****

**MÁSTER EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA, BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

CURSO 2022-2023

**CARACTERIZACIÓN DE LA PROGRESIÓN DE CONOCIMIENTO SOBRE CINEMÁTICA EN UN GRUPO DE 2ºESO TRAS UNA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA BASADA EN SIMULACIONES**

**CHARACTERIZATION OF KNOWLEDGE PROGRESSION IN KINEMATICS IN A 2ºESO GROUP AFTER A DIDACTIC INTERVENTION BASED ON SIMULATIONS**

**ESPECIALIDAD**: Física y Química

**APELLIDOS Y NOMBRE**: Olivares López Eduardo

**DNI**: 48081621Y

**CONVOCATORIA**: JUNIO

**TUTOR/A:** Ángel Ezquerra Martínez. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. Centro de Formación del Profesorado.

1. **RESUMEN**

En este trabajo, se caracteriza la progresión de conocimiento en un grupo de alumnos de 2ºESO en nociones sobre cinemática. En concreto, se categorizan las respuestas de los estudiantes a una serie de preguntas acerca de este tema con ayuda de un CAQDAS. Se realiza la categorización antes y después de una intervención didáctica fuertemente apoyada en el tema “El Movimiento” del repositorio multimedia Science Bits, basado en el método de enseñanza-aprendizaje 5E y con gran cantidad de simulaciones en sus explicaciones.

Los resultados más notables fueron la gran cantidad de concepciones alternativas en las respuestas previas a la intervención, mayormente basadas en experiencias previas (Suparno, 2013), que conectan con las concepciones alternativas encontradas en la literatura; y la construcción de nuevo conocimiento sobre los esquemas previos (Scoboria, 2006; Silva et al., 2006), observado en las respuestas tras la intervención.

Se manifestaron progresos altamente favorables especialmente en conceptos de magnitudes individuales, mientras que la capacidad de resolución de cuestiones que ponían en juego múltiples magnitudes a la vez se dificultó un poco más a pesar de la intervención didáctica. Se hizo especialmente notable la cantidad de referencias que hubo a elementos visuales empleados en las simulaciones de la intervención didáctica para la adquisición general de conocimiento por parte de los alumnos, lo que sugiere que este tipo de estímulo, al menos para este grupo, resultó beneficioso.

1. **ABSTRACT**

This work characterizes the knowledge evolution about kinematics in a 2ºESO student group. Specifically, the students’ answers to a series of questions on the topic are categorized using CADQAS aid. The questions are answered before and after a didactic intervention highly based on Science Bits’ chapter “Movement” (Science Bits is a multimedia repository based on the 5E teaching-learning model).

The most outstanding results were a great number of misconceptions on the answers before the intervention, mostly based on previous experiences (Suparno, 2013) which connect with misconceptions found in the literature; and the construction of new knowledge built on top of old schemas (Scoboria, 2006; Silva et al., 2006), after the intervention.

Highly favorable progress was made in questions related to individual concepts of magnitudes, while the ability to solve questions where multiple magnitudes were put in play at once was a bit harder for the students despite the didactic intervention. There were also a great number of references to visual elements included in the simulations during the intervention, which suggests this sort of stimulus results beneficial, at least for this group.

1. **PALABRAS CLAVE**

* Concepciones Alternativas
* Concepciones Científicas
* Cambio Conceptual
* Progresión de Conocimiento

Modelo 5E

* RDR (Respuesta – Debate – Reflexión)
* CAQDAS (Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software)
* KCT (Kinematics Concept Test)

1. **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, Y OBJETIVOS**

Siendo los conceptos elementos básicos de construcción de conocimiento en todas las disciplinas académicas, juega un papel crítico la sólida comprensión de estos conceptos en la ayuda de estudiantes a desarrollar las bases y estructuras de su conocimiento, y en la aplicación de concepciones correctas y resolución de problemas, todo para desarrollar competencia en sus profesiones (Streveler, 2008). De hecho, se ha demostrado que las concepciones científicamente incorrectas que los alumnos pueden presentar (también denominadas concepciones alternativas) son una de las causas principales de un desempeño académico y resolución de problemas pobres en muchas disciplinas, pero particularmente en las disciplinas STEM (Brown, 1999). La presencia de estas concepciones alternativas puede disrumpir la formación de concepciones científicamente correctas, también llamadas concepciones científicas.

Es especialmente relevante combatir las concepciones alternativas del tema de cinemática, ya que de él emergen conceptos presentes en toda la física, como el de velocidad, aceleración, o posición (Trowbridge & McDermott, 1980). Al fin y al cabo, los conceptos aprendidos en este tema sentarán la base para el desarrollo de conocimiento futuro en física, más complejo. Sumado a esto, y por numerosos testimonios de docentes y estudiantes por igual, en demasiadas ocasiones, los alumnos se preocupan de resolver exámenes sin entender realmente a nivel profundo los conceptos físicos que subyacen de los problemas resueltos. Así convierten la Física en la habilidad para resolver problemas más que en el saber a través del cual entender el universo que nos rodea. Además, se ha demostrado que corregir concepciones alternativas no puede hacerse mediante aproximaciones tradicionales del aprendizaje (Lee et al., 2005).

Por todo lo expuesto en los párrafos anteriores, considero de vital importancia que se facilite el cambio conceptual de los estudiantes al máximo. Debido a que las concepciones alternativas pueden ser robustas y difíciles de corregir (Michelene T. H. Chi et al., 1991), la dimensión de un trabajo que investigue cómo facilitar el cambio conceptual puede exceder la de un TFM, tanto en extensión como en tiempo. En su lugar, el objetivo general de este TFM será estudiar cómo una intervención didáctica basada en el repositorio multimedia Science Bits afecta a la progresión de conocimiento en el grupo de aula. Esta progresión de conocimiento se podría interpretar como un primer paso en el cambio conceptual.

Los objetivos concretos del estudio son los siguientes:

* Caracterizar la corrección y justificación de respuestas de los alumnos antes y después de la intervención.
* Caracterizar la transformación de las respuestas, es decir, la progresión de conocimiento tras la intervención.
* Proponer conjeturas sobre la relación entre las concepciones alternativas o científicas emergentes y los contenidos de la intervención didáctica.

1. **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ESTADO DEL ARTE**
   1. **Concepciones alternativas, científicas, y cambio conceptual.**

En el pasado han se han referido a ellas como preconcepciones (preconceptions), concepciones alternativas (alternative conceptions), ideas equivocadas (misconceptions), intuiciones científicas de niños (children’s scientific intuitions), ciencia de niños (children’s Science), conceptos de sentido común (common sense concepts), o conocimiento espontáneo (spontaneous knowledge) por autores como Novak, Driver & Easley, Helm, Sutton, Gilbert & Watts & Osborne, Halloun & Hestenes, o Pines & West respectivamente. Aunque pueda haber sutiles diferencias en la definición de estos términos, por simplicidad y comodidad del lenguaje, en este trabajo nos referiremos como “concepciones alternativas” a todas aquellas concepciones que existan en la mente de los alumnos que sean científicamente incorrectas. Una variedad de concepciones alternativas ya está presente en los estudiantes antes de llegar al centro educativo (Novak, 2002). Algunas están basadas en su experiencia del mundo físico. Estas experiencias, basadas en el sentido común, se consideran hipótesis razonables basadas en su experiencia cotidiana. A veces, pueden no siempre ser verdad y son a menudo inconsistentes con los conceptos que se aprenden en clases formales, así recibiendo el nombre de concepciones alternativas (Azita Seyed Fadaei & César Mora, 2015). Las concepciones alternativas son altamente resistentes al cambio e influencian el proceso de enseñanza-aprendizaje en cualquier materia de estudio, especialmente en Física (Pfundt, 1988). Algunas concepciones alternativas incluso violan los principios científicos y matemáticos enseñados por el docente en el aula (Smith III, 1994).

Por otro lado, el cambio conceptual es el evento en el que los estudiantes realizan cambios en sus concepciones iniciales de tal forma que pasan de ser incorrectas a ser correctas. Pasan así a denominarse concepciones científicas (Makhrus, 2014). El cambio conceptual se produce cuando el conocimiento previo entra en conflicto con la nueva información (Murdani et al., 2018). Aún después del aprendizaje, algunas concepciones alternativas pueden permanecer inherentes al alumno, impidiendo el aprendizaje (Demirci, 2005).

* 1. **Causas de concepciones alternativas.**

Según Suparno (2013), las causas principales de concepciones alternativas son 5: los grupos de estudiantes, los docentes, los libros de texto, el contexto, y la manera de enseñar. La tabla 1 muestra las causas especiales de concepciones alternativas derivadas de las cinco principales anteriormente mencionadas (Suparno, 2013).

Tabla 1. Causas principales y especiales de concepciones alternativas (Suparno, 2005).

A picture containing text, document, receipt, screenshot

Description automatically generated

* 1. **Cómo superar o reducir concepciones alternativas.**

Berg (1990) defiende que existen diversos pasos que se deben tomar para superar (o al menos reducir) las concepciones alternativas.

Primero se deben detectar las concepciones previas de los estudiantes. Antes de comenzar la clase, el profesor debería tenerlas ya en mente. Esto se puede saber a partir de la literatura, de tests diagnósticos, de observación directa de las actividades de los alumnos, o de la experiencia previa del docente.

Luego, se debe diseñar una experiencia de aprendizaje que empiece con dichas preconcepciones y las refine la parte buena a la vez que corrige la parte mala de cada concepto. El principio característico en la corrección de concepciones previas es que los estudiantes experimenten un aprendizaje que ponga en contraste sus conceptos con eventos naturales. Se espera así que la contradicción entre las nuevas experiencias y los viejos conceptos den lugar a la corrección de las concepciones alternativas. Según Piaget (1978), niños y adultos utilizan patrones mentales o esquemas para guiar el comportamiento y la cognición, e interpretar nuevas experiencias o material en relación con esos esquemas previos. Investigaciones por Silva et al. y Scoboria et al. (2006) muestran que, en vez de recordar una muestra de detalles precisos, las personas tienden a recordar eventos que incorporan pocos detalles dentro del esquema del evento complejo. Las concepciones alternativas afloran cuando las experiencias nuevas se interpretan a la luz de las experiencias previas y la nueva comprensión se injerta en los entendimientos previos. Generalmente las memorias se recuperan primero recordando el esquema y luego asociando los detalles. Si un concepto no cabe en un esquema preexistente y no es relevante, muy probablemente no será recordado o incluso rechazado de primeras. (Scoboria, 2006; Silva et al., 2006).

El tercer paso es practicar varias preguntas para entrenar los nuevos conceptos adquiridos y refinarlos. Las cuestiones elegidas idealmente deberían poner de claro manifiesto la distinción entre la concepción científica y la concepción alternativa, evidenciando el porqué de la correctitud de la científica.

* 1. **Concepciones alternativas relativas a cinemática de 2ºESO.**

La tabla 2 muestra la codificación de concepciones alternativas encontradas en la literatura reciente acerca del tema de cinemática a nivel de 2ºESO. Es por ello por lo que las concepciones relativas a movimientos circulares o parabólicos se excluyen; así como concepciones relativas a la aceleración como cambio en el sentido (y no módulo) de la velocidad; o a la dinámica (correspondiente al tema siguiente en el currículum de la clase del estudio). Nótese que las concepciones alternativas se codifican según siglas específicas – todas ellas comenzando por “CA(…)”, de “Concepción Alternativa”. Las siglas que siguen se refieren a la temática relacionada con la concepción en cuestión, cuyo título se elige de manera arbitraria. Por ejemplo, en el caso de la CADD1, la temática se etiqueta como “Distancia – Desplazamiento”. La cifra del final numera cada concepción alternativa. En algún caso se encuentra más de una relacionada con la misma temática (CAVA1 y CAVA2, por ejemplo, tienen que ver ambas con la relación “Velocidad – Aceleración”). De manera similar, las concepciones científicas se codifican comenzando por las siglas “CC(…)”. A partir de ahora, se referirá a las concepciones alternativas y científicas por los códigos mostrados en la tabla 2, por comodidad de escritura y por evitar cargar el documento con información redundante.

Se puede observar que la concepción alternativa CADVA1 carece de concepción científica asociada, ya que se trata de una concepción muy genérica, prácticamente presente en mayor o menor medida a lo largo de la totalidad de los artículos de investigación correspondientes.

Tabla 2. Concepciones alternativas y científicas relativas a los contenidos de Cinemática en 2ºESO.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Código** | **Concepción Alternativa** | **Código** | **Concepción Científica** | **Fuente** |
| CADD1 | La distancia recorrida por un móvil es siempre la misma que su desplazamiento. | CCDD | La distancia recorrida por un móvil puede ser igual al desplazamiento, pero también mayor. | (Murdani et al., 2018) |
| CADVA1 | Los conceptos distancia, velocidad, y aceleración no se diferencian bien. | - | - | (Abou Halloun & Hestenes, 1985)  (Trowbridge & Mcdermott, 1981a, 1981b) |
| CASV1 | La rapidez (speed) y la velocidad (velocity) son iguales. | CCSV1 | La rapidez es el módulo de la velocidad. La velocidad es una magnitud vectorial que se define como el cambio de la posición con el tiempo multiplicado por el vector unitario en el sentido del movimiento. s = ||. = ∆d / ∆t \* | (Jones, 1983) |
| CAVA1 | Si la velocidad de un móvil es 0, su aceleración es siempre 0. | CCVA1 | Si la velocidad de un móvil es 0, la aceleración no es necesariamente 0 y si la aceleración es 0, la velocidad no es necesariamente 0. | (Murdani et al., 2018) |
| CAVA2 | Si un móvil va rápido, también tiene aceleración. (pedal acelerador). | CCVA2 | Si un móvil va rápido, no tiene por qué tener aceleración si su velocidad es constante, ya que la aceleración se define como el cambio de la velocidad con el tiempo: a = ∆v / ∆t. | (Jones, 1983) |
| CAVA3 | La aceleración aumenta si la velocidad de un móvil también aumenta. | CCVA3 | La aceleración puede ser constante y la velocidad en este caso aumenta. | (Jones, 1983) |
| CAITIT | Intervalo de tiempo e instante de tiempo son lo mismo. | CCITIT | Intervalo de tiempo e instante de tiempo son diferentes. Un intervalo de tiempo es un conjunto de infinitos instantes de tiempo. | (Abou Halloun & Hestenes, 1985) |
| **Código** | **Concepción Alternativa** | **Código** | **Concepción Científica** | **Fuente** |
| CAPCP | Posición y cambio de posición son lo mismo. v = d / t es una expresión correcta, igual que v = ∆d / ∆t. (Esto sugiere que se confunde velocidad media con velocidad instantánea). | CCPCP | Posición y cambio de posición no son lo mismo. Para calcular la velocidad media se emplea v = ∆d / ∆t. v = d / t es solo correcta cuando la distancia y el tiempo iniciales se toman como 0, siendo d y t la posición y tiempo finales. | (Trowbridge & Mcdermott, 1981a, 1981b)  (Abou Halloun & Hestenes, 1985) |
| CAVCV | Velocidad y cambio de velocidad son lo mismo. a = v / t es una expresión correcta, igual que a = ∆v / ∆t. | CCVCV | Velocidad y cambio de velocidad no son lo mismo. Para calcular la aceleración media se emplea a = ∆v / ∆t. a = v / t es solo correcta cuando la velocidad y el tiempo iniciales se toman como 0, siendo v y t la velocidad y tiempo finales. | (Trowbridge & Mcdermott, 1981a, 1981b) |
| CAA1 | Si dos móviles están en la misma posición, deben tener la misma velocidad. | CCA1 | Dos móviles no tienen la misma velocidad en la misma posición en un adelantamiento. Sus velocidades coinciden en posiciones diferentes al adelantamiento. | (Murdani et al., 2018)  (Trowbridge & McDermott, 1980)  (Trowbridge & Mcdermott, 1981a, 1981b)  (Jones, 1983) |
| CAA2 | Un móvil puede adelantar a otro si tienen la misma aceleración. | CCA2 | Un móvil puede adelantar a otro si tienen la misma posición. | (Murdani et al., 2018) |
| CAA3 | Si un móvil va por delante de otro significa que es más rápido y si va por detrás significa que es más lento. | CCA3 | Lo lento o rápido que va un móvil en un momento determinado depende exclusivamente de la velocidad instantánea. El móvil con mayor velocidad instantánea es el más rápido, independientemente de la posición que ocupe. | (Trowbridge & McDermott, 1980) |
| **Código** | **Concepción Alternativa** | **Código** | **Concepción Científica** | **Fuente** |
| CATV1 | Un móvil que se tira verticalmente hacia arriba tiene velocidad hacia arriba pero no tiene aceleración. | CCTV | Un móvil que se tira verticalmente hacia arriba tiene velocidad hacia arriba y aceleración hacia abajo siempre (tanto en la fase ascendente como en la descendente). | (Murdani et al., 2018) |
| CATV2 | Un móvil que se mueve verticalmente hacia arriba tiene aceleración hacia arriba en la fase ascendente. | CCTV | Un móvil que se tira verticalmente hacia arriba tiene velocidad hacia arriba y aceleración hacia abajo siempre (tanto en la fase ascendente como en la descendente). | (Clement, 1982) |

* 1. **Modelo 5E y Science Bits**

Utilizar simulaciones computacionales tiene varias ventajas y algunas dificultades. Entre las ventajas, los estudiantes pueden repetir muchas veces los experimentos reduciendo riesgos que puedan derivar de la implementación en un laboratorio real (Garofalakis et al., 2013) y diversos estudios muestran resultados positivos en el desempeño de las clases de ciencias (Adams, 2010; Moore, 2013; Muller & Sharma, n.d.). Es la abundancia de estas simulaciones una de las razones por las que se elige Science Bits y su apoyo en el modelo 5E para la realización de la intervención didáctica. Estas simulaciones se discutirán con algo más de detalle en la sección de Resultados y Discusión.

La tabla 3, extraída directamente del resumen ejecutivo sobre el modelo 5E por Bybee et al. (2006). muestra en qué consiste cada una de las 5 fases de este método de enseñanza-aprendizaje. Se puede observar cómo la metodología propone incitar la afloración de conocimiento previo y concepciones alternativas en las dos primeras fases, en línea con el procedimiento expuesto por Berg (1990). Es la fase “Exploration” es la de especial interés para este estudio, ya que es ahí donde se atacan las concepciones alternativas de los estudiantes, y la que consta de una mayor carga temporal (un total de 4 sesiones de 50 minutos frente a una sola de 50 minutos empleada en las dos primeras fases). En esta misma fase también se van integrando ejercicios propuestos para que los alumnos resuelvan en casa, coincidiendo así con el tercer paso para el cambio conceptual propuesto por Berg (1990). Este tercer paso también estaría incluido en la fase “Elaboration” del modelo 5E, que ocupó una sesión más de 50 minutos.

Tabla 3. Resumen de las fases de enseñanza-aprendizaje propuestas en el modelo 5E.

**A picture containing text, screenshot, font, number

Description automatically generated**

1. **METODOLOGÍA**

La muestra analizada en este estudio consta de un total de 21 estudiantes de la clase de 2ºC de Sección de Francés del IES Alfredo Kraus, en el nivel académico de 2ºESO - 17 alumnas y 4 alumnos, pertenecientes a una clase de 26 estudiantes en total. Se trata de una muestra incidental en la que no se evalúa la progresión de todos los integrantes, ya que los 5 pupilos restantes faltaron en la toma de datos previa o en la posterior a la intervención didáctica.

Para observar la progresión de conocimiento de los alumnos se emplea una hoja en la que se lista una serie de preguntas relativas al tema de cinemática para este nivel académico. La figura 1 muestra la hoja en cuestión. Como ya se verá en la sección de Resultados y Discusión, ciertas preguntas se quedaron sin analizar por razones varias. Habría sido mejor emplear un cuestionario validado, como por ejemplo el KCT – Kinematics Concept Test (Lichtenberger et al., 2016) para evaluar de manera más sistemática la progresión. Al fin y al cabo, este tipo de cuestionarios son de respuesta múltiple, por lo que las categorías de las respuestas ya vienen predefinidas y no hay que hacer interpretaciones sobre lo que se cree que tiene el alumno en mente, como sucedió en este caso. La categorización se hace mucho más sencilla de esta manera. El KCT se puede encontrar en el anexo 10 a. La razón de emplear la actividad de aula para la caracterización y no el cuestionario es que fue difícil acceder a cuestionarios validados de los que se empleaban en la literatura investigada. De hecho, la versión del KCT mostrada en el anexo se encontró a mitad de la intervención didáctica, por lo que ya no tenía sentido emplearlo. La hoja de la figura 1 se completa dos veces por parte de los alumnos: una antes de la intervención didáctica, en la que no se corrige; y otra después, que se aprovecha para una actividad RDR (Respuesta – Debate – Reflexión).

A picture containing text, screenshot, font, document

Description automatically generated

Figura 1. Actividad de aula para el RDR sobre Cinemática.

Para agrupar los tipos de progresión de conocimiento se emplea una categorización de las respuestas recibidas antes y después de la intervención de tal manera que “muchas palabras se clasificen en muchas menos” (Weber, 1990). Para ello se emplea el CAQDAS (Computer Assisted Qualitative Data Analysis software) gratuito QDA Miner Lite (Provalis Research, 2023). Las respuestas se categorizan en una codificación similar a la codificación por líneas. Se categoriza cada respuesta a cada pregunta de la actividad, tanto en la iteración inicial como en la final, para ver claramente la evolución en la respuesta. De esta manera se mantiene una proximidad considerable a los datos. Los códigos empleados no van mucho más allá de lo meramente descriptivo, ya que, al tratarse la Física de una materia objetiva, se complica la obtención de códigos más analíticos o teóricos. Sí es cierto que en ocasiones las justificaciones o respuestas elaboradas carecen de información explícita que permita agruparlas en una u otra categoría, pero por el contexto se puede deducir hasta qué punto el alumno comprende la física relativa a la pregunta. Estas deducciones se hacen más frecuentes sobre todo en grupos de alumnos más jóvenes, ya que no están tan habituados a redactar o justificar respuestas como lo están los alumnos más mayores. Estas deducciones asumen que las unidades de análisis se pueden clasificar en la misma categoría si tienen significados parecidos en el contexto en el que se presentan, o, en otras palabras, si tienen validez semántica (Krippendorp, 2004).

La idea inicial era comparar la aparición de concepciones alternativas con las encontradas en la literatura (tabla 2), aunque se observará que aparecen concepciones alternativas no encontradas en la búsqueda bibliográfica. Sin embargo, estas sí se mencionaron por parte de las tres profesoras del Departamento de Física y Química del IES Alfredo Kraus, con una experiencia docente en la materia de más de 7 años en todos los casos.

La categorización de la información fue una larga y tediosa, aunque interesante tarea, en la que se siguieron los siguientes pasos:

* Se transcribieron todas las respuestas a QDA Miner. Se creó un caso por alumno. En cada caso se listaban las respuestas para cada alumno tanto antes de la intervención como después.
* Una vez transcritas, se leyeron las respuestas para las diferentes preguntas en el instante previo a la intervención didáctica
* Luego, en una segunda lectura, se inventaron códigos que pudieran agrupar las respuestas y se asignaron a las diferentes respuestas. Este paso se relaciona con lo que Cohen et al. (2007) llaman “codificación abierta”, o “open coding”, donde el investigador codifica creando nuevos códigos a medida que lee.
* Analizando las cuentas por cada código, se profundizó en aquellos con menos cuentas, por si se pudieran combinar con otros de cuentas mayores. Fue habitual la presencia de códigos innecesariamente específicos que se pudieran combinar, además de otros demasiado generales que se convirtieron en más discriminatorios (Miles, 1994).
* Se realizaron los pasos anteriores también para las respuestas tras la intervención didáctica.
* Una vez categorizadas todas las respuestas, se mostraron los resultados obtenidos de manera gráfica en un diagrama de cajas y flechas como el de la figura 2. Se puede observar cómo se establece una jerarquía de grado de “corrección” de las respuestas obtenidas, tal y como indica la flecha ascendente amarilla de la derecha. Las “más correctas” pertenecen a las cajas de más arriba en el diagrama y las “menos correctas” pertenecen a las cajas de más abajo en el diagrama. Ésta no fue la única jerarquía empleada. Aunque no se vea directamente en el diagrama, por no entorpecer la lectura, se creó una jerarquía de categorías (categorías y subcategorías) cuando fue necesario, e integrando códigos cuando se hizo relevante hasta completar la codificación (Cohen et al., 2007. Estas se comentan en la discusión específica de cada gráfica, que se verá en el apartado de “Resultados y Discusión”.

Dado que la intención de la actividad de aula fue atacar algunas de las concepciones alternativas de la literatura por separado con cada pregunta, se observa que se representa un diagrama diferente por pregunta. Sí que se puede distinguir sin embargo entre preguntas de respuesta binaria (sí o no), y preguntas sobre definiciones, cuya respuesta era algo más abierta. Las preguntas de respuesta binaria analizadas en este trabajo son la 1, 2, 9, y 11 de la figura 1. Las de definiciones son la 3 y 4. De nuevo, en la sección de Resultados y Discusión, se discutirá por qué no se presenta el análisis de todas en este trabajo.

En la codificación de las preguntas de respuesta binaria se clasificaron dos aspectos:

* Corrección de las respuestas: correctas o incorrectas.
* Justificación de las respuestas: se podían agrupar según una de las siguientes categorías:
  + NS / NC
  + sin justificar
  + justificación incorrecta
  + justificación incorrecta razonable
  + justificación correcta

Teniendo estos dos aspectos en cuenta se decidió la jerarquía en la corrección, o el grado de corrección de las respuestas – el indicado por la flecha amarilla ascendente en la figura 2. Así se sale de lo binario del “bien o mal” y se emplea un espectro de corrección donde, por ejemplo, las preguntas correctas con justificación razonable se consideran “más correctas” que las correctas sin justificación.

La codificación de preguntas sobre definiciones no siguió una regla general de categorización, ya que cada caso particular era diferente. Sin embargo, sí que se pudo mantener esa jerarquía en la corrección de las respuestas.

Además de las representaciones de los resultados, se incluyen observaciones específicas para cada diagrama, o sea, para cada pregunta. Estas observaciones atienden a temas como la corrección de las respuestas, la progresión de conocimiento, y observaciones más específicas sobre subcategorías o incluso respuestas individuales allá donde pareció más interesante. Además, se comenta al final del apartado de Resultados y Discusión una serie de observaciones generales, comunes a todas las preguntas.

Tomando de nuevo la figura 2 como referencia, describamos brevemente cómo interpretar cada diagrama y la información que se puede extraer de ellos:

* Cada caja encierra una categoría.
* Cada flecha representa una progresión de conocimiento en un alumno. Si la flecha va acompañada de un número en una caja gris, significa que la flecha representa una cantidad de cambios conceptuales igual al número indicado en la caja gris.
* Las colas de flecha indican las respuestas antes de la intervención.
* Las puntas de flecha indican las respuestas después de la intervención.
* La región verde engloba las categorías que se consideran respuestas correctas. Para las preguntas de respuesta binaria, esta zona engloba tanto las respuestas correctas con correcta justificación, como las correctas no justificadas.
* La región roja engloba las categorías que se consideran respuestas incorrectas.
* La región amarilla engloba las categorías que corresponden a respuestas incorrectas, pero con justificaciones razonables.
* La corrección de las respuestas se jerarquiza tal y como indica la flecha gruesa amarilla del lateral del diagrama: Las respuestas “más correctas” están situadas arriba del todo mientras que las “más incorrectas” se encuentran abajo del todo.
* Por ello, las flechas en color verde indican “progresiones de conocimiento favorables” - un aumento en la “corrección de la respuesta”. También se usan flechas verdes para indicar cambios conceptuales que no cambian su nivel de corrección, pero que se mueven en la región correcta (la región verde).
* Además, las flechas en color rojo indican “progresiones de conocimiento no favorables” - una disminución en la “corrección de la respuesta”. También se usan flechas rojas para indicar cambios conceptuales que no cambian su nivel de corrección, pero que se mueven en la región incorrecta (la región roja).
* Contando las colas de flecha en la región verde se puede contar el número de respuestas correctas previas a la intervención.
* Contando las puntas de flecha en la región verde se puede contar el número de respuestas correctas tras la intervención.
* Contando las colas de flecha en la región roja se puede contar el número de respuestas incorrectas previas a la intervención.
* Contando las puntas de flecha en la región roja se puede contar el número de respuestas incorrectas tras la intervención.
* Los códigos en rojo (CADD1 en el ejemplo) se relacionan con concepciones alternativas listadas en la tabla 2 de arriba, con las que conectan las cajas de la región roja.
* Los códigos en verde (CCDD1 en el ejemplo) se relacionan con concepciones científicas, listadas en la tabla 2 de arriba, con las que conectan las cajas de la región verde.

1. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**
   1. **Preguntas de respuesta binaria (sí o no)**

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 1:**

**¿La distancia recorrida por un móvil y su desplazamiento son iguales o diferentes? Justifica tu respuesta.**

La figura 2 muestra los resultados de la pregunta 2 del cuestionario.

**A picture containing text, diagram, plan, screenshot

Description automatically generated**

Figura 2. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 1 sobre distancia y desplazamiento.

En esta pregunta, se observa que las respuestas erróneas manifiestan de manera explícita la CADD1, mientras que las correctas son una instancia de la CCDD1.

Como se puede apreciar en el diagrama, antes de la intervención hay un 43% (9 / 21) de concepciones correctas. Después, los aciertos ascienden a un 95% (20 / 21). Por tanto, parece que hay una evolución global enormemente favorable en la corrección de las respuestas.

Se observa que el 95% de respuestas (20 / 21) incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas; quedando solo 1 / 21, un 5%, que se mantiene en la región incorrecta. Esto también supone una progresión enormemente favorable. Los alumnos dispusieron de tan solo 20 minutos para completar la actividad de aula de tal manera que no quitara mucho tiempo al resto de actividades de la programación de la unidad. Este tiempo pudo haber sido escaso como para responder todas las preguntas, y más aún para justificar con la debida extensión las respuestas que lo requerían. Ello puede ser una razón de la aparición de respuestas sin justificar.

Parece evidente cómo la simulación vista en Science Bits (figura 3) ayuda a los pupilos con el cambio conceptual, ya que todas las justificaciones se podían subclasificar en 3 nociones relacionadas con lo aprendido en dicha simulación:

* Comparar las definiciones de ambos términos para clarificar por qué son diferentes.
* Acudir al ejemplo visual del movimiento del tractor empleado en la simulación.
* Comparar las cantidades distancia y desplazamiento, haciendo notar que el desplazamiento siempre será igual o menor que la distancia.

Algunas justificaciones combinaban dos de estas ideas, o incluso las tres.

A picture containing text, screenshot, diagram

Description automatically generated

Figura 3. Fotogramas de la simulación sobre trayectoria, distancia, y desplazamiento en Science Bits.

Además, se puede subcategorizar la categoría “DIFERENTES. Sin justificar”. En concreto, las respuestas dentro de esta agrupación se dividían en las que:

* No mostraban ningún intento de justificación.
* Solo definían uno de los dos términos, dando a entender que el otro se sobreentendía.
* Justificaban con argumentos “vacíos”, como el mostrado en la figura 4.



Figura 4. Respuesta de una alumna a la pregunta 1 sobre distancia y desplazamiento.

La categoría “IGUALES. Sin justificar”, también se subdivide en las respuestas que:

* Carecían de justificación.
* Empleaban argumentos vacíos de índole similar al mostrado en la figura 4.

Las 4 justificaciones que se etiquetan como razonables en la categoría amarilla argumentaban lo mismo: que los conceptos eran iguales porque la unidad de medida es la misma. Esto pudo haber sido una idea inducida de sesiones previas del curso en las que la profesora argumentaba que dos magnitudes no eran iguales al no ser iguales sus unidades de medida. Esta presencia de la falacia de afirmación del consecuente es más común en adolescentes que en adultos, debido a que su desarrollo cognitivo está en curso.

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 2:**

**¿La velocidad de un móvil es absoluta o depende del sistema de referencia? Justifica tu respuesta.**

La figura 5 muestra los resultados de la pregunta 2 del cuestionario.

A picture containing text, diagram, plan, screenshot

Description automatically generated

Figura 5. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 2 sobre sistemas de referencia.

Si bien en esta pregunta se detectaron concepciones alternativas no encontradas en la literatura (aunque probablemente existan), las respuestas erróneas reflejaban una de las concepciones alternativas que las profesoras del IES tenían muy clara: “las magnitudes medibles relativas al movimiento de un cuerpo (posición, velocidad, etc.) son absolutas e independientes de la posición desde la que se mide”.

Antes de la intervención hay un 48% (10 / 21) de concepciones correctas. Después, los aciertos ascienden a un 67% (14 / 21). Parece que la hay una evolución global favorable en la corrección de las respuestas.

Se observa que tantas como el 71% (15 / 21) incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas. Del 29% (6 / 21) que disminuyen su nivel de corrección o permanecen incorrectas, se puede apreciar que se trata de respuestas injustificadas, ya sean iniciales o finales. Esto podría sugerir que estos alumnos habrían podido adivinar correctamente la respuesta al inicio y herrar en la adivinación al final. Podría tratarse de estudiantes que no atendieron al ejemplo de Science Bits, aunque no hay manera de confirmarlo.

Parece que la simulación vista en Science Bits (figura 6) ayuda a los pupilos a justificar sus respuestas correctas, ya que antes de la intervención, solo el 10% (2 / 21) son capaces de justificar la respuesta con otros ejemplos, mientras que tantos como el 38% (8 / 21) incluyen el ejemplo de la simulación en la segunda iteración.

Graphical user interface

Description automatically generated

Figura 6. Fotograma de la simulación sobre sistemas de referencia en Science Bits.

Profundizando en los datos brutos, se observa que la única respuesta inicial calificada como “ABSOLUTA. Justificación razonable” es la mostrada en la figura 7:

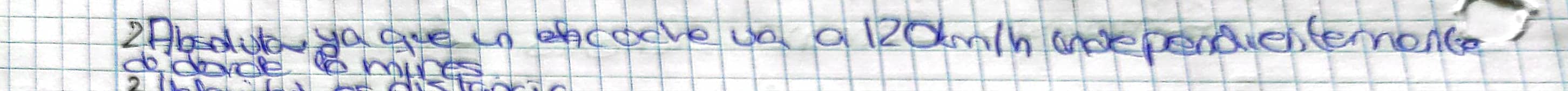


Figura 7. Respuesta de un alumno a la pregunta 2 sobre sistemas de referencia.

El alumno interpreta el velocímetro del coche como única fuente de medida de velocidad, y de ahí el considerarla absoluta. Esto es un claro ejemplo de concepción alternativa proveniente del contexto del estudiante, de sus experiencias previas (Suparno, 2013).

Por otro lado, la única respuesta final clasificada como “ABSOLUTA. Justificación razonable” es la mostrada en la figura 8:

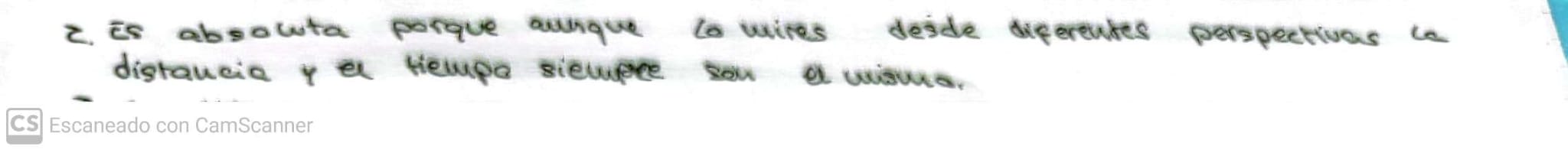


Figura 8. Respuesta final de una alumna a la pregunta 2 sobre sistemas de referencia.

Aunque no acierte la respuesta, se ve que integra aprendizaje nuevo en los esquemas anteriores (Scoboria, 2006), al demostrar que ahora sabe relacionar velocidad con distancia y tiempo. Además, la noción de tiempo absoluto proviene también de experiencias previas (Suparno, 2013). A esta edad los alumnos no han estado expuestos (al menos académicamente) a la relatividad de Einstein. Sí que comete el error de considerar la distancia como absoluta, pero de nuevo se debe a sus experiencias previas. A pesar de haber resuelto ejercicios específicos de sistemas de referencia en clase, todos los demás ejercicios resueltos, tanto aislados, como relativos a laboratorios, coincidían en resultado para toda la clase, ya que siempre se elegía el mismo sistema de referencia. Todos los alumnos siempre compartían el mismo dato de distancia y no se mencionaba de manera explícita que ello se debía a la elección de un origen de referencia común.

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 9:**

**Un móvil se desplaza a una velocidad muy alta. ¿Es su aceleración también muy alta? Justifica tu respuesta.**

La figura 9 muestra los resultados de la pregunta 9 del cuestionario.

A picture containing text, diagram, plan, screenshot

Description automatically generated

Figura 9. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 9 sobre relación entre velocidad y aceleración.

Antes de la intervención hay un 52% (11 / 21) de concepciones correctas. Después, los aciertos ascienden a un 62% (13 / 21). Parece que la evolución global es poco favorable en la corrección de las respuestas.

Tantas como el 62% (13 / 21) incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas. El 38% (8 / 21) disminuyen su nivel de corrección o permanecen incorrectas. La progresión de conocimiento en esta pregunta se observa mucho más caótico que en las dos anteriores. No se observa una tendencia clara hacia la respuesta correcta. Esto puede deberse a que la aceleración es un concepto que no entra obligatoriamente en el currículum de 2ºESO según el BOCM (figura 10). Se puede ver en la figura 10 cómo se hace referencia explícita al movimiento rectilíneo y uniforme.

A picture containing text, screenshot, font

Description automatically generated

Figura 10. Contenidos relativos al bloque "La interacción" a impartir en 2ºESO, según el BOCM.

Es por ello por lo que las nociones de aceleración se aprenden con carácter introductorio y no se trabaja tanto durante la intervención didáctica, como sí se hace con los conceptos que engloban las dos preguntas anteriores.

Volviendo a la figura 9, otro aspecto especialmente llamativo es la cantidad de estudiantes que no cambian su tipo de respuesta. En concreto un 38% (8 / 21). Quizá esto tenga relación con la brevedad de contacto con el concepto de aceleración. Puede ser que no haya habido un contacto suficiente como para deshacer las preconcepciones de los alumnos como exponía Berg (1990).

En esta pregunta se juega con dos contenidos conceptuales a la vez (velocidad y aceleración) y los alumnos tienen más dificultades de las que tuvieron en otros problemas más procedimentales que se resolvieron durante las sesiones de la intervención, y ligados solo a velocidad o solo a aceleración. Además, se verá más abajo cómo la progresión de conocimiento evoluciona favorablemente de manera clara en las preguntas 3 y 4 sobre velocidad y aceleración por separado.

La mayoría de los que sí acertaron y justificaban sus respuestas negativas, lo hacían argumentando que la aceleración podía ser baja, o incluso 0, aunque la velocidad fuera muy alta. Esto se debe a que esa idea se mencionó en clase, apoyándose en la ecuación a = ∆v / ∆t. Aunque estos alumnos no definían explícitamente la aceleración como el cambio de velocidad con el tiempo, sus justificaciones daban a entender que lo comprendían con profundidad.

Siguiendo con la categoría “SÍ. Justificación incorrecta”, obtuvo mayoritariamente un subtipo de respuesta. En concreto un 75% (6 / 8) de esta categoría de respuestas argumentaban que para que la velocidad fuera alta, la aceleración también debía ser alta. Es posible que se deba a la experiencia cotidiana en la que “ir rápido” en un coche se confunde con acelerar rápido, evento que ocurre mucho especialmente en ciudad, donde se para mucho por los semáforos en rojo. Además, se puede apreciar en la figura 11, cómo en la simulación de Science Bits se muestra cómo se pisa el acelerador con el pie para acelerar, lo que puede llevar al alumnado a confundir “acelerar” con “tener pisado el acelerador”, concepción alternativa CAVA2, muy presente en el lenguaje cotidiano. También en esta categoría se observaba la CADVA1.



Figura 11. Fotograma de la simulación sobre la aceleración en Science Bits.

En lo relacionado con la categoría “NO. Justificación vaga”, la mayoría de las justificaciones, un 67% (4 / 6), justificaban su respuesta negativa argumentando que la aceleración puede ser baja, o incluso 0, aunque la velocidad fuera muy alta. Esto se debe a que esa idea se mencionó en clase, apoyándose en la ecuación a = ∆v / ∆t. Aunque estos alumnos no definían explícitamente la aceleración como el cambio de velocidad con el tiempo, sus justificaciones daban a entender que lo comprendían con profundidad. Tanto en las respuestas de esta categoría como en las de “NO. Justificación con ejemplo visto en clase” se observó la CCVA2.

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 11:**

**En un instante de tiempo encuentro un móvil al lado de otro. ¿Llevan la misma velocidad?**

La figura 12 muestra los resultados de la pregunta 9 del cuestionario.

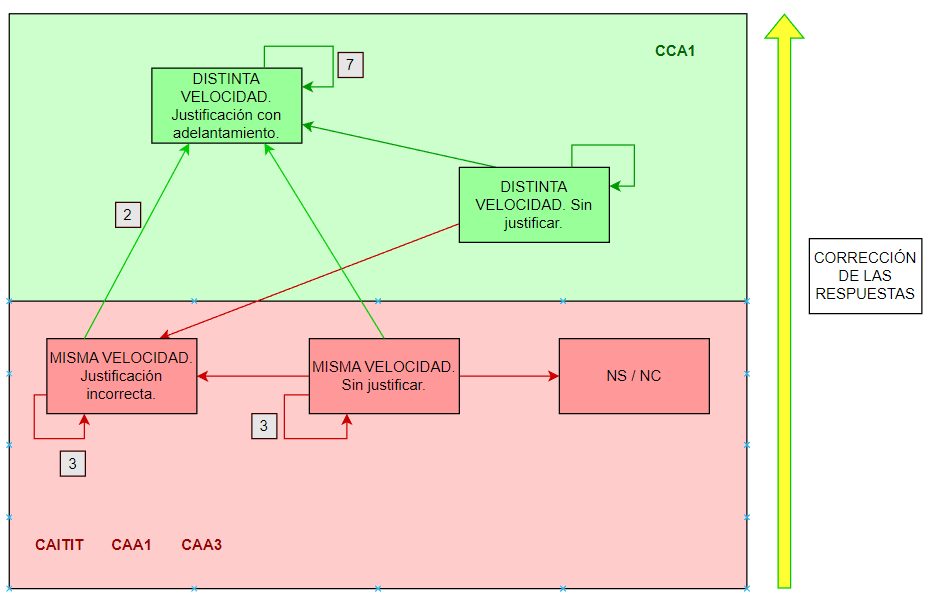


Figura 12. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 11 sobre adelantamientos.

Se aprecia un 48 % (10 / 21) de concepciones correctas antes de la intervención. Después, los aciertos ascienden a tan solo un 57% (12 / 21). Parece que la evolución global no es muy favorable en la corrección de las respuestas.

Además,tantas como el 57% (12 / 21) incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas, mientras que el 43% restante (9 / 21) disminuyen su nivel de corrección o permanecen incorrectas.

En esta pregunta, incluso más que en la pregunta 9, se observa una abundancia de respuestas sin cambio sustancial: un total del 67% (14 / 21). Es probable que haya sucedido porque igual que Science Bits sí tiene un gran volumen didáctico dedicado a algunos conceptos tratados en las otras preguntas de manera explícita, no es el caso con información que ataque de manera más directa esta concepción alternativa. Para añadir a esto, durante las sesiones de la fase de Explicación tampoco se hizo mucho hincapié en ello, ni en la diferencia entre instante de tiempo o intervalo de tiempo, presente en algunas de las respuestas obtenidas, y directamente relacionado con la CAITIT.

Mirando la categoría “MISMA VELOCIDAD. Justificación incorrecta”, la mayoría de las justificaciones 60% (6 / 10) no contemplaban un posible adelantamiento. Probablemente se deba a que estos alumnos no hubieran prestado atención a la palabra “instante” del enunciado, imaginando que los móviles avanzan al lado durante un intervalo determinado de tiempo. El restante de estas justificaciones 40% (4 / 10) sí que muestra directamente la creencia de que en un adelantamiento hay un momento corto en el que los móviles tienen la misma velocidad, como lo expuesto en la CAA1. Esas justificaciones pertenecen a solo dos alumnos que no cambiaron su respuesta sustancialmente antes y después de la intervención didáctica.

Como pequeña reflexión acerca de esta pregunta, las posibles concepciones alternativas que puedan aflorar en los alumnos quizá sean más sutiles que en otras, por lo que probablemente habría sido más eficaz hacerlas aflorar con el diseño de otra actividad, como el KCT (Kinematics Concept Test) mencionado anteriormente (Lichtenberger et al., 2016).

Algunas preguntas de la actividad de respuesta binaria (figura 1), han quedado sin analizar. En el caso de la pregunta 6, esto se debe a que la idea de velocidad como vector aún no se aprende en este temprano estadio del aprendizaje en Física. El mismo carácter vectorial viene implícito en las preguntas 10 y 12, cuyas concepciones alternativas involucradas se tratan de manera breve e independiente por parte del docente en una de las varias sesiones de enseñanza aprendizaje destinadas a este tema. Añadido a esto, esa noción direccional de la aceleración encaja muy bien en la unidad posterior: “Fuerzas”, por lo que se decidió trabajarlo en detalle más adelante. En cuanto a las preguntas 7 y 8, la concepción científica que emerge de ellas es la misma que en la pregunta 9 (la CCVA2). Por ello solo se analiza una de las tres preguntas.

* 1. **Preguntas sobre definiciones**

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 3:**

**¿Qué es la velocidad?**

La figura 3 muestra los resultados de la pregunta 3 del cuestionario.

A picture containing text, diagram, screenshot, plan

Description automatically generated

Figura 13. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 3 sobre la velocidad.

Aunque no sean estrictamente correctas, ya que no contemplan el cambio de distancia con el tiempo como ecuación de velocidad, se asume que los alumnos que definieron v = d / t sabían utilizar la definición correcta, ya que fueron capaces de resolver problemas analíticos donde los orígenes de tiempos y distancias no eran 0. Por ello, aunque considerada correcta, en las respuestas de este tipo se ve de manifiesto la CAPCP. De hecho, la velocidad que se define en estas respuestas es la velocidad media. Es normal ya que a este nivel la gran mayoría de movimientos se consideran a velocidades constantes y casi siempre los movimientos pasan de manera inmediata de velocidades constantes a velocidades nulas. No se estudia aún cálculo diferencial en matemáticas, por lo que realmente no se calculan velocidades instantáneas.

La figura 14 muestra un ejemplo de gráfica que empleaban para representar movimientos compuestos, extraída de Science Bits. La curva se puede subdividir en pequeños segmentos de recta concatenados, asociados a fases de velocidad constante diferentes.

A picture containing text, diagram, plot, line

Description automatically generated

Figura 14. Ejemplo de gráfica que representa movimientos compuestos en Science Bits para 2ºESO.

En esta pregunta, el número de respuestas correctas antes de la intervención es del 14% (3 / 21), mientras que después el número incrementa hasta un 71% (15 / 21). Por esto, se podría asumir que la evolución global en la corrección de respuestas es enormemente favorable.

En cuanto a la progresión de conocimiento, se observa que tantas como el 86% (18/21) incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas. Solo un 14% (3/21) permanecen incorrectas sin cambiar su nivel de corrección. Por ello, la progresión de conocimiento también se puede calificar como enormemente favorable.

Estos resultados probablemente se deban a que casi la totalidad de la unidad didáctica de Science Bits gira en torno la velocidad. Los alumnos están más que expuestos a este concepto de principio a fin de la secuencia, por lo que acaban asentando bien la concepción científica asociada.

Entre las respuestas incorrectas se encuentran las que definían la velocidad como una medida de “rapidez”. Aquí se manifiesta la concepción alternativa CASV1, aunque no es tan relevante en España, ya que al contrario que los angloparlantes, que distinguen entre speed (magnitud escalar) y velocity (magnitud vectorial), en España no se suele hacer esa distinción. Más bien se habla de la “velocidad” para referirse tanto al módulo como al vector en sí. Aquí se vuelve a notar de nuevo cómo la experiencia cotidiana influye en la formación de concepciones alternativas en los estudiantes. Al final del día, se dice que algo va más rápido cuando lleva mayor velocidad, y parece de sentido común a alguien con poco contacto con la física formal definir esta magnitud como una medida de rapidez.

Muchas de las respuestas que sabían relacionar la velocidad con la distancia y tiempo, pero sin saber cómo exactamente, hacían alusión a carreras en las que se sabía que el corredor de mayor velocidad es el que completa una distancia en el menor tiempo posible.

Otras respuestas directamente confundían la velocidad con el tiempo que tardaba un móvil en desplazarse, visibilizando de manera explícita la CADVA1.

Solamente una alumna confundió la velocidad con una fuerza, como se observa en su respuesta de la figura 15.

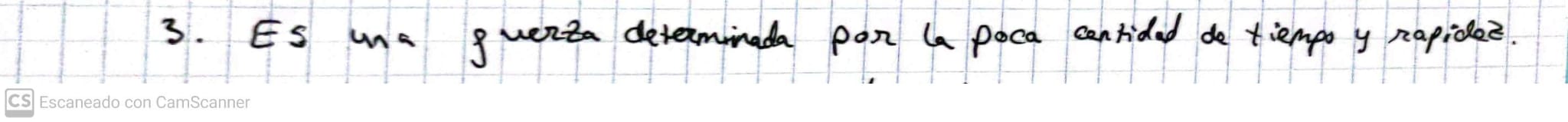


Figura 15. Respuesta de una alumna a la pregunta 3 sobre la velocidad.

**CATEGORIZACIÓN DE RESPUESTAS A LA PREGUNTA 4:**

**¿Qué es la aceleración?**

La figura 16 muestra los resultados de la pregunta 4 del cuestionario.

A diagram of a flowchart

Description automatically generated with low confidence

Figura 16. Progresión de conocimiento de las respuestas a la pregunta 4 sobre la velocidad.

Aunque no sean estrictamente correctas, ya que no contemplan la variable temporal de manera explícita, las respuestas dentro de la categoría “Cambio de velocidad” se consideran correctas dado que es el primer contacto académico de los alumnos con un concepto algo más abstracto como es el de la aceleración. Aquí se manifiesta la CADVA1 de nuevo. Además, los alumnos que respondieron dentro de esa categoría demostraron durante las diferentes sesiones de la intervención didáctica el dominio de este concepto teniendo en cuenta el tiempo, además del dominio matemático de la expresión a = Δv / Δt.

Antes de la intervención hay solo 1 / 21 concepción correcta, un 5%. Después, los aciertos ascienden a un 81% (17 / 20). Una evolución global enormemente favorable en la corrección de las respuestas.

Tantas como el 90% (19 / 21) de respuestas incrementan su nivel de corrección o permanecen correctas. Solo el 10% (2 / 21) permanecen incorrectas.La gran mayoría de respuestas ascienden en corrección probablemente debido a que en el día a día se suele utilizar la palabra “acelerar” para referirse a un aumento de velocidad, o para referirse a la acción de pisar el acelerador de un coche. Para aceleraciones que reducen la velocidad se suele emplear la palabra “frenar”. Es por ello que muchos de los alumnos al principio no contemplan cambios negativos en la velocidad dentro de la definición de aceleración (43%, 9 / 21). Esta concepción alternativa tampoco se encontró en la literatura, pero las docentes recalcaron antes de la intervención la frecuente presencia de esta en los jóvenes estudiantes. Tras la intervención, que incluyó la simulación de Science Bits mostrada en la figura 17, ellos son capaces de cambiar fácilmente sus concepciones iniciales. Al fin y al cabo, estas emergen en cuanto ven la simulación y son muy fáciles de transformar porque no eran erróneas del todo, sino parcialmente correctas.

**A screenshot of a car driving on a road

Description automatically generated with low confidence**

Figura 17. Fotograma de la segunda simulación sobre la aceleración en Science Bits.

Había alumnos que directamente confundían en un inicio la aceleración con velocidad. Este tipo de respuestas abarcaban concepciones como que la aceleración es una velocidad muy alta; o la velocidad máxima; o la velocidad final; o la inicial. Aquí se manifiesta de manera clara la CADVA1.

La pregunta 5, también sobre definiciones, se excluye del análisis detallado porque debería haberse separado en dos diferentes: una sobre la velocidad media y otra sobre la velocidad instantánea. Juntar la exploración de las concepciones alternativas relativas a ambos conceptos fue un error que imposibilitó analizar con tanto detalle como en las otras preguntas la evolución del conocimiento en estas cuestiones. Esto es una prueba más de que la caracterización se podría haber beneficiado más de un cuestionario validado.

* 1. **Observaciones Generales**

Primero, dado que la actividad de aula se realizó en horas de clase y esto quitaba tiempo para la unidad didáctica de “El Movimiento”, el tiempo de resolución se tuvo que limitar a 20 minutos para ambas iteraciones, tanto la anterior como la posterior a la intervención didáctica. Esto perjudicó gravemente las respuestas, a la luz de la gran cantidad de respuestas sin justificación que aparecieron. Esta razón se añade a las expuestas anteriormente para justificar la desestimación del análisis de algunas de algunas preguntas del cuestionario. Estas preguntas puede que fueran más difíciles de justificar para los alumnos. Tal vez por eso las dejaran para el final, para intentar optimizar esos 20 minutos. La gran mayoría de estudiantes seguían escribiendo cuando se recogieron las respuestas.

En las respuestas sí analizadas de la iteración inicial, se observa que la gran mayoría de respuestas erróneas justificadas o argumentadas, recopilan ideas provenientes de las experiencias cotidianas de los alumnos, con el mundo físico tangible o con su contacto con el lenguaje diario. Parecen de sentido común para ellos que no han tenido aún casi contacto con la Física formal (Suparno, 2013).

También aparecen muchos casos donde se construye conocimiento sobre el previo, tal y como expone (Scoboria, 2006; Silva et al., 2006). La construcción de nuevo conocimiento sobre esquemas preexistentes se puede observar en la comparación entre respuestas de la actividad de aula inicial y final, como es el caso mostrado en la figura 18, de entre muchos similares para la pregunta 4 sobre la aceleración. Como se observa claramente en la figura, la alumna cree en un inicio que acelerar es solamente incrementar la velocidad, mientras que al final, recupera ese esquema preconcebido y le añade que, además, también es disminuir la velocidad. Es importante recordar que los alumnos no tenían acceso a sus respuestas previas hasta no haber completado la actividad de aula por completo en la segunda vuelta.

A close-up of a piece of paper

Description automatically generated with low confidence

Figura 18. Respuestas anterior y posterior a la intervención didáctica por una alumna para la pregunta 4 sobre la aceleración.

Es destacable la enorme cantidad de respuestas desarrolladas y justificaciones que aluden a aprendizajes obtenidos de las simulaciones consultadas en Science Bits. Esto sugiere que al menos para este grupo, esta abundancia de estímulos visuales resultó positivo. La intervención didáctica parece haber sido generalmente favorable para los estudiantes en la progresión del conocimiento relacionada con el cambio conceptual. Se observa que no se progresa por igual por parte de todos los alumnos en cada pregunta, y que el progreso en casos más concretos de aplicación del conocimiento adquirido es menor que en cuestiones de definiciones de magnitudes aisladas. Los conocimientos relacionados con el concepto de magnitud evolucionan bien, mientras que la aplicación de esos conocimientos a la resolución de cuestiones más específicas evoluciona menos. Parece que cuesta a este grupo de alumnos aplicar el conocimiento adquirido cuando se combina más de una magnitud en el problema.

Añadido a todo esto, se ve que a los alumnos en general les cuesta justificar, a pesar de que se pide explícitamente en las preguntas de la actividad. Esto es una observación que también se transmitió por parte de las docentes experimentadas del departamento de Física y Química del centro. En este nivel académico tan bajo, los estudiantes no lo han hecho mucho aún, y no están acostumbrados. Algunos incluso parecían no entender qué era una justificación válida y qué no. Estos eran los que caían dentro de la subcategoría de justificaciones “no válidas” mencionadas anteriormente.

1. **CONCLUSIONES**

No se pueden sacar conclusiones que vayan más allá de esta muestra incidental, pero se podría afirmar con cierta credibilidad, que, al menos para este grupo, el empleo de simulaciones en el aprendizaje favorece la progresión positiva de conocimiento, en ocasiones deshaciendo concepciones alternativas en favor de concepciones científicas, lo que sugiere que emplear simulaciones en las intervenciones didácticas podría ser beneficioso para este grupo de estudiantes en lo que a cambio conceptual respecta.

A la vista de los resultados, y tras la RDR realizada, basada en las preguntas de la figura 1, podría suponer un estudio de interés valorar si la metacognición por parte de los alumnos pudiera servir también para favorecer el cambio conceptual. En otras palabras, tal vez enseñar a los alumnos cómo funcionan las concepciones alternativas en general, aludiendo a temas sobre su robustez, características comunes, o métodos planteados para transformarlas pudiera ayudarlos a vencerlas con mayor facilidad. Eso podría ser un tema interesante de estudio.

En la misma línea, y como propuesta para testar futuras instrucciones, tal vez se podría medir si la exposición inmediata a concepciones alternativas supone algún tipo de beneficio en el aprendizaje del alumnado.

1. **REFERENCIAS**

Abou Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion Best Practices for Administering Attitudes and Beliefs Surveys in Physics. *American Journal of Physics*, *53*, 1056–1065. https://doi.org/10.1119/1.14031

Adams, W. K. (2010). Student engagement and learning with PhET interactive simulations. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica C*, *33*(3), 21–32. https://doi.org/10.1393/ncc/i2010-10623-0

Azita Seyed Fadaei, & César Mora. (2015). An Investigation About Misconceptions in Force and Motion in High School. *US-China Education Review A*, *5*(1). https://doi.org/10.17265/2161-623x/2015.01.004

Berg, E. , B. R. , A. C. S. , B. K. S. , H. C. , K. N. , L. P. , M. J. , S. S. P. T. T. and D. Treagust. (1990). *Misconception of Physics and Remediation. An Introduction Based Workshop.*

Brown, A. L. , B. J. , & C. R. R. (1999). How people learn: Brain, mind, experience, and school. *National Academy Press.*

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. Van, Carlson Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications*.

Clement, J. (1982). Students’ preconceptions in introductory mechanics Related Content Preconceptions of Japanese Students Surveyed Using the Force and Motion Conceptual Evaluation Investigation of Students’ Preconceptions and Difficulties with the Vector Direction Concept at a Mexican University Preconceptions in physics among pupils in primary school. *American Journal of Physics*, *50*, 66–71. https://doi.org/10.1119/1.12989

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research Methods in Education, Sixth Edition*.

Demirci, N. (2005). A STUDY ABOUT STUDENTS’ MISCONCEPTIONS IN FORCE AND MOTION CONCEPTS BY INCORPORATING A WEB-ASSISTED PHYSICS PROGRAM. In *The Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET* (Vol. 4).

Garofalakis, J. D., Lagiou, E. V., & Plessas, A. P. (2013). Use of Web 2.0 Tools for Teaching Physics in Secondary Education. *International Journal of Information and Education Technology*, 6–9. https://doi.org/10.7763/ijiet.2013.v3.224

Jones, A. T. (1983). Investigation of students’ understanding of speed, velocity and acceleration. *Research in Science Education*, *13*(1), 95–104.

Krippendorp, K. (2004). *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. Sage.

Lee, G., Shin, J., Park, J., Song, S., Kim, Y., & Bao, L. (2005). Alternative conceptions, memory, & mental models in physics education. *AIP Conference Proceedings*, *790*(1), 165–168. https://doi.org/10.1063/1.2084727

Lichtenberger, A., Wagner, C., Hofer, S. I., Stern, E., & Vaterlaus, A. (2016). *Validation and structural analysis of the kinematics concept test*. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010115

Makhrus, M. , N. M. and W. W. (2014). Model Perubahan Konseptual dengan Pendekatan Konflik Kognitif (MPK-PKK). *J Pijar Mipa*, *9*(1).

Michelene T. H. Chi, Mei-Hung Chiu, & Nicholas deLeeuw. (1991). *Learning in a Non-Physical Science Domain: The Human Circulatory System*.

Miles, M. and H. M. (1994). *Qualitative Data Analysis* (2nd ed.). Sage.

Moore, E. B. , H. T. A. , & P. K. K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(3), 257–268.

Muller, D. A., & Sharma, M. D. (n.d.). *Tackling misconceptions in introductory physics using multimedia presentations* (Vol. 58).

Murdani, E., Sumarli Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan Singkawang, S., Stkip, J., Naram, K., Singkawang Utara, K., Singkawang, K., & Barat, K. (2018). Identification of Students Misconceptions in School and College on Kinematics. *Proceedings of the Borneo International Conference on Education and Social Sciences (BICESS)*, 75–82. https://doi.org/10.5220/0009016800002297

Novak, J. D. (2002). Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners. *Science Education*, *86*(4), 548–571. https://doi.org/10.1002/sce.10032

Pfundt, H. , & D. R. (1988). *Bibliography, students’ alternative frameworks and science education*.

Piaget, J. (1978). *The development of thought.* Oxford: Basil Blackwell.

Provalis Research. (2023). *QDA Miner Lite* (3.0).

Scoboria, A. , M. G. , K. I. , & J. S. (2006). The effects of prevalence and script information on plausibility, belief, and memory of autobiographical events. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *20*(8), 1049–1064.

Silva, M. M., Groeger, J. A., & Bradshaw, M. F. (2006). Attention-memory interactions in scene perception. In *Spatial Vision* (Vol. 19, Issue 1).

Smith III, J. P. , D. A. A. , & R. J. (1994). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, *3*(2), 115–163.

Streveler, R. A. , L. T. A. , M. R. L. , & S. P. S. (2008). Learning conceptual knowledge in the engineering sciences: Overview and future research directions. . *Journal of Engineering Education*, 279.

Suparno, P. (2013). *Miskonsepsi & perubahan konsep dalam pendidikan fisika*. Gramedia Widiasarana.

Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, *48*(12), 1020–1028. https://doi.org/10.1119/1.12298

Trowbridge, D. E., & Mcdermott, L. C. (1981a). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension Related Content Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension Modeling students’ conceptual understanding of force, velocity, and acceleration Assessing and improving student understanding of quantum mechanics. *Journal of Physics*, *49*, 242–253. https://doi.org/10.1119/1.12525

Trowbridge, D. E., & Mcdermott, L. C. (1981b). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension Related Content Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension Modeling students’ conceptual understanding of force, velocity, and acceleration Assessing and improving student understanding of quantum mechanics. *American Journal of Physics*. https://doi.org/10.1119/1.12298

Weber, R. P. (1990). *Basic Content Analysis* (2nd ed.). Sage.

1. **ANEXOS**
   1. **KCT (Kinematics Concept Test)** (Lichtenberger et al., 2016)

**A picture containing text, diagram, screenshot, line

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, sketch

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, screenshot, line

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, sketch, plan

Description automatically generated**

**A picture containing diagram, sketch, drawing, technical drawing

Description automatically generated**

**A picture containing diagram, sketch, plan, technical drawing

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing diagram, text, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing diagram, technical drawing, plan, schematic

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing text, diagram, line, parallel

Description automatically generated**

**A picture containing diagram, text, line, technical drawing

Description automatically generated**