticas

Estadísticos descriptivos de las variables SUMAPRE y SUMAPOST

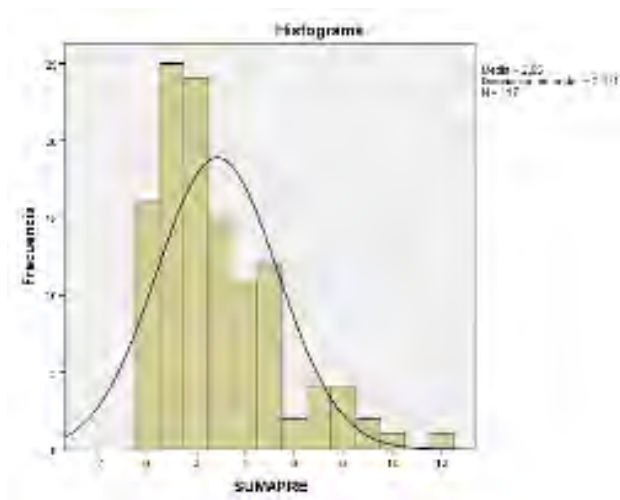
Variable SUMAPRE

N	Válido	117
	Perdidos	0
Media		2,9
Desviación estándar		2,5

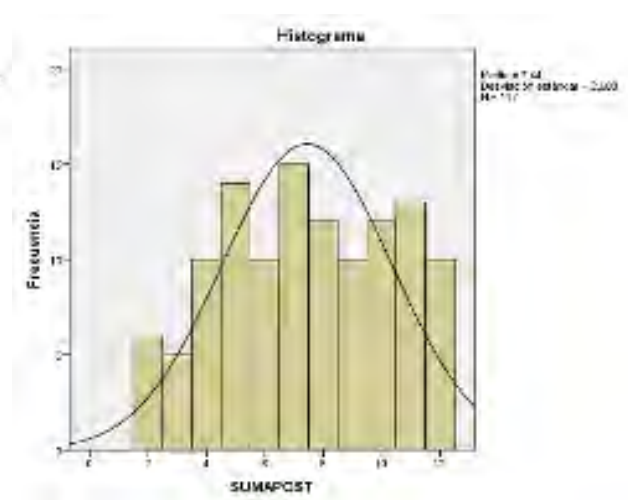
Variable SUMAPOST

N	Válido	117
	Perdidos	0
Media		7,4
Desviación estándar		2,9

Histograma Variable SUMAPRE



Histograma Variable SUMAPOST



SUMAPRE

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	0	16	13,7	13,7	13,7
	1	25	21,4	21,4	35,0
	2	24	20,5	20,5	55,6
	3	15	12,8	12,8	68,4
	4	11	9,4	9,4	77,8
	5	12	10,3	10,3	88,0
	6	2	1,7	1,7	89,7
	7	4	3,4	3,4	93,2
	8	4	3,4	3,4	96,6
	9	2	1,7	1,7	98,3
	10	1	,9	,9	99,1
	12	1	,9	,9	100,0
	Total	117	100,0	100,0	

SUMAPOST

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	2	6	5,1	5,1	5,1
	3	5	4,3	4,3	9,4
	4	10	8,5	8,5	17,9
	5	14	12,0	12,0	29,9
	6	10	8,5	8,5	38,5
	7	15	12,8	12,8	51,3
	8	12	10,3	10,3	61,5
	9	10	8,5	8,5	70,1
	10	12	10,3	10,3	80,3
	11	13	11,1	11,1	91,5
	12	10	8,5	8,5	100,0
	Total	117	100,0	100,0	

Prueba de Mann-Whitney para comparar las medias globales entre el grupo control y el post-test

Rangos

GRUPO	N	Rango promedio	Suma de rangos
SUMA 1	210	133,87	28113,00
2	117	218,08	25515,00
Total	327		

Estadísticos de prueba^a

	SUMA
U de Mann-Whitney	5958,000
W de Wilcoxon	28113,000
Z	-7,755
Sig. asintótica (bilateral)	,000

Resultados estadísticos de la prueba de McNemar a las variables PRE y POST

Estadísticos de prueba^a

	Q1 PR E & Q1 PO ST	Q2 PR E & Q2 PO ST	Q3 PR E & Q3 PO ST	Q4 PR E & Q4 PO ST	Q5 PR E & Q5 PO ST	Q6 PR E & Q6 PO ST	Q7 PR E & Q7 PO ST	Q8 PR E & Q8 PO ST	Q9 PR E & Q9 PO ST	Q10 PRE & Q10 POS T	Q11 PRE & Q11 POS T	Q12 PRE & Q12 POS T
N	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
Chi- cuad rado b	49, 778	35, 629	39, 446	24, 475	31, 738	26, 224	40, 907	28, 800	23, 564	43,4 72	40,0 17	28,3 14
Sig. asint ótica	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,00 0	,000	,000	,000

9.4 ANEXO IV: Tablas de contingencia Chi cuadrado para comparar el grupo control y el post-test

Tabla cruzada Q1*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q1	0	Recuento	114	33	147
		% dentro de GRUPO	54,3%	28,2%	45,0%
	1	Recuento	96	84	180
		% dentro de GRUPO	45,7%	71,8%	55,0%
Total	Recuento		210	117	327
	% dentro de GRUPO		100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q1		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,251	,000
	V de Cramer	,251	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q2*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q2	0	Recuento	110	23	133
		% dentro de GRUPO	52,4%	19,7%	40,7%
	1	Recuento	100	94	194
		% dentro de GRUPO	47,6%	80,3%	59,3%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q2		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,319	,000
	V de Cramer	,319	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q3*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q3	0	Recuento	92	39	131
		% dentro de GRUPO	43,8%	33,3%	40,1%
	1	Recuento	118	78	196
		% dentro de GRUPO	56,2%	66,7%	59,9%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q3		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,102	,064
	V de Cramer	,102	,064
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q4*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q4	0	Recuento	143	53	196
		% dentro de GRUPO	68,1%	45,3%	59,9%
	1	Recuento	67	64	131
		% dentro de GRUPO	31,9%	54,7%	40,1%
Total	Recuento		210	117	327
	% dentro de GRUPO		100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q4		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,223	,000
	V de Cramer	,223	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q5*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q5	0	Recuento	173	49	222
		% dentro de GRUPO	82,4%	41,9%	67,9%
	1	Recuento	37	68	105
		% dentro de GRUPO	17,6%	58,1%	32,1%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q5		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,416	,000
	V de Cramer	,416	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q6*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q6	0	Recuento	121	56	177
		% dentro de GRUPO	57,6%	47,9%	54,1%
	1	Recuento	89	61	150
		% dentro de GRUPO	42,4%	52,1%	45,9%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q6		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,094	,090
	V de Cramer	,094	,090
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q7*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q7	0	Recuento	157	55	212
		% dentro de GRUPO	74,8%	47,0%	64,8%
	1	Recuento	53	62	115
		% dentro de GRUPO	25,2%	53,0%	35,2%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q7		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,279	,000
	V de Cramer	,279	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q8*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q8	0	Recuento	122	49	171
		% dentro de GRUPO	58,1%	41,9%	52,3%
	1	Recuento	88	68	156
		% dentro de GRUPO	41,9%	58,1%	47,7%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q8		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,156	,005
	V de Cramer	,156	,005
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q9*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q9	0	Recuento	177	57	234
		% dentro de GRUPO	84,3%	48,7%	71,6%
	1	Recuento	33	60	93
		% dentro de GRUPO	15,7%	51,3%	28,4%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q9		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,378	,000
	V de Cramer	,378	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q10*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q10	0	Recuento	152	53	205
		% dentro de GRUPO	72,4%	45,3%	62,7%
	1	Recuento	58	64	122
		% dentro de GRUPO	27,6%	54,7%	37,3%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q10		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,268	,000
	V de Cramer	,268	,000
N de casos válidos		327	

Tabla cruzada Q11*GRUPO

			GRUPO		Total
			1	2	
Q11	0	Recuento	135	44	179
		% dentro de GRUPO	64,3%	37,6%	54,7%
	1	Recuento	75	73	148
		% dentro de GRUPO	35,7%	62,4%	45,3%
Total		Recuento	210	117	327
		% dentro de GRUPO	100,0%	100,0%	100,0%

Medidas simétricas

Q11		Valor	Significación aproximada
Nominal por Nominal	Phi	,257	,000
	V de Cramer	,257	,000
N de casos válidos		327	