

Diseño, implementación y valoración de una secuencia de enseñanza sobre el modelo de fuerzas para 4º de ESO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Máster en Profesorado en Educación Secundaria
Especialidad en Biología y Geología**

Junio 2019

Autora

Ana Romera Torres

Director

Rafael López-Gay Lucio-Villegas





Trabajo Fin de Máster

Informe del Director

D. Rafael López-Gay Lucio-Villegas profesor del Departamento de Educación de la Universidad de Almería y director del Trabajo Fin de Máster presentado por

Dña. Ana Romera Torres, con el título:

Diseño, implementación y valoración de una secuencia de enseñanza sobre el modelo de fuerzas para 4º de ESO

Informa de que, de acuerdo con los requisitos de rigor, coherencia y calidad requeridos para los trabajos de esta naturaleza, emito mi opinión: **Favorable**

En Almería a 18 de junio de 2019

Firmado por LOPEZ-GAY LUCIO-VILLEGAS RAFAEL -
27258596P el día 19/06/2019 con un certificado
emitido por AC FNMT Usuarios

Resumen:

El número de estudiantes que eligen estudiar ciencias en el instituto y, posteriormente, realizar carreras científicas es cada vez menor. Uno de los motivos se debe al modelo de enseñanza de ciencias de transmisión y desconectado del mundo cotidiano. Por ello, en este Trabajo Fin de Máster se presenta el desarrollo, implementación y valoración de una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de 4º de ESO. En concreto, una secuencia de enseñanza basada en indagación enfocada a la modelización cuyo objetivo es que el alumnado sea el protagonista de su aprendizaje. La secuencia trata sobre Las Leyes de Newton y pretende que el estudiante sea capaz de reconocer y emplear un modelo de fuerzas. Teniendo en cuenta que los resultados han sido muy favorables, se puede concluir que la metodología empleada cumple con los objetivos perseguidos y se reafirma como una metodología alternativa al enfoque tradicional.

Palabras clave: indagación, modelización, dinámica, Leyes de Newton

Abstract:

The number of students that study science in high school and later on choose a career in science is more often decreasing. One of the reasons why this happens is because science teaching and learning models fail to show useful knowledge for the students in their future. The aims of this thesis is to develop, implement and evaluate a Model-Based Inquiry didactical proposal in Science Education targeted at 4º ESO students. The subject matter are Newton's Laws and its aims is that student are able to recognize and apply Newton's forces model. The obtained results indicate that the methodology used is suitable to achieve the set objectives. Furthermore, the positive results consolidate this methodology as an alternative to the traditional methodology.

Key words: inquiry, model, laws of dynamics, Newton's Law

1. Introducción	1
2. Fundamentos didácticos implicados	1
2.1. <i>Concepciones alternativas</i>	2
2.2. <i>Cambios de concepciones: prácticas científicas</i>	4
2.3. <i>Enseñanza basada en indagación (IBSE) y modelización (MBI)</i>	7
3. Elección del tema y curso. Análisis del currículo	9
4. Grandes ideas sobre las Leyes de Newton	12
5. Propuesta didáctica: Las Leyes de Newton	15
5.1. <i>Objetivos específicos</i>	15
5.2. <i>Secuencia de actividades</i>	16
5.3. <i>Examen de evaluación</i>	30
6. Resultados: implementación y evaluación de la secuencia	30
6.1. <i>Contexto</i>	30
6.2. <i>Reflexión sobre mi experiencia en el centro</i>	31
6.3. <i>Análisis de los resultados: cambio de concepciones alternativas</i>	33
6.4. <i>Propuesta de mejora</i>	35
7. Valoración general y conclusiones	36
8. Referencias bibliográficas	38
Anexo I. Examen	41

I. Introducción

Si bien es cierto que el sistema educativo ha sufrido numerosas mejoras en los últimos años, sigue siendo evidente la necesidad de un cambio radical en las clases de ciencias. Actualmente, la enseñanza de las ciencias en las aulas dista poco de la de religión o historia, y suele centrarse en el estudio de conceptos, principios, modelos, teorías o leyes. Además, sigue imperando el enfoque de enseñanza de transmisión, dejando al alumnado en un segundo plano como mero oyente. Todo esto propicia que el estudiante tenga una visión distorsionada de la ciencia y que el número de alumnos y alumnas que eligen cursar ciencias sea cada vez menor.

Teniendo en cuenta la actual enseñanza de las ciencias, podría decirse que está totalmente alejada de las recomendaciones que se recogen en el currículo básico establecido en el Real Decreto 1105/2014, donde se insiste en el aprendizaje por competencias a través de planteamientos metodológicos innovadores. Entre ellas, destaca la competencia científica como competencia clave para cualquier estudiante.

Por todo ello, en este trabajo se presenta el desarrollo, implementación y valoración de una secuencia de enseñanza para el contenido de **Las Leyes de Newton** dirigida a estudiantes de 4º de ESO. Esta propuesta se enmarca en la metodología de enseñanza basada en indagación enfocada a la modelización (*Model-Based Inquiry*, MBI) y sigue un modelo de aprendizaje constructivista en el que el alumnado ocupa el centro del aprendizaje, en lugar de ser un sujeto pasivo. El objetivo que persigue es llevar al aula la práctica científica, en este caso a través de la construcción y el empleo del modelo de fuerzas.

En este trabajo se exponen los fundamentos didácticos implicados, el objetivo que se pretende lograr y el diseño, implementación y evaluación de la secuencia de enseñanza. Finalmente, se presenta una propuesta de mejora y una valoración general.

2. Fundamentos didácticos implicados

La didáctica de las ciencias ha evidenciado que las personas poseen sus propias explicaciones sobre el mundo que les rodea y que esas explicaciones juegan un papel fundamental en el aprendizaje. En esta fundamentación se describirán esas explicaciones y sus características, se discutirá por qué difieren de las concepciones

científicas y cómo cambiar unas por otras y, por último, cómo organizar la enseñanza para promover la realización de prácticas científicas.

2.1. *Concepciones alternativas*

Resulta sorprendentemente llamativo descubrir que alumnos y alumnas que han cursado carreras científicas y se encuentran en formación de post-grado, como es el caso de los participantes de este Máster, cometan los mismos errores conceptuales en conceptos básicos de ciencia que estudiantes de secundaria o de magisterio, cuya formación científica es infinitamente menor. Pese a que se ha visto que la mayoría del alumnado suele superar con facilidad la parte teórica de un examen de ciencias y que la resolución de problemas es la parte que presenta mayores dificultades, ¿puede considerarse que se ha comprendido y asimilado un concepto básico a pesar de no ser capaces de aplicarlo para la resolución de una situación sencilla?

Diversas investigaciones recogidas por Hierrezuelo y Montero (1991a) y Gunstone y Watts (1989) han puesto de manifiesto que las respuestas que los estudiantes proporcionan van en disonancia con los conocimientos científicos vigentes. Pero, lo que es más curioso aún es observar que estas respuestas se repiten independientemente del lugar (distintos países) y del nivel formativo (secundaria, universidad, incluso profesores) y persisten incluso después de aprender los conocimientos que los contradicen; que las respuestas se dan de forma rápida y segura, con total convencimiento de su veracidad; y que suelen estar relacionadas con la interpretación de conceptos científicos como la gravedad, la fuerza o la electricidad, entre otros, a veces interpretaciones que han sido mantenidas durante un periodo a lo largo de la historia.

Estas respuestas reiterativas fueron denominadas **errores conceptuales** y a las ideas que los producen se las conoce como **concepciones alternativas** (Carrascosa, 2005a). Así, en el caso de las fuerzas y el movimiento, estas ideas alternativas se corresponden con las concepciones pre-newtonianas, como las ideas aristotélicas o de la teoría medieval del ímpetus (Gunstone & Watts, 1989; Hierrezuelo & Montero, 1991b, 1991a), las cuales fueron aceptadas durante largo tiempo. También es importante mencionar que muchas observaciones cotidianas apoyan estas concepciones alternativas, como que es necesario ejercer una fuerza sobre un cuerpo

para que se mantenga en movimiento y que cuando la fuerza cesa el objeto se detiene. Es decir, las concepciones alternativas son funcionales y “lógicas”, puesto que nos permiten describir determinadas situaciones del mundo que nos rodea. Estas ideas pueden ser interiorizadas de forma espontánea al interpretar un fenómeno, como en el ejemplo mencionado, o pueden ser transmitidas socialmente.

Las concepciones alternativas de los estudiantes se caracterizan por:

- 1) Tratarse de esquemas elaborados con cierta coherencia interna, y no ideas puntuales, que cobran sentido en determinados contextos pero no son consistentes para otros.
- 2) Responder a intentos racionales de explicar las experiencias físicas.
- 3) Detectarse en estudiantes de diferentes medios y edades, pese a ser ideas personales.
- 4) Ser muy estables y persistentes y difícilmente modificables con la enseñanza tradicional, constituyéndose en esquemas conceptuales alternativos.
- 5) Expresarse mediante un lenguaje impreciso y términos indiferenciados.

Es importante también destacar que no todas las dificultades pueden atribuirse a estos esquemas alternativos. En este sentido, por ejemplo, en la comprensión de la mecánica newtoniana también se presenta dificultad en el uso del lenguaje formal de la ciencia, como las gráficas o la notación vectorial (Driver, 1986).

Viendo que las concepciones alternativas son persistentes y se observan hasta en los niveles formativos más altos, es indudable que la enseñanza tradicional no es efectiva para la modificación de estas ideas. Desarrollar una enseñanza que, como hasta la fecha, ignora estas concepciones y trata a los alumnos como una pizarra en blanco sobre la cual se escriben nuevas ideas, imperando la estructura de la información que se enseña frente al propio estudiante, es totalmente ineficaz, tal y como manifiestan diversos estudios. Esta enseñanza se basa en una **visión simplista del aprendizaje**.

Existe otra enseñanza en la que se reconoce la existencia de ideas previas, pero no se les da gran importancia. Así, se descubren los errores conceptuales previamente a las explicaciones de las ideas científicas, tratando de que los alumnos y alumnas las sustituyan por las correctas. De nuevo, se ha demostrado que las ideas alternativas se mantienen, ya que para el alumnado siguen siendo útiles para explicar ciertos fenómenos. Este tipo de enseñanza está basada en una **visión ingenua del**

aprendizaje, la cual espera que los estudiantes modifiquen sus esquemas alternativos simplemente al ser conscientes de que los tienen. Con estas dos visiones, se desarrolla un aprendizaje en el cual no se relaciona la información nueva con la que el estudiante poseía previamente, dando lugar a un **aprendizaje repetitivo o memorístico**.

Es importante, por tanto, llevar a cabo una metodología de aprendizaje en la que se reconozcan tanto las concepciones alternativas como la existencia de esquemas que relacionan esta información en la mente del estudiante, es decir, el conocimiento previo de los alumnos y alumnas. Esta enseñanza recoge una visión **constructivista del aprendizaje** ya que reconoce que gracias a estos esquemas el aprendiz procesa la información, construye nuevos significados y los relaciona con sus conocimientos previos, produciéndose un **aprendizaje significativo**. Con esta aproximación, los estudiantes pasan de ser sujetos pasivos, al menos desde el punto de vista cognitivo, (visión simplista e ingenua) a ser los responsables de su propio aprendizaje.

2.2. Cambios de concepciones: prácticas científicas

Pero, ¿por qué las concepciones alternativas son diferentes de las científicas si ambas se refieren a la misma realidad? Podríamos decir que el conocimiento cotidiano (ideas personales) y el conocimiento científico difieren en la finalidad que tienen y en el destinatario al que van dirigidos. Así, el **conocimiento cotidiano** trata de dar respuesta a una situación particular, sin tener en cuenta que sea contradictoria con respuestas dadas en otros contextos; es decir, tiene una validez local. Por el contrario, el **conocimiento científico** pretende elaborar un sistema coherente de aplicación general y aspira a tener una validez universal. Al mismo tiempo, el conocimiento científico pretende ser colectivo, basándose en el trabajo en equipo, la comunicación y la discusión pública, mientras que el conocimiento cotidiano sirve al individuo que lo utiliza y a su proximidad afectiva, tratándose de un grupo reducido. Otra gran diferencia entre ambos conocimientos es cómo se construyen y validan. Para el conocimiento cotidiano, las ideas se consideran certeras sólo por el hecho de que un ejemplo la apoye, lo cual se conoce como verificacionismo, y pueden estar expresadas con términos ambiguos. En cambio, para el conocimiento científico, las ideas deben expresarse con un significado preciso y se suponen como hipótesis que deben ser confirmadas o rechazadas mediante pruebas fehacientes, desarrollando el pensamiento

divergente y la creatividad (Martínez-Torregrosa, Doménech, & Verdú, 1993; Verdú & Martínez-Torregrosa, 2004).

Si queremos que los alumnos y alumnas desarrollen concepciones científicas en lugar de alternativas, tendremos que promover que realicen **prácticas científicas**: hacer ciencia, hablar ciencia, expresar ciencia... Es importante diferenciar las prácticas científicas reales de aquellas que hemos venido haciendo a lo largo de nuestro paso por el sistema educativo, en las cuales generalmente se sigue un guión sin formular ninguna hipótesis y se reduce meramente a “cacharrear”. Contrariamente a esto, las verdaderas prácticas científicas suponen expresar y discutir hipótesis, dando respuestas con sentido; diseñar la búsqueda de pruebas para confirmar o rechazar una hipótesis; obtener y analizar resultados; llegar a conclusiones, comunicarlas y discutir las; argumentar utilizando las pruebas como base; construir y evaluar modelos; buscar la generalización; etcétera (Keys & Kennedy, 1999). En definitiva, desarrollar formas de mirar, pensar, construir y validar conocimientos, para lo cual cobra sentido la perspectiva de que la ciencia es para todos y todas.

Llegados a este punto, es el momento de identificar cuáles son las prácticas científicas en relación a cómo se entiende la actividad científica, entre las que podemos destacar tres prácticas o grupos de prácticas más representativas (**Figura 1**): la **indagación**, relacionada con el mundo real y las actividades empíricas; la **modelización**, relacionada con el mundo de las ideas, teorías y modelos así como las actividades mentales; y, entre ambas, la **argumentación**, relacionada con la evaluación y crítica de todas ellas (National Research Council, 2012). Cada una puede definirse de forma diversa; aquí tomaremos como referencia las siguientes definiciones (Mosquera, Puig, & Blanco, 2018):

- La indagación consiste en la capacidad para planificar y realizar diseños experimentales con el objetivo de responder preguntas o resolver ciertos problemas. Conlleva formular preguntas, emitir hipótesis, diseñar y desarrollar experimentos, formular explicaciones científicas, analizar explicaciones y modelos alternativos, así como comunicar y defender argumentos.
- La modelización es el proceso de creación, revisión y empleo de modelos de forma dinámica y creativa con el objetivo de comprender cómo y por qué se

elaboran diferentes modelos científicos. El alumnado debe entender el propósito del modelo y éste debe permitirles explicar o predecir un fenómeno natural.

- La argumentación trata de evaluar los enunciados a base de pruebas, e interacciona con la indagación y la modelización.

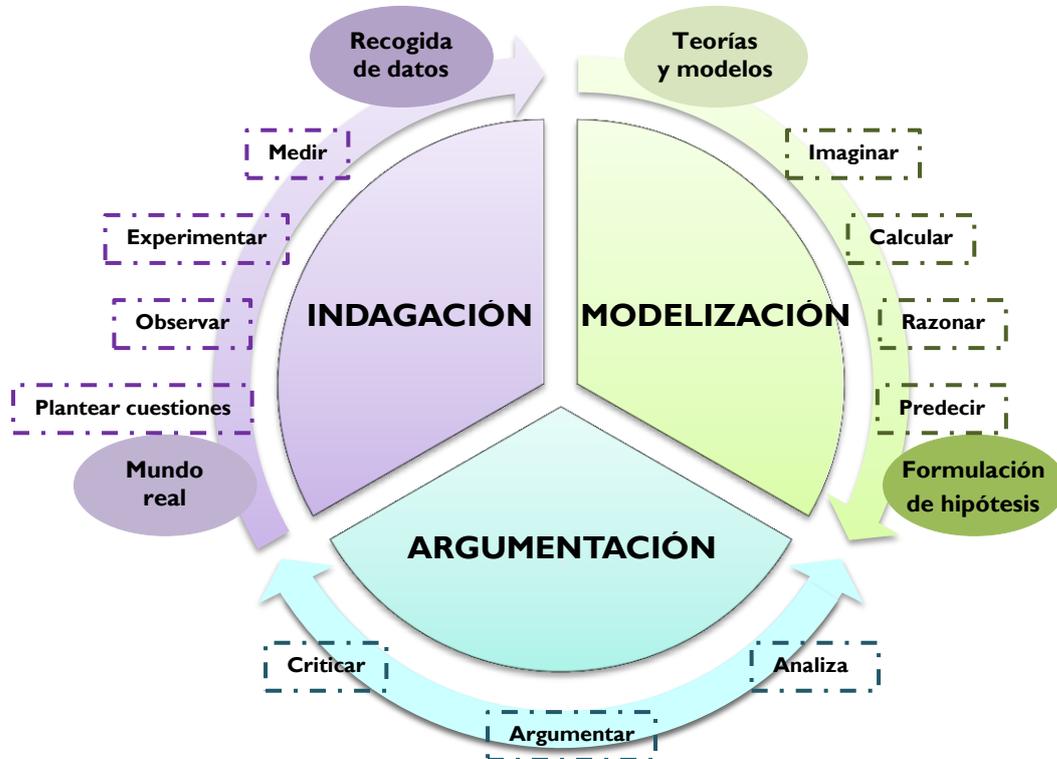


Figura 1: Esferas de la actividad científica. Obtenido de NRC (2012).

Con la realización de prácticas científicas se contribuye al desarrollo cognitivo y a la integración cultural al mismo tiempo que se favorece el desarrollo de la **competencia científica**, pues se fomenta el uso de los aprendizajes para resolver cuestiones y problemas (López-Gay, 2018). Asimismo, es importante destacar que para realizar una práctica es necesario emplear tanto habilidades como conocimientos específicos, potenciando la participación del alumnado en prácticas científicas (National Research Council, 2012). Si definimos la competencia científica como la capacidad de utilizar el conocimiento científico, identificar cuestiones científicas y sacar conclusiones basadas en pruebas a fin de comprender y ayudar a tomar decisiones relativas al mundo natural y a los cambios que ha producido en él la actividad humana (OCDE, 2006), vemos que las tres esferas de la actividad científica que se acaban de describir convergen en esta definición. Esta competencia requiere tanto el conocimiento de los conceptos y las

teorías de la ciencia, como los conocimientos de los procedimientos y las prácticas científicas (conocimiento epistémico). Al mismo tiempo, se definen cuatro aspectos interrelacionados que componen la definición de dicha competencia: contextos, competencias, conocimientos y actitudes. En definitiva, la competencia científica debe responder a la pregunta: *¿Qué es importante que los jóvenes sepan, valoren y sean capaces de hacer ante situaciones relacionadas con la ciencia y la tecnología?* (OCDE, 2017), con el objetivo de conseguir la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados.

2.3. Enseñanza basada en indagación (IBSE) y modelización (MBI)

Si pretendemos modificar la forma de aprender, será necesario planificar la enseñanza de otro modo. Esto conlleva un cambio a la hora de impartir las clases, de modo que en lugar de centrarse en la explicación del docente, el eje organizativo pasa a ser lo que los estudiantes van a hacer, pensar, discutir, cuestionar, diseñar, analizar... con el objetivo de que los propios alumnos y alumnas puedan llegar a conclusiones; o lo que es lo mismo, realicen prácticas científicas.

En este sentido, la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (*Inquiry Based Science Education*, IBSE) constituye un enfoque de enseñanza y aprendizaje de las ciencias basado en una concepción de cómo aprenden los estudiantes, de la naturaleza de la investigación científica y de cuál es el contenido básico que hay que aprender (aprendizaje basado en indagación, *Inquiry Based Learning*, IBL), como queda recogido en el proyecto europeo Fibonacci (Artigue, Baptist, Dillon, Wynne, & Léna, 2010). Romero-Ariza (2017) muestra el paralelismo entre los aspectos clave de la indagación de calidad y el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (*Programme for International Student Assessment*, PISA) para la evaluación de la **alfabetización científica**, tal y como se presenta en la **Tabla I**.

Tabla I: Qué modelo de indagación favorece la alfabetización científica de acuerdo con el marco de evaluación de PISA, reproducida de (Romero-Ariza, 2017).

Aspectos clave	PISA	Indagación de calidad
Contexto	Capacidad de transferir conocimiento y habilidades a una amplia variedad de contextos	Búsqueda de contextos y cuestiones que faciliten el desarrollo de destrezas de investigación y la construcción significativa de conocimiento científico
Motivación y actitudes	Interés por la ciencia	Motivación e implicación en la investigación de cuestiones científicas
	Valoración de la ciencia	Apropiación de la “cultura científica”, valoración de la naturaleza de la ciencia
Competencias	Explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones científicas e interpretar datos y pruebas científicas	Investigar cuestiones científicas, evaluar ideas alternativas teniendo en cuenta los datos y evidencias disponibles y construir explicaciones coherentes (investigar, interpretar, argumentar y modelizar)
Conocimiento	Procesual, epistémico y fáctico	Conocimiento de ciencias (comprensión de ideas científicas) y sobre ciencia (forma en la que se construye e conocimiento)

Pero, ¿qué es la indagación? Según el Consejo Nacional de Investigación de América (National Research Council, 2000), la indagación es “una actividad polifacética que incluye la observación, la formulación de preguntas, la búsqueda de información en libros y otras fuentes para conocer lo que ya se sabe sobre un tema, el diseño y planificación de investigaciones, la revisión de ideas atendiendo a la evidencia experimental disponible, el manejo de herramientas asociadas a la adquisición, el análisis e interpretación de datos, la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados. La indagación requiere la identificación de asunciones, la aplicación del pensamiento lógico y crítico y la consideración de explicaciones alternativas”. En el ámbito de la educación, una de las aplicaciones de la indagación se refleja en la IBSE.

Tal y como describen Aguilera Morales et al. (2018), la IBSE para el aprendizaje de ciencias trata de mejorar la actual forma de enseñar ciencias en los centros educativos, con el objetivo de mejorar la imagen y actitud hacia la ciencia, contribuir a la alfabetización científica e incentivar las vocaciones científicas. Además, su implementación implica ciertos pasos a seguir (Driver, 1986; Martínez-Chico, 2013):

- 1) Identificar problemas o cuestiones científicas que puedan ser constatadas o refutadas usando pruebas y presentarlos a través de una pregunta.

- 2) Emitir hipótesis como posibles respuestas al problema o cuestión.
- 3) Buscar pruebas que confirmen o rechacen la hipótesis, mediante experimentación o búsqueda de información en fuentes secundarias.
- 4) Analizar e interpretar los resultados encontrados.
- 5) Extraer conclusiones y comunicarlas.

No obstante, la falta de consenso acerca de cómo llevar a cabo una enseñanza por indagación tiene como resultado que, en muchas ocasiones, ésta se haya centrado sólo en el componente procedimental (preguntas, procedimiento, resultados e interpretación) dejando de lado el marco conceptual científico y el razonamiento científico de los estudiantes (Bevins & Price, 2016). Esto pone de manifiesto la necesidad de llevar a cabo una IBSE que enfatice en los objetivos conceptuales al mismo tiempo que acentúe la búsqueda de explicaciones cada vez generales (Carrascosa, Domenech, Martínez-Torregrosa, Osuna, & Verdú, 2016), reflejando el espíritu de la ciencia que resalta el valor de los aspectos conceptuales y el aprendizaje de modelos (López-Gay, 2018). Para ello, se debe conceder un mayor protagonismo a la argumentación y modelización como ingredientes clave de una indagación de calidad (Romero-Ariza, 2017); es decir, una MBI (Couso, 2014) que permita a los estudiantes reflexionar y mejorar sus propios modelos mentales, con el objetivo de alcanzar un acuerdo entre sus propias ideas (concepciones alternativas) y el conocimiento científico, a través de procesos cíclicos de generación, evaluación y modificación.

En definitiva, la metodología de MBI va en dirección al desarrollo de la competencia científica, una de las competencias clave descritas en el currículo básico de secundaria. Y, al mismo tiempo, se establece como una alternativa innovadora frente a los enfoques tradicionales de enseñanza.

3. Elección del tema y curso. Análisis del currículo

Con el objetivo de poder trasladar al aula durante mi periodo de prácticas como docente la propuesta didáctica desarrollada, la elección del tema ha estado condicionada por la programación temporal de mi tutora en el centro. Por este motivo, he elegido realizar la propuesta didáctica sobre el tema **Las Leyes de Newton** en 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) a fin de poder implementarla.

En este Trabajo Fin de Máster se propone una secuencia MBI que trata de dar como respuesta un planteamiento metodológico innovador que propicie la adquisición de, entre otras, la competencia científica. Para ello, se ha realizado un análisis del currículo básico de la ESO y el Bachillerato, establecido en el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, en relación al tema **Las leyes de Newton** de la asignatura de Física y Química para un curso de 4º de ESO. Este contenido, que es introducido en 2º y 3º de ESO, en 4º de ESO aparece en el *Bloque 4. El movimiento y las fuerzas*.

A la hora de desarrollar una propuesta de enseñanza es importante analizar las pautas y elementos que se abordan en el currículo en relación a los procesos de enseñanza y aprendizaje. Los elementos que articulan el currículo son los siguientes: los objetivos, las competencias, los contenidos, la metodología didáctica, los estándares de aprendizaje y los criterios de evaluación. El Real Decreto mencionado define dichos elementos de la siguiente forma:

- **Objetivos:** logros que el estudiante debe alcanzar al finalizar cada etapa, como resultado de las experiencias de enseñanza-aprendizaje.
- **Competencias:** capacidades para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos.
- **Contenidos:** conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes que contribuyen al logro de los objetivos y a la adquisición de competencias. Los contenidos se ordenan en asignaturas, que se clasifican en materias y ámbitos.
- **Metodología didáctica:** conjunto de estrategias, procedimientos y acciones organizadas y planificadas por el profesorado, de manera consciente y reflexiva, con la finalidad de posibilitar el aprendizaje del alumnado y el logro de los objetivos planteados.
- **Criterios de evaluación:** son el referente específico para evaluar el aprendizaje del alumnado. Describen aquello que se quiere valorar y que el alumnado debe lograr, tanto en conocimientos como en competencias; responden a lo que se pretende conseguir en cada asignatura.
- **Estándares de aprendizaje evaluables:** especificaciones de los criterios de evaluación que permiten definir los resultados de aprendizaje, y que concretan lo que el estudiante debe saber, comprender y saber hacer en cada asignatura;

deben ser observables, medibles y evaluables y permitir graduar el rendimiento o logro alcanzado. Su diseño debe contribuir y facilitar el diseño de pruebas estandarizadas y comparables.

En la **Tabla 2** se presentan los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en relación al tema escogido para este Trabajo Fin de Máster.

Tabla 2: Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de 4º de ESO. Bloque 4. El movimiento y las fuerzas. (RD 1105/2014)

Contenido	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
Leyes de Newton	6. Reconocer el papel de las fuerzas como causa de los cambios en la velocidad de los cuerpos y representarlas vectorialmente	6.1. Identifica las fuerzas implicadas en fenómenos cotidianos en los que hay cambios en la velocidad de un cuerpo. 6.2. Representa vectorialmente el peso, la fuerza normal, la fuerza de rozamiento y la fuerza centrípeta en distintos casos de movimientos rectilíneos y circulares.
	7. Utilizar el principio fundamental de la Dinámica en la resolución de problemas en los que intervienen varias fuerzas	7.1. Identifica y representa las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento tanto en un plano horizontal como inclinado, calculando la fuerza resultante y la aceleración.
	8. Aplicar las leyes de Newton para la interpretación de fenómenos cotidianos	8.1. Interpreta fenómenos cotidianos en términos de las leyes de Newton. 8.2. Deduce la primera ley de Newton como consecuencia del enunciado de la segunda ley. 8.3. Representa e interpreta las fuerzas de acción y reacción en distintas situaciones de interacción entre objetos.

Este currículo hace hincapié en el aprendizaje por competencias, entendidas como una combinación de habilidades, conocimientos, y actitudes; es decir, un **saber hacer** aplicado a diferentes contextos. Asimismo, propone nuevos enfoques de enseñanza y evaluación, con planteamientos metodológicos innovadores. En el currículo se establecen las siguientes competencias clave:

- a) Comunicación lingüística.
- b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- c) Competencia digital.
- d) Aprender a aprender.

- e) Competencias sociales y cívicas.
- f) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.
- g) Conciencia y expresiones culturales.

Este Decreto también expresa que, para una adquisición eficaz de las competencias y su integración efectiva en el currículo, deberán diseñarse actividades de aprendizaje integradas que permitan al alumnado avanzar hacia los resultados de aprendizaje de más de una competencia al mismo tiempo, potenciándose, entre otras, las competencias básicas en ciencia y tecnología o competencia científica.

Centrándonos en la asignatura de Física y Química, el objetivo principal de la misma es dotar al estudiante de herramientas específicas que le permitan afrontar el futuro con garantías, participando en el desarrollo económico y social al que está ligada la capacidad científica, tecnológica e innovadora de la propia sociedad.

4. Grandes ideas sobre las Leyes de Newton

Las leyes de Newton constituyen la expresión sistemática del modelo de fuerzas planteado por Newton para explicar y predecir los cambios de movimiento de todos los objetos del universo. Se trata de un modelo porque es un potente conjunto de ideas y elementos que van más allá de lo directamente perceptible y observable y tiene la finalidad de ser aplicado a un amplio conjunto de fenómenos aparentemente distintos, es decir, tienen una pretensión de universalidad. De hecho puede decirse que el modelo newtoniano de fuerzas constituye la base de la explicación mecánica del mundo y viene a sustituir al modelo aristotélico; no obstante, hoy sabemos que es un modelo válido dentro de la física clásica ya que no puede aplicarse cuando se tienen en cuenta efectos relativistas (en el margen de velocidades próximas a la de la luz) o efectos cuánticos (en el margen del mundo submicroscópico).

Como todos los modelos científicos, debemos advertir que no se aprende de una vez para siempre. En la mayoría de los libros se plantea primero la formulación abstracta y general del modelo completo y después su aplicación en casos más o menos complejos. No se plantea una progresión en el aprendizaje del modelo, tan sólo en la complicación de los casos a los que se aplica. El resultado es una repetición de las leyes de Newton prácticamente en los mismos términos desde el comienzo de la

secundaria hasta la Universidad, variando principalmente la complejidad física y matemática de sus aplicaciones.

Desde mi punto de vista, se hace necesario establecer una progresión en los elementos del modelo, lo que supone aceptar que alguna ley o leyes y elementos no sean considerados en un curso concreto.

Por esta razón, lo primero que me planteé fue: ¿qué quiero que sepan mis alumnos y alumnas sobre dinámica? Es decir, delimité las grandes ideas que quería enseñarles. A partir de mi conocimiento del modelo científico, del análisis del currículo realizado y del propio libro de texto que usa mi tutora de centro, seleccioné esas ideas: (1) La fuerza que se está ejerciendo sobre un objeto es el resultado de una acción realizada desde el exterior sobre el objeto (2) El efecto producido sobre el objeto es el resultado de la suma de todas las fuerzas que están actuando sobre él (fuerza resultante), teniendo en cuenta que se trata de una suma vectorial (3) El efecto de la fuerza resultante no es la velocidad sino el cambio de velocidad, es decir, su aceleración. Esta selección deja fuera algunas ideas importantes del modelo que aparecen en el currículo, como es la idea de interacción reflejada en la tercera ley o el estudio de movimientos no rectilíneos que obliga a considerar la existencia de una fuerza resultante en dirección perpendicular al movimiento.

La siguiente cuestión que me propuse fue conocer las concepciones alternativas que poseen los estudiantes acerca de las Leyes de Newton para, a través de la secuencia diseñada, tratar de cambiarlas por las ideas fundamentales. Así, Gunstone y Watts (1989) establecen las siguientes concepciones alternativas de los estudiantes: (1) Las fuerzas están relacionadas con los seres vivos, (2) El movimiento constante requiere una fuerza constante, (3) La cantidad de movimiento es proporcional a la cantidad de fuerza, (4) Si un cuerpo no se mueve, no actúa ninguna fuerza sobre él y (5) Si un cuerpo se mueve, hay una fuerza que actúa en la dirección del movimiento. De forma similar, Hierrezuelo y Montero (1991) establecen unos preconceptos de las alumnas y alumnos sobre fuerzas: (1) Tienen carácter antropocéntrico, (2) Las fuerzas dependen de la configuración del sistema, (3) Los objetos poseen fuerzas, (4) Hay una asociación entre fuerza y movimiento y (5) El carácter sustancial de las fuerzas.

En la **Tabla 3** se presentan las ideas fundamentales en relación a las Leyes de la Dinámica frente a las concepciones alternativas que seleccioné, en base a la búsqueda bibliográfica.

Tabla 3: Ideas fundamentales de la ciencia e ideas alternativas de los estudiantes sobre las Leyes de Newton.

Ideas fundamentales de la ciencia	Ideas alternativas de los estudiantes
Ningún cuerpo posee fuerza	La fuerza se posee, sobre todo los seres vivos como personas o animales
La fuerza es una acción exterior ejercida sobre un cuerpo: interacción	Un cuerpo u objeto puede empujarse a sí mismo, sobre todo un ser vivo
La fuerza es la causante del cambio de movimiento: aceleración $F_{\text{res}} \leftrightarrow a \Rightarrow a = \frac{F_{\text{res}}}{m_{\text{objeto}}}$	La fuerza es la causante del movimiento: velocidad $F_{\text{res}} \leftrightarrow v \Rightarrow v = \frac{F_{\text{res}}}{m_{\text{objeto}}}$
Si no actúa ninguna fuerza, no hay cambio de movimiento: MRU $F_{\text{res}} = 0 \Rightarrow a = 0 \begin{cases} \text{reposo: } v = 0 \\ \text{MRU: } v \neq 0 \end{cases}$	Si no actúa ninguna fuerza, no hay movimiento: reposo $F_{\text{res}} = 0 \Rightarrow v = 0$
Las fuerzas son vectores: la sumatoria de las fuerzas puede ser cero $\sum F = 0 \Rightarrow F_{\text{res}} = 0$	La fuerza siempre va en la dirección del movimiento

A fin de que, tras mi intervención intensiva durante las prácticas en el centro, los estudiantes adquirieran las ideas fundamentales expuestas en la **Tabla 3**, se llevó a cabo una secuencia didáctica cuyo objetivo era realizar prácticas científicas a través de una secuencia MBI, es decir: que los alumnos y alumnas expresaran sus ideas personales, que fueran construyendo un modelo de fuerzas y que fueran capaces de aplicarlo a diferentes situaciones, estáticas y dinámicas, en las que intervinieran las fuerzas; en definitiva, que pudieran realizar predicciones empleando el modelo. Para ello, consulté previamente varias propuestas de MBI publicadas de varios autores (Bullejos et al., s. f.; Cañas, Viguera, Caamaño, & de Prada, s. f.; Carrascosa, 2005b) así como apuntes de elaboración propia sobre caída vertical de mi director.

5. Propuesta didáctica: Las Leyes de Newton

Como se ha adelantado en el apartado anterior, el objetivo general de este trabajo fue el desarrollo, implementación y evaluación de una propuesta didáctica sobre las Leyes de Newton para un curso de 4º de ESO. Para ello, se elaboró una secuencia de enseñanza basada en MBI que intercala preguntas para los estudiantes, con el objetivo de que expresen y discutan sus ideas, con el análisis de situaciones estáticas y dinámicas que permitan construir y utilizar un modelo de fuerzas. Este modelo se comienza a construir desde el inicio partiendo de la situación más sencilla en la que intervienen fuerzas, como la caída libre donde interviene una única fuerza en una sola dirección y sentido, para llegar a la situación más compleja como en el caso de un plano inclinado, donde intervienen numerosas fuerzas, en varias direcciones y sentidos.

En este apartado presentaré los objetivos específicos, así como el diseño de la secuencia de actividades y del examen que propuse para el final del tema. Dejaremos para el siguiente apartado la presentación y discusión de resultados.

5.1. Objetivos específicos

Los objetivos que se pretenden alcanzar con la implementación de esta propuesta didáctica son que los estudiantes sean capaces de:

- Identificar las fuerzas como una medida de interacción entre dos cuerpos.
- Identificar la fuerza como una acción exterior ejercida sobre un cuerpo.
- Reconocer que las fuerzas no son la causa del movimiento, sino del cambio de movimiento.
- Analizar las fuerzas que actúan en diferentes situaciones, tanto cualitativa como cuantitativamente: peso, normal, tensión y rozamiento por deslizamiento.
- Construir el modelo de fuerzas a través del análisis de diferentes situaciones estáticas y dinámicas.
- Razonar, argumentar y predecir diferentes situaciones, mediante el uso de hipótesis, en las participan fuerzas empleando el modelo.
- Aplicar lo aprendido a diferentes situaciones de su entorno.

5.2. Secuencia de actividades

Tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha desarrollado e implementado una secuencia de MBI, preparada para 6 sesiones, presentada a continuación, con los *enunciados de las actividades o intervenciones del docente* en cursiva junto a las posibles respuestas por parte del alumnado, comentarios que el docente debe tener en cuenta y las conclusiones que se deben alcanzar en cada actividad.

1ª SESIÓN:

1ª idea: la fuerza no se posee, ni una persona ni un objeto puede empujarse a sí mismo: interacción

A1. *¿Qué creéis que se necesita para que un cuerpo se mueva?*

Posibles respuestas: empujar, tirar, golpear... Sugerimos: parece que es siempre una acción desde el exterior, es decir, ningún cuerpo puede empujarse a sí mismo, ¿es así?

A2. *Decid algún ejemplo en el que un objeto o cuerpo se empuje a sí mismo.*

Posibles respuestas: cuando andamos, nadamos (nos empujamos con el suelo, agua)...

Comentarios: deben darse cuenta de que para que un cuerpo se mueva debe haber una interacción con otro cuerpo.

Conclusiones: la fuerza es una medida de interacción entre dos cuerpos. Cada acción desde el exterior (X) sobre un objeto (O) se mide con una magnitud vectorial: la fuerza, y expresa la fuerza que ejerce X sobre O: $\vec{F}_{X,O}$

2ª idea: la fuerza que ejerce un cuerpo A sobre otro B es igual y de sentido contrario a la que ejerce B sobre A. Las fuerzas siempre van en parejas. 3ª Ley de Newton

A3. *Analizad las fuerzas que se producen entre los objetos subrayados en cada caso dan en los siguientes casos: damos un puñetazo (puño) a un saco de boxeo, una persona levanta una caja que está en el suelo, una persona empuja una puerta, una persona sentada en una silla de ruedas empuja una mesa ¿qué se movería?*

Comentarios: en todos los casos hay una pareja de fuerzas: yo sobre la mesa y la mesa sobre mí, el puño sobre el saco y el saco sobre el puño... En el caso de la mesa, vemos que cuando nosotros empujamos la mesa, también ella nos empuja (silla con ruedas nos movemos nosotros). Si piensas “representar” esas fuerzas da instrucciones: una flecha cuyo origen está en el objeto sobre el que actúa y que apunta hacia dónde empuja al objeto; su “tamaño” es indicador de la intensidad o valor de esa fuerza. Expresaremos las fuerzas diciendo quién/qué la realiza, sobre

qué/quién se realiza. $F_{A,B}$: fuerza que ejerce A sobre B. Las fuerzas siempre van en parejas y ambas tienen el mismo valor (módulo) y sentido contrario:

3ª LEY O PRINCIPIO DE ACCIÓN-REACCIÓN: “La fuerza que ejerce A sobre B es de igual módulo y sentido opuesto a la que ejerce B sobre A”.

$$\vec{F}_{A,B} = -\vec{F}_{B,A}$$

Conclusión: no puedo empujarme a mí mismo, ni un objeto puede empujarse a sí mismo. Se necesita una fuerza exterior.

Comentarios: esta Ley se conoce como Principio de acción-reacción, pero esta denominación puede llevar a pensar que una fuerza ocurre primero y la otra después, lo cual no es correcto.

Ambas fuerza son simultáneas, y puede expresarse en ambas direcciones: $\vec{F}_{A,B} = -\vec{F}_{B,A}$ o $-\vec{F}_{A,B} = \vec{F}_{B,A}$

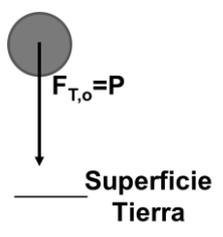
3ª idea: cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza, su velocidad aumenta o disminuye; las fuerzas producen cambios de velocidad: aceleración

A4. ¿Qué ocurre si soltamos una bola a una determinada altura y lo dejamos caer? ¿Qué es lo que hace que caiga hacia el suelo?

Posibles respuestas: se cae por la gravedad: FUERZA PESO.

Comentarios: explicarles que lo que llamamos fuerza de la gravedad es una fuerza de atracción: el peso, ejercido por la Tierra. Si no hubiera tierra la bola no se caería.

Dibuja la fuerza que actúa sobre la bola.



Comentarios: deben dibujar una fuerza que parte del centro de la bola, perpendicular hacia abajo, hacia el centro de la tierra. A esa fuerza con que la tierra atrae al objeto ($F_{T,o}$) la llamaremos fuerza peso, y se representa como: P.

Ya sabemos que la Tierra atrae al objeto verticalmente hacia abajo, pero... ¿De qué creéis que dependerá su valor?

Posibles respuestas: altura desde la que cae, masa del bolígrafo...

Comentarios: la fuerza peso no depende de la altura (siempre que no nos alejemos más de 20 km del suelo...), pero sí de la masa del objeto. El P es proporcional a m: la tierra atrae con la misma fuerza a cada kg de cualquier objeto: 10 Newton. Los Newton se representan como N y es la unidad de fuerza en el Sistema Internacional.

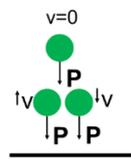
A5. a) Describe el movimiento de una tiza de 40 g (0,04 kg) de masa desde que se deja caer desde 2 m de altura hasta justo antes de tocar el suelo: ¿cambia su rapidez? Dibuja y calcula la fuerza que está actuando sobre la tiza mientras desciende. b) Describe el movimiento de esa misma tiza que se

lanza hacia arriba desde que sale de mi mano: ¿cambia su rapidez? Dibuja y calcula la fuerza que está actuando sobre la tiza mientras asciende y mientras desciende.



Si al principio $v_0=0$, y cuando llega al suelo $v_f>0$, el bolígrafo cae cada vez más rápido; tiene aceleración. Como la fuerza va a favor del movimiento, le hace ir cada vez más rápido.

$$P=m \cdot 10\text{N/kg}=0,04 \cdot 10=0,4 \text{ N}$$



Al subir, el bolígrafo va cada vez más lento, luego se para, y luego cae cada vez más rápido: cambia su velocidad. Solo actúa la fuerza peso, tanto al subir como al bajar. Como la fuerza va en contra del movimiento, le hace ir cada vez más lento.

$$P=m \cdot 10\text{N/kg}=0,04 \cdot 10=0,4 \text{ N}$$

¿Y si sobre un cuerpo NO actúa ninguna fuerza?

Comentarios: si la fuerza va a favor aumenta la velocidad; si va en contra disminuye; si no hay fuerza: la velocidad no cambia: si se está moviendo con MRU, continúa con MRU ($v=cte$) y si está en reposo ($v=0$, cte.), sigue en reposo.

1ª LEY o PRINCIPIO DE INERCIA: “Si sobre un objeto no están actuando fuerzas o la fuerza resultante es cero, el objeto está en reposo o describiendo un movimiento rectilíneo uniforme”

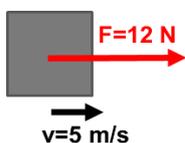
$$\vec{F}=0 \Rightarrow m \vec{a}=0 \Rightarrow \vec{a}=0 \Rightarrow v=cte$$

¿Qué relación existe entre la fuerza que está actuando y la aceleración que produce en el objeto? Por ejemplo: empujo con la misma fuerza a una bicicleta y a un camión, ¿la aceleración que se producirá al aplicarles esa fuerza será la misma?

Posibles respuestas: el efecto de la fuerza (aceleración) depende de la masa del objeto, de lo grande que sea...

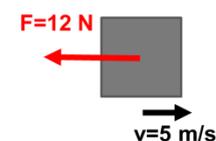
Comentarios: el efecto de la fuerza depende de la masa del objeto sobre el que actúa: $\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}$

A6. En cada figura se representa un objeto de 3 kg de masa sobre una superficie horizontal. Se especifica la velocidad inicial del objeto y la fuerza que está actuando. Describe cómo se moverá el objeto mientras esté actuando esa fuerza y calcula la aceleración.



$$F=m a \Rightarrow a=\frac{F}{m}=\frac{12}{3}=4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se mueve hacia la derecha (en el sentido de la fuerza) cada vez más rápido con una aceleración constante de 4 m/s^2



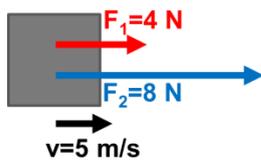
$$F=m a \Rightarrow a=\frac{F}{m}=\frac{12}{3}=4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se mueve hacia la derecha (en sentido contrario a la fuerza) cada vez más despacio con una aceleración constante de 4 m/s^2

¿Y si actúa más de una fuerza al mismo tiempo?

Posibles respuestas: las fuerzas se suman o se restan.

Comentarios: aclarar que las fuerzas son vectores: la misma dirección y sentido se sumarán, en la misma dirección y sentido opuesto se restarán.

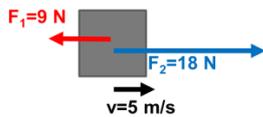


$$\vec{F}_{\text{res}} = F_1 + F_2 = 12\text{N}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m a \Rightarrow a = \frac{\vec{F}_{\text{res}}}{m} = \frac{12}{3} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se mueve hacia la derecha (en el sentido de la fuerza resultante) cada vez más rápido con una aceleración constante de 4 m/s^2

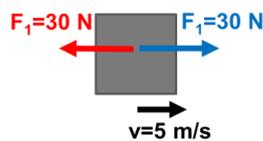


$$\vec{F}_{\text{res}} = F_2 - F_1 = 9\text{N}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m a \Rightarrow a = \frac{\vec{F}_{\text{res}}}{m} = \frac{9}{3} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se mueve hacia la derecha (en el sentido de la fuerza) cada vez más rápido con una aceleración constante de 3 m/s^2



$$\vec{F}_{\text{res}} = F_2 - F_1 = 0\text{N}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = m a \Rightarrow a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Si sobre el cuerpo no actúa ninguna fuerza o la fuerza resultante es 0, entonces no habrá ninguna aceleración y se moverá con MRU (reposo $v=0$ o con $v=\text{cte}$). En este caso como $v=5 \text{ m/s}$ hacia la derecha, sigue moviéndose con 5 m/s hacia la derecha

2º LEY O ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA DINÁMICA: “La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la suma de todas las fuerzas que están actuando (gerundio) sobre él, e inversamente proporcional a la masa del objeto”.

$$\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a}$$

Recapitulamos:

La cinemática analiza el movimiento: espacio, tiempo, velocidad, aceleración...

La dinámica analiza los cambios de movimiento: fuerzas, aceleración.

1º Ningún cuerpo puede empujarse a sí mismo: INTERACCIÓN. $F_{A,B} = -F_{B,A}$ (3ª LEY)

3º Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, sigue con el movimiento que tiene o en reposo: $F=0 \rightarrow a=0 \rightarrow v=\text{cte}$ ($v=0$ ó $v \neq 0$) (1ª LEY)

2º La fuerza resultante sobre un objeto es directamente proporcional a la aceleración y la masa del objeto: $F_{\text{res}} = m a$ (2ª LEY)

TAREA: Un coche de 700 kg de masa acelera de 0 a 100 km/h en 8 s . Calcula la fuerza resultante que está actuando sobre él durante ese arranque. B) Cuando alcanza los 100 km/h se mueve en línea recta con velocidad constante durante 1 minuto.

2 y 3ª SESIÓN:

Recordar las 3 leyes de Newton.

Resumimos:

La dinámica analiza los cambios de movimiento (TEMA 8):

1ª Ley de la Dinámica o Principio de inercia: $F_{res}=0 \leftrightarrow a=0 \leftrightarrow v=cte$

2ª Ley de la Dinámica o Ecuación Fundamental: $F_{res}=m \cdot a$

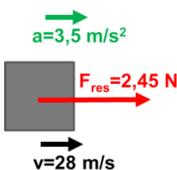
3ª Ley de la Dinámica o Fuerzas de acción-reacción: $F_{A,B}=-F_{B,A}$

Resolver tarea:

A) Un coche de 700 kg de masa acelera de 0 a 100 km/h en 8 s. Calcula la fuerza resultante que está actuando sobre él durante ese arranque. B) Cuando alcanza los 100 km/h se mueve en línea recta con velocidad constante durante 1 minuto. Calcula la fuerza resultante que está actuando sobre él durante ese minuto. C) Después frena bruscamente en 2 s hasta detenerse. Calcula la fuerza resultante que está actuando sobre el coche durante esos 2 s (aceleración uniforme).

Comentarios: comenzar con un análisis cualitativo: hacia dónde va la fuerza, cómo será la aceleración, hacia dónde irá la aceleración, etc.

Antes de fórmulas, análisis cualitativo: como va cada vez más rápido habrá una fuerza a favor del movimiento.



$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\text{m}}{\text{km}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0} = \frac{28 - 0}{0 - 8} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

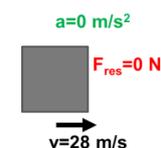
Se mueve hacia la derecha (en el sentido de la fuerza) cada vez más rápido con una aceleración constante de 3,5 m/s²

$$\vec{F}_{res} = m \cdot a = 700 \cdot 3,5 = 245\text{N}$$

Se mueve hacia la derecha (en el sentido de la fuerza) con velocidad constante de 28 m/s

$$v = cte \rightarrow a = 0$$

$$F_{res} = m \cdot a = 0$$

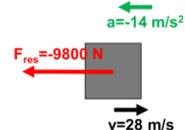


Antes, análisis cualitativo: va frenando, por tanto la F_{res} irá en sentido contrario a la velocidad.

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{0 - 28}{2 - 0} = \frac{-28}{2} = -14 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{F}_{res} = m \cdot a = 700 \cdot (-14) = -9800\text{N}$$

Se mueve hacia la derecha cada vez más despacio con una aceleración constante de -14 m/s² (el signo menos indica que va en sentido opuesto a la velocidad)



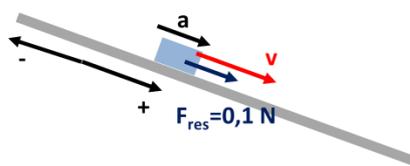
Vamos a seguir viendo ejercicios en los que están actuando fuerzas:

A1. Un objeto de 3 kg de masa se mueve en línea recta y con rapidez constante de 4 m/s por una superficie horizontal. Dibuja y calcula la fuerza resultante que está actuando sobre el objeto y la aceleración.



$$v = \text{cte} \Rightarrow a = 0 \Rightarrow F_{\text{res}} = 0 \text{ N}$$

A2. Un objeto de 200 g de masa desciende por un plano inclinado, en línea recta. Parte del reposo y aumenta uniformemente su rapidez hasta alcanzar 2 m/s en 4 s. Dibuja y calcula la fuerza resultante que está actuando sobre el objeto durante esos 4 s.

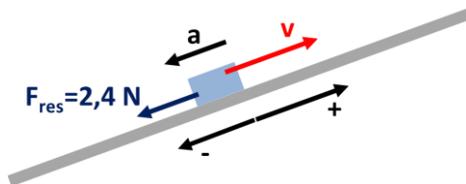


$$v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_f = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}; t = 4 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{2 - 0}{4} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{res}} = m \cdot a = 0,2 \text{ kg} \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow F_{\text{res}} = 0,1 \text{ N}$$

A3. Un objeto de 600 g de masa asciende por un plano inclinado, en línea recta. Inicialmente tenía una rapidez de 72 km/h y frena uniformemente hasta detenerse en 5 s. Dibuja y calcula la fuerza resultante que está actuando sobre el objeto durante esos 5 s.



$$v_0 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_f = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}; t = 5 \text{ s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{0 - 20}{5} = -4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ (a sentido opuesto a } v)$$

$$F_{\text{res}} = m \cdot a = 0,6 \text{ kg} \cdot (-4) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow F_{\text{res}} = -2,4 \text{ N}$$

Comentarios: El sentido de la velocidad viene dado por el enunciado (“asciende”). Al calcular la aceleración vemos que sale negativa: eso indica que la aceleración va en sentido contrario a la velocidad, lo que ocurre siempre que vaya frenando. Por eso, la fuerza resultante sale también negativa. Cuando dibujamos los vectores ya estamos especificando el sentido, por eso sólo ponemos el módulo.

4ª idea: analizar distintas situaciones estáticas y dinámicas para deducir la existencia de diferentes fuerzas particulares: peso (P), tensión (T) y normal (N)

A4. ¿Qué ocurrirá si dejamos caer dos bolas de distinta masa (2 y 3 kg) desde la misma altura? ¿Tardarán lo mismo en llegar o no?

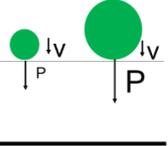
Posibles respuestas: la más pesada cae antes, caen a la vez, la menos pesada cae antes.

Comentarios: lo comprobamos tirando dos bolas de distinto tamaño (aproximadamente una el doble que la otra) y vemos qué pasa.

Conclusiones: ambas caen a la vez.

Introducción: ¿podemos explicar este resultado a partir de las leyes de Newton? A eso dedicaremos la siguiente actividad.

Ahora tenemos dos pelotas, de 2 y 3 kg, que se dejan caer desde 3m de altura. a) Dibujad la fuerza que actúa una; b) calculad la fuerza; c) calcula la aceleración. Recordad: la tierra atrae a cada objeto con una fuerza de 10N por kg.



a) Sólo actúa la fuerza peso: $F_{res}=P$

$$P_{2kg}=m \cdot g=2kg \cdot 10 \frac{N}{kg}=20N$$

$$F_{res,2kg}=m \cdot a \Rightarrow a=\frac{F_{res}}{m}=\frac{20N}{2kg}=10 \frac{m}{s^2}$$

$$P_{3kg}=m \cdot g=3kg \cdot 10 \frac{N}{kg}=30N$$

$$F_{res,3kg}=m \cdot a \Rightarrow a=\frac{F_{res}}{m}=\frac{30N}{3kg}=10 \frac{m}{s^2}$$

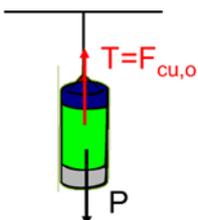
Comentarios: la fuerza resultante depende de la masa; sin embargo, la aceleración o efecto de la fuerza para dos masas distintas será siempre la misma: 10 (9,8) m/s².

Fuerza que la Tierra ejerce sobre el objeto [$P= F_{T,o}$]	
Actúa cuando...	El objeto se encuentra “cerca” (<20km) de la superficie terrestre
Dirección	Vertical (línea que une el centro del objeto con el centro de la Tierra)
Sentido	Hacia abajo (hacia el centro de la Tierra)
Módulo	$M_{objeto} \cdot g_{Tierra}=m \cdot 10 N/kg$ $g_{Tierra}=10 N/kg$ Característico de la Tierra: aceleración de caída libre.

Descripción del movimiento: todo objeto en caída libre se mueve con aceleración constante. Esta aceleración es la misma para todos los objetos: vertical y hacia abajo (hacia el centro de la tierra) de módulo $g=10m/s^2$.

Hasta ahora habíamos analizado situaciones en las que sólo está actuando la fuerza peso. Pero hay otras fuerzas que tienen especial interés y se dan en muchas de las interacciones, como la fuerza de rozamiento.

A6. Un saco de boxeo de 5 kg está colgando de una cuerda atada al techo. ¿Cuánto debe vale la fuerza resultante? Determina y calcula qué fuerzas están actuando sobre el saco.



Comentarios: Si sólo actuara la fuerza peso se caería hacia el suelo. ¿Qué hace que no caiga, es decir, que su aceleración sea cero? Debe haber otra fuerza que anule a la fuerza peso: la fuerza que ejerce una cuerda tensa sobre el objeto: $F_{cu,o}=T$

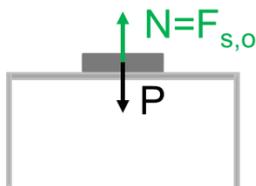
Como está en reposo: $a=0 \Leftrightarrow F_{res}=0$; $F_{res}=P-T=0 \Leftrightarrow P=T=m \cdot g=50N$

Fuerza que ejerce una cuerda tensa sobre un objeto [$T=F_{cu,o}$]	
Actúa cuando...	El objeto se encuentra sujeto al extremo de una cuerda tensa
Dirección	La de la cuerda
Sentido	Hacia el otro extremo de la cuerda
Módulo	Se ajusta para obtener el valor deseado de F resultante (mide lo tensa que la cuerda). Hay un máximo... (hasta que la cuerda se rompe)

TAREA: 1) Un objeto de 2 kg está colgado mediante una cuerda del techo de un vagón que se está moviendo en línea recta con $v=72$ km/h constante. ¿Cuál es el valor de la fuerza resultante? Determina y calcula qué fuerzas están actuando sobre el objeto.

Comentarios: destacar que cuando está en reposo y cuando la velocidad es constante, el análisis dinámico es igual ya que la aceleración es nula ($a=0$).

A8. Un libro 1 kg está sobre una mesa. ¿Cuál es el valor de la fuerza resultante? Determina y calcula qué fuerzas están actuando sobre el libro.



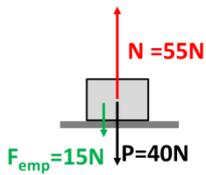
Y en este caso, ¿qué fuerzas actúan? Debe haber otra fuerza que anule a la fuerza peso: la fuerza que ejerce una superficie sobre el objeto:
 $F_{s,o}=N$
 Como está en reposo: $a=0 \Leftrightarrow F_{res}=0$
 $F_{res}=P-F_{s,o}=0 \Leftrightarrow P=F_{s,o}=m \cdot g=20N$

Fuerza que ejerce una superficie sobre un objeto [$N=F_{s,o}$]	
Actúa cuando...	El objeto se encuentra “apoyado” en la superficie
Dirección	Perpendicular a la superficie (por eso se llama también “Normal”)
Sentido	Hacia “afuera” de la superficie
Módulo	Se ajusta para obtener el valor deseado de F resultante (mide lo apretados que están el objeto y la superficie). Hay un máximo... (hasta que la superficie se rompe)

Resumimos:

- **Fuerza peso (P):** fuerza con que la Tierra atrae a todos los objetos, es de 10 N por cada kg
- **Tensión (T):** fuerza que una cuerda tensa sobre un objeto. Se ajusta para obtener el valor deseado de F resultante, hasta un máximo...
- **Fuerza normal ($N=F_{s,o}$):** fuerza que ejerce una superficie sobre un objeto. Se ajusta para obtener el valor deseado de F resultante, hasta un máximo...

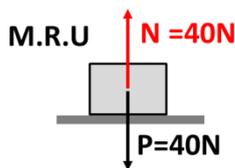
A8. Un objeto de 4 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal. Determina el valor de N si el objeto está en reposo y lo empuja hacia abajo con una fuerza de 15 N



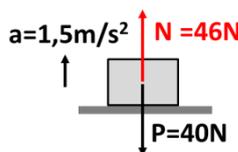
b) Está en reposo: $F_{res} = 0$
 $F_{aplicada} = 15\text{N}$ (hacia abajo)
 $F_{res} = P + F_{aplicada} - N \Rightarrow N = P + F_{aplicada} \Rightarrow N = 55\text{N}$

TAREA: 2) Un objeto de 3 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal. Determina primero el valor de la F_{res} y la N cuando el objeto está en reposo y lo empuja hacia arriba con una fuerza de 18 N.

A9. Un objeto de 4 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. Determina en cada caso primero el valor de la fuerza resultante y después el valor de N ($F_{s,0}$): a) cuando el ascensor y el objeto que está en su interior están en reposo; b) cuando se mueven con aceleración vertical hacia arriba de 1,5 m/s².



$v = \text{cte} \Rightarrow a = 0 \Rightarrow \text{M.R.U}$
 $P = m_o \cdot g_{tierra} = 40\text{N}$
 $F_{res} = P - N = 0 \Rightarrow P = N = 40\text{N}$



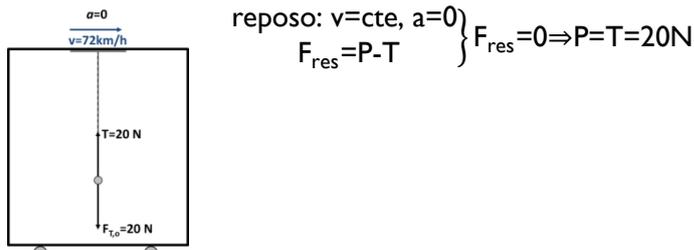
$a = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow F_{res} = m \cdot a = 6\text{N}$
 Como se mueve hacia arriba, fuerza resultante hacia arriba
 $F_{res} = N - P \Rightarrow N = F_{res} + P = 6\text{N} + 40\text{N} \Rightarrow N = 46\text{N}$

TAREA: 3) Un objeto de 5 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. Determina el valor de la F_{res} y la N cuando se mueven con aceleración vertical hacia abajo de 2 m/s². 4) Un objeto de 5 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. ¿Y si la aceleración fuera vertical y hacia debajo de 10 m/s² porque se ha cortado el cable? Determina el valor de la F_{res} y la N.

4ª SESIÓN

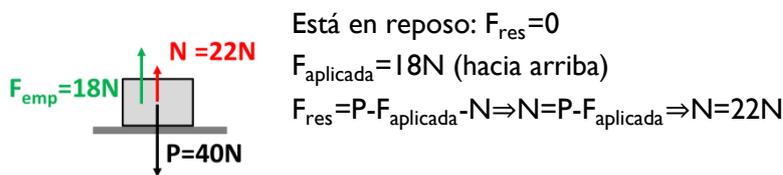
Recordar P y N y corregir tarea

TAREA: 1) Un objeto de 2 kg está colgado mediante una cuerda del techo de un vagón que se está moviendo en línea recta con $v = 72 \text{ km/h}$ constante. ¿Cuál es el valor de la fuerza resultante? Determina y calcula qué fuerzas están actuando sobre el objeto

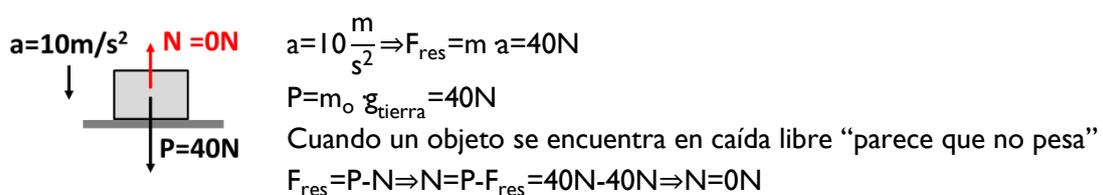
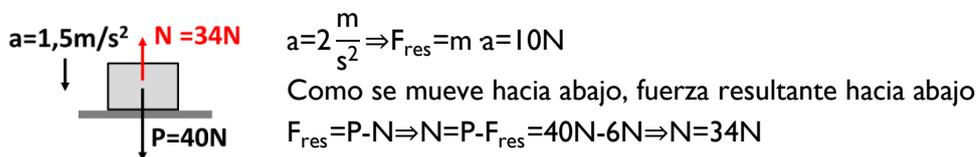


Comentarios: destacar que cuando está en reposo y cuando la velocidad es constante, el análisis dinámico es igual ya que la aceleración es nula ($a=0$).

TAREA: 2) Un objeto de 3 kg de masa se encuentra en reposo sobre una superficie horizontal. Determina primero el valor de la F_{res} y la N cuando el objeto está en reposo y lo empuja hacia arriba con una fuerza de 18 N

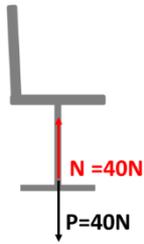


TAREA: 3) Un objeto de 5 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. Determina el valor de la F_{res} y la N cuando se mueven con aceleración vertical hacia abajo de 2 m/s². 4) Un objeto de 5 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. ¿Y si la aceleración fuera vertical y hacia debajo de 10 m/s² porque se ha cortado el cable? Determina el valor de la F_{res} y la N .



5ª idea: analizar distintas situaciones estáticas y dinámicas para estudiar algunas fuerzas particulares: fuerza rozamiento por deslizamiento (F_{roz})

A1. Tenemos una silla vacía en reposo que pesa 4 kg. ¿Qué fuerzas actúan sobre ella? ¿Por qué no se mueve hacia arriba ni hacia abajo?



Análisis cinemático: La silla está en reposo: la velocidad no cambia (en este caso: $v=0$, constante). Entonces: $a=0$.

Ecuación fundamental de la dinámica o segunda ley de Newton: $F_{res}=m \cdot a=0$

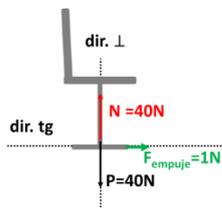
Análisis dinámico: sobre la silla actúan la fuerza peso y la normal. Para que la resultante se anule, deben contrarrestarse: $F_{res}=P-N=0$

Ahora, a la silla vacía, se le empuja hacia la derecha con una fuerza horizontal de 1N pero sigue sin moverse. Dibuja y calcula cada una de las fuerzas que están actuando sobre la silla.

Posibles respuestas: se necesita más fuerza, la fuerza tiene que ser mayor que el peso...

Comentarios: el P y la N se contrarrestan, pero hay una fuerza hacia la derecha que debería hacer que se moviera hacia la derecha cada vez más rápido.

Conclusión: debe existir otra fuerza hacia la izquierda de 1N que contrarreste el empuje, es decir, opuesto al movimiento.



Análisis cinemático: La silla está en reposo, no se mueve, por tanto, la velocidad no cambia: la aceleración es cero.

Ecuación fundamental o segunda ley de Newton: $F_{res}=0$

Análisis dinámico: sobre la silla actúan (parece) tres fuerzas: fuerza peso, la normal y la fuerza con la que empujamos (ver dibujo). ¿Cómo es posible que la suma sea cero?

En la dirección perpendicular al suelo actúan P y N, que deben contrarrestarse (el objeto no se levanta ni se hunde en el suelo): $F_{res,\perp}=P-N=0 \Rightarrow P=N$

En la dirección del posible movimiento (que llamaremos tangencial), parece que existe una sola fuerza, por tanto: $F_{res,tg}=F_{emp}>0$

Sin embargo, sabemos que al no haber aceleración la F_{res} siempre tiene que ser cero, ¿Dónde está el error en nuestro razonamiento?, ¿por qué la silla no se mueve a pesar de que la estamos empujando?

FUERZA DE ROZAMIENTO.

$$F_{res,\perp}=P-N=0 \Rightarrow P=N=40N$$

$$F_{res,tg}=F_{emp}-F_{roz}=0 \Rightarrow F_{emp}=F_{roz}=1N$$

Ahora a la silla vacía, se le empuja con una fuerza horizontal de 2N, 3N... y sigue sin moverse. ¿Por qué no se mueve? ¿Qué vale la fuerza de rozamiento si empuja con 2N y con 3N?

Comentarios: la F_{roz} va aumentando, impidiendo que la silla se mueva, hasta que llega a un valor máximo; si se empuja con una fuerza mayor a $F_{roz,max}$ entonces la silla empieza a moverse (tiene aceleración) y después se baja un poco para que se mueva con velocidad constante: fuerza igual a

$F_{roz,max}$. Si echamos aceite en el suelo, la $F_{roz,max}$ disminuye; empujando con una fuerza menor de 4 N ya se movería.

Cuando se empuja con una fuerza de 4N se mueve con velocidad constante.

Comentarios: 4N sería la $F_{roz,max}$. Si echamos aceite en el suelo, la $F_{roz,max}$ disminuye, empujando con una fuerza menor de 4 N ya se movería.

Ahora en la silla hay un estudiante de 50 kg sentado. ¿Cómo sería el valor máximo de la fuerza de rozamiento, menor o mayor?



Posibles respuestas: será mayor.

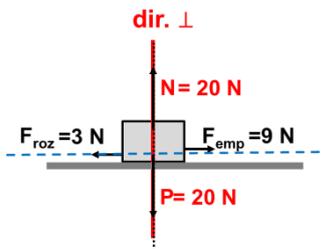
Comentarios: dibujo amplificado del movimiento del objeto de arriba deslizando hacia la derecha sobre la superficie de abajo. La fuerza de rozamiento por deslizamiento que ejerce la superficie sobre el objeto es el resultado macroscópico de muchas fuerzas a nivel microscópico. Es parecido al efecto que produce sobre nosotros un suelo de chicle cuando pisamos.

¿De qué depende el valor máximo de la fuerza de rozamiento? $(F_{roz,o})_{máx}$

- Del tipo de superficie del material: pulida, rugosa...:
Coefficiente de rozamiento: μ
- De lo apretados que esté el objeto y la superficie:
Fuerza perpendicular entre la superficie y el objeto: $F_{s,o}$
- ¿Del área de la superficie de contacto?: **NO**
 $(F_{roz})_{máx} = \mu \cdot (F_{s,o}) = \mu \cdot N$

Fuerza de rozamiento por deslizamiento que la superficie ejerce sobre el objeto [$F_{roz}=F_{roz,s,o}$]	
Actúa cuando...	Cuando se intenta mover o se mueve el objeto, deslizando por una superficie
Dirección	La del movimiento del objeto
Sentido	Contrario al movimiento
Módulo	El valor máximo lo alcanza cuando se está moviendo o empieza a moverse: $\mu \cdot N$

A2. Un objeto de 2 kg se encuentra sobre una superficie horizontal cuyo coeficiente de rozamiento es: $\mu=0,15$. Si se empuja con una fuerza horizontal hacia la derecha de módulo 9 N, ¿qué valor tendrá la aceleración? ¿Qué fuerza habría que aplicar para que se moviera con velocidad constante ($a=0$)?



Dirección perpendicular (eje y): $a=0$; $F_{res,\perp}=0 \Rightarrow P=N=20 \text{ N}$

Dirección tangencial (eje x):

$$F_{res,tg} = F_{emp} - F_{roz} = F_{empuje} - \mu N = 9 - 0,15 \cdot 20 \text{ N} \Rightarrow F_{res} = 6 \text{ N}$$

$$F_{res} = m a \Rightarrow a = \frac{F_{res}}{m} \Rightarrow a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

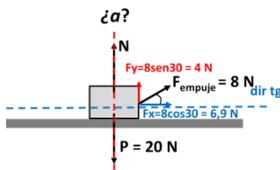
Para $v=cte$: Dirección tangencial (eje x): $a=0 \Rightarrow$

$$F_{res,tg} = F_{emp} - F_{roz} = 0 \Rightarrow F_{roz} = F_{emp} = 6 \text{ N}$$

5ª SESIÓN

Hasta aquí hemos estudiado situaciones en las que las fuerzas tenían la misma dirección que el movimiento (en este caso podían producir aceleración) o dirección perpendicular al movimiento (en este caso se anulaban entre sí). Veamos ahora distintas situaciones en las que aparecen planos inclinados o fuerzas con un cierto ángulo respecto de la horizontal.

A1. Un objeto de 2 kg se encuentra sobre una superficie horizontal sin rozamiento y se le empuja con una fuerza constante de 8 N que forma un ángulo de 30° con la horizontal (hacia arriba). a) Describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración); b) dibuja cada una de las fuerzas que actúan; c) calcula el valor de aquellas que puedas; d) calcula la aceleración.



a) Se moverá, si acaso, hacia la derecha con aceleración constante; la aceleración irá hacia la derecha.

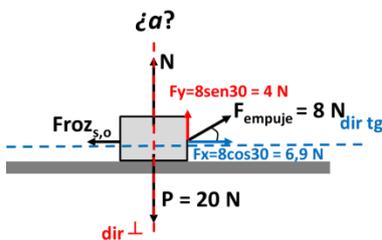
Dir. \perp : no se mueve: $a=0$:

$$\left. \begin{aligned} F_{res,\perp} &= P - N - F_y \\ F_{res,\perp} &= m a = 0 \end{aligned} \right\} P - N - F_y = 0 \Rightarrow N = P - F_y = 20 - 4 = 16 \text{ N}$$

Dir. tg: ¿a?

$$\left. \begin{aligned} F_{res,tg} &= F_x \\ F_{res,tg} &= m a \end{aligned} \right\} m a = F_x \Rightarrow a = \frac{F_x}{m} = \frac{6,9}{2} \Rightarrow a = 3,45 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

A2. Un objeto de 2 kg se encuentra sobre una superficie horizontal cuyo coeficiente de rozamiento es: $\mu=0,15$ y se le empuja con una fuerza constante de 8 N que forma un ángulo de 30° con la horizontal (hacia arriba). a) Describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración); b) dibuja cada una de las fuerzas que actúan; c) calcula el valor de aquellas que puedas; d) calcula la aceleración.



Dir. \perp : no se mueve: $a=0$: F_{res} en esa dirección = 0

$$\left. \begin{aligned} F_{res,\perp} &= P - N - F_y \\ F_{res,\perp} &= m a = 0 \end{aligned} \right\} P - N - F_y = 0 \Rightarrow N = P - F_y = 20 - 4 = 16 \text{ N}$$

Dir. tg: ¿a? F_{res} en esa dirección = $m a$

$$\left. \begin{aligned} F_{res,tg} &= F_x - F_{roz} \\ F_{res,tg} &= m a \end{aligned} \right\} m a = F_x - F_{roz}$$

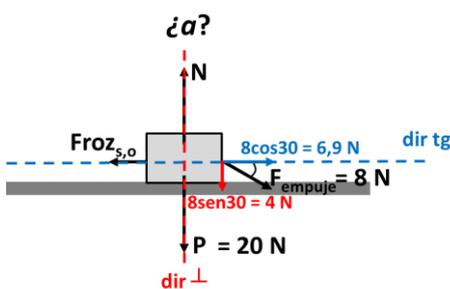
$$a = \frac{F_x - F_{roz}}{m} = \frac{F_x - \mu N}{m} = \frac{6,9 - 0,15 \cdot 16}{2} \Rightarrow a = 2,25 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Comentarios: Se moverá, si acaso, con aceleración constante hacia la derecha. Ahora la fuerza de empuje es: una parte hacia arriba y otra parte hacia la derecha. Por un lado, la aceleración

debería ser menor que antes ya que la parte de esa fuerza que va hacia adelante es menor (la parte que se emplea en tirar “hacia arriba” parece “desperdiciarse” para producir la aceleración. Pero, por otro lado, esa parte que va hacia arriba hará que el objeto y la superficie estén menos apretados y la fuerza de rozamiento disminuirá, y quizás eso haga que la aceleración pueda ser mayor. Veamos cuál es el efecto que finalmente se produce:

Conclusión: es más importante el efecto de disminuir la parte de la fuerza de empuje que va hacia adelante que disminuir la fuerza de rozamiento.

A3. Un objeto de 2 kg se encuentra sobre una superficie horizontal cuyo coeficiente de rozamiento es: $\mu=0,15$ y se le empuja con una fuerza constante de 8 N que forma un ángulo de 30° con la horizontal (hacia abajo): a) describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración); b) dibuja cada una de las fuerzas que actúan; c) calcula el valor de aquellas que puedas; d) calcula la aceleración.



Será MRUA, con aceleración constante hacia la derecha.

Dir. \perp : no se mueve: $a=0$:

$$\left. \begin{aligned} F_{res,\perp} &= P + F_y - N \\ F_{res,\perp} &= m a = 0 \end{aligned} \right\} P + F_y - N = 0 \Rightarrow N = P + F_y = 20 + 4 = 24 \text{ N}$$

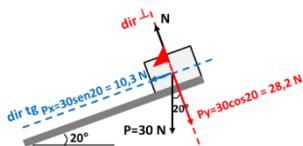
Dir. tg: ¿a?

$$\left. \begin{aligned} F_{res,tg} &= F_x - F_{roz} \\ F_{res,tg} &= m a \end{aligned} \right\} m a = F_x - F_{roz}$$

$$a = \frac{F_x - F_{roz}}{m} = \frac{F_x - \mu N}{2} = \frac{6,9 - 0,15 \cdot 24}{2} \Rightarrow a = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

6ª SESIÓN

A1. Desde la parte superior de un plano inclinado 20° respecto a la horizontal se deja caer un objeto de 2 kg. Suponiendo que no hay rozamiento: a) describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración y la fuerza resultante); b) dibuja cada una de las fuerzas que actúan; c) calcula el valor de aquellas que puedas; d) calcula la aceleración.



Será MRUA, con aceleración constante hacia abajo del plano inclinado.

Dir. y: no se mueve: $a=0$:

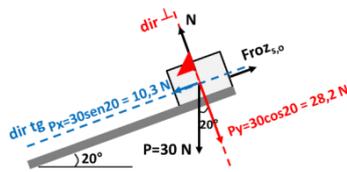
$$\left. \begin{aligned} F_{res,\perp} &= N - P_y \\ F_{res,\perp} &= m a = 0 \end{aligned} \right\} P_y - N = 0 \Rightarrow N = P_y = 28,2 \text{ N}$$

Dir. x: ¿a?

$$\left. \begin{aligned} F_{res,tg} &= P_x \\ F_{res,tg} &= m a \end{aligned} \right\} m a = P_x \Rightarrow a = \frac{P_x}{m} = \frac{10,3}{2} \Rightarrow a = 5,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

A2. Repite el ejercicio anterior para el caso en que haya rozamiento con la superficie cuyo coeficiente es 0,1: a) describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración y la F res); b) dibuja cada una de las fuerzas que actúan; c) calcula el valor de aquellas que puedas; d) calcula la aceleración.

Comentarios: ahora habrá Froz en sentido opuesto al movimiento, lo que hará disminuir la aceleración (¡e incluso podría llegar a anularla y que ni siquiera llegase a moverse!)



Será MRUA, con aceleración constante hacia abajo del plano inclinado.

Dir.y: no se mueve: $a=0$:

$$\left. \begin{array}{l} F_{res,\perp} = N - P_y \\ F_{res,\perp} = m a = 0 \end{array} \right\} P_y - N = 0 \Rightarrow N = P_y = 28,2 \text{ N}$$

Dir.x: ¿a?

$$\left. \begin{array}{l} F_{res,tg} = P_x - F_{roz} \\ F_{res,tg} = m a \end{array} \right\} m a = P_x - F_{roz}$$

$$a = \frac{P_x - F_{roz}}{m} = \frac{P_x - \mu N}{2} = \frac{10,3 - 0,1 \cdot 28,2}{2} \Rightarrow a = 3,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

5.3. Examen de evaluación

Con el objetivo de determinar si los estudiantes han adquirido las ideas fundamentales de dinámica (**Tabla 3**), tras mi intervención realicé una prueba escrita para evaluarlos. En ella, se piden análisis no sólo cuantitativos (cálculos numéricos) de diferentes situaciones donde actúan fuerzas, sino también cualitativos: dibuja la fuerza resultante, describe cómo será el movimiento, hacia dónde y cómo se moverá el cuerpo... En el **Anexo I** se adjunta el examen realizado por los estudiantes a los que estuvo dirigida la propuesta didáctica.

6. Resultados: implementación y evaluación de la secuencia

A continuación se exponen los resultados obtenidos sobre la implementación y evaluación de la secuencia, incluyendo el análisis del contexto, una reflexión sobre la experiencia en el centro, el análisis de los resultados así como una propuesta de mejora de la secuencia.

6.1. Contexto

Una vez que decidí qué quería que supieran mis alumnos y alumnas, realicé un análisis del contexto. La intervención intensiva se llevó a cabo en dos grupos de 4º de ESO, uno con 10 estudiantes (4ºB) y otro con 33 (4ºD). 4ºD recibe clase en el laboratorio de Física y Química, mientras que el otro alterna el aula diaria (2h a la semana) y una hora en el laboratorio.

El tiempo del que disponía para llevar a cabo a secuencia fue de 6 sesiones con cada clase, más una sesión para la evaluación. Finalmente, solicité una hora adicional previa a la evaluación en la que los estudiantes pudieran preguntar sobre aquello que no les había quedado claro, resolver dudas y realizar un repaso general y un resumen del contenido.

Los recursos de los que disponía eran la pizarra digital, sólo en el caso del aula ordinaria, y la pizarra convencional en el laboratorio. Esto supuso que con 4ºB, el de 10 estudiantes, sólo pudiera emplear la pizarra convencional por no disponer de otra aula.

6.2. Reflexión sobre mi experiencia en el centro

La propuesta de enseñanza que aquí se presenta se enmarca, como bien se ha mencionado, dentro de una MBI. Es importante resaltar que los estudiantes con los que se ha implementado la propuesta están acostumbrados a trabajar con una metodología convencional, sin utilizar otro recurso que el libro de texto. Resumiendo: leen, copian, hacen los ejercicios del libro y, ocasionalmente, resumen algún tema o apartado, si bien es cierto que terminan copiando los contenidos en **negrita**.

Por ello, he de reconocer que antes de comenzar a impartir clases tenía una gran inseguridad sobre si los estudiantes iban a reaccionar positivamente hacia el cambio de metodología de enseñanza. Ciertamente, durante las primeras sesiones, tanto los estudiantes como yo tuvimos que hacer una toma de contacto y adaptación. Las alumnas y alumnos al principio no sabían cómo coger apuntes, qué debían copiar y qué no; por mi parte, pequé al no detenerme para que pudieran copiar la pizarra. Enseguida me di cuenta y comencé a resaltar los contenidos importantes y a darles tiempo para que tomaran sus apuntes. Realmente no están acostumbrados a seguir una explicación oral y, al mismo tiempo, tomar notas puesto que suelen copiar la teoría del libro o de la pizarra de forma literal.

Sin embargo, tras la implementación, la corrección de exámenes y la valoración de la experiencia, creo que los resultados han sido muy favorables, no solo de forma objetiva sino también personal. Los estudiantes me han transmitido entusiasmo e interés durante las clases y muchos me han reconocido que están cansados del enfoque tradicional y de usar exclusivamente el libro de texto. El simple hecho de

introducir presentaciones en PowerPoint les ha motivado para seguir la clase con mayor interés.

Otro aspecto que creo importante resaltar es la masificación de los grupos. Habiendo vivido la experiencia de impartir clase a un grupo de 10 y 33 estudiantes, resulta imposible no hacer comparaciones. El nivel de atención que recibe cada alumno o alumna en un aula de 10 frente a una de 33 es infinitamente superior, lo que conlleva a que el proceso de enseñanza y aprendizaje sea generalmente más personal y se adapte a las necesidades de cada estudiante. Asimismo, las distracciones y las conversaciones entre el alumnado en una clase reducida es mucho menor, favoreciendo la atención hacia el docente. Otro factor que se ha visto favorecido en el aula con menos alumnos/as ha sido la intervención de los estudiantes durante las clases, la participación, el debate o la profundización en las explicaciones, lo cual favorece un mayor grado de reflexión e interiorización de los contenidos. En la clase de 10 estudiantes he podido realizar preguntas individualmente, hacerles salir a corregir ejercicios y tratar de que razonaran y argumentaran sus ideas de forma más equitativa que en la clase de 33. No obstante, según se describe en el siguiente apartado, no se observan diferencias significativas en cuanto a los resultados académicos de un grupo u otro.

Tal y como describen diversos autores (Gunstone & Watts, 1989; Hierrezuelo & Montero, 1991b) es importante potenciar entre el alumnado el análisis cualitativo de diferentes situaciones, en este caso en las que intervienen fuerzas, a fin de que mejore su capacidad de razonar, argumentar, predecir, justificar y formular hipótesis. Es decir, que encuentren un sentido a lo que están haciendo, alejándolos de los habituales cálculos numéricos muchas veces carentes de interpretación.

Para concluir, creo que el empleo de metodologías innovadoras en el aula, como la aquí propuesta, aumenta el grado de atención y motivación por parte del alumnado, al mismo tiempo que se acerca más a un conocimiento real de la ciencia. En mi opinión, el problema radica en que este tipo de metodologías requieren un gran esfuerzo y trabajo por parte del docente, lo que podría explicar la reticencia del profesorado a su introducción.

6.3. Análisis de los resultados: cambio de concepciones alternativas

A fin de evaluar la adquisición de algunas de las ideas fundamentales trabajadas, se ha realizado un análisis estadístico de las respuestas que los estudiantes han contestado en el examen, centrándonos en el análisis de preguntas cualitativas (**Tabla 4**). Para obtener resultados representativos, se han eliminado del análisis aquellas preguntas entregadas en blanco (sin respuesta cualitativa ni cuantitativa). Asimismo, los datos correspondientes a cada clase han sido evaluados por separado.

Tabla 4: Pregunta del examen e idea que se pretende evaluar.

Pregunta	Ideas fundamentales trabajadas
1. A)	La fuerza resultante (F_{res}) y el movimiento (v) van en la misma dirección y sentido
1. B)	La fuerza resultante (F_{res}) es directamente proporcional a la aceleración (a) y no al movimiento (v)
1. C)	La fuerza resultante (F_{res}) y el movimiento (v) van en la misma dirección y sentido opuesto
3. A)	La fuerza resultante (F_{res}) y el movimiento (v) van en la misma dirección y sentido, en este caso vertical hacia arriba
3. B)	La fuerza resultante (F_{res}) es directamente proporcional a la aceleración (a) y no al movimiento (v)
3. C)	La fuerza resultante (F_{res}) y el movimiento (v) van en la misma dirección y sentido, en este caso vertical hacia abajo

El análisis se ha centrado en las preguntas cualitativas en las cuales debían representar gráficamente la fuerza resultante en diferentes situaciones. En el **Anexo I** se adjunta el examen donde se puede consultar el enunciado. En un primer análisis se han diferenciado dos grupos de respuestas: no contestadas y sí contestadas. Con ello se pretende analizar el grado de operativismo que viene representado por aquellos estudiantes que obvian las respuestas cualitativas y se centran en los cálculos numéricos. Las respuestas se han diferenciado en los siguientes grupos:

- En blanco (B): no hay ninguna contestación, ni cualitativa ni cuantitativa. Estos datos se han eliminado del análisis estadístico.
- No contestada (NC): aquellas preguntas con respuestas cuantitativas (cálculo numérico) pero no cualitativas (representación gráfica). Aquí evaluamos el operativismo.

- Sí contestada (SC): aquellas preguntas con respuestas cualitativas, tanto correctas como incorrectas. Éstas son analizadas una segunda vez, distinguiendo entre correctas e incorrectas.

En las **Tablas 5 y 6** se representan las respuestas obtenidas para el primer análisis en ambas clases. En 4ºB se examinaron 10 estudiantes y 31 en el caso de 4ºD. El número de estudiantes que aparece en la tabla representa los que han sido analizados en el estudio, eliminando los que entregaron la pregunta en blanco.

Tabla 5: Resultados del primer análisis en 4ºB. **Tabla 6:** Resultados del primer análisis en 4ºD.

Pregunta examen	Respuestas (%)		Nº estudiantes
	NC	SC	
1. A)	33	67	9
1. B)	0	100	9
1. C)	44	56	9
3. A)	44	56	9
3. B)	0	100	9
3. C)	56	44	9

Pregunta examen	Respuestas (%)		Nº estudiantes
	NC	SC	
1. A)	36	64	28
1. B)	0	100	28
1. C)	46	54	28
3. A)	19	81	26
3. B)	0	100	26
3. C)	15	85	26

De los resultados obtenidos en el primer análisis, no se observan diferencias significativas entre ambos grupos. En general, el grado de operativismo, representado por el porcentaje de respuestas no contestadas, es bajo en casi todas las preguntas, siendo superior en la pregunta 1.C) en ambas clases y 3.C) en el caso de 4ºB. Esto indica que los estudiantes, de forma general, han respondido tanto cualitativa como cuantitativamente.

Por otro lado, en el segundo análisis, se han tomado sólo las respuestas contestadas y se han diferenciado dos grupos de respuestas: correctas e incorrectas. Este análisis sirve como indicador de si se ha adquirido o no la idea fundamental que se pretendía. Las respuestas se han clasificado en:

- Incorrecta (I): representación gráfica incorrecta. Aquí observamos los estudiantes que han contestado en base a las concepciones alternativas.
- Correcta (C): representación gráfica correcta. Aquí observamos los estudiantes que han contestado en base a las ideas fundamentales.

En las **Tablas 7 y 8** se representan las respuestas obtenidas para este segundo análisis en ambas clases.

Tabla 7: Resultados del segundo análisis en 4ºB. **Tabla 8:** Resultados del segundo análisis en 4ºD.

Pregunta examen	Respuestas (%)		Nº estudiantes
	I	C	
1. A)	0	100	6
1. B)	0	100	9
1. C)	20	80	5
3. A)	0	100	5
3. B)	0	100	9
3. C)	25	75	4

Pregunta examen	Respuestas (%)		Nº estudiantes
	I	C	
1. A)	6	94	18
1. B)	7	93	28
1. C)	47	53	15
3. A)	10	90	21
3. B)	15	85	26
3. C)	5	95	22

Tal y como se puede observar, los resultados globales son muy satisfactorios. En 4ºB, casi todos los estudiantes han expresado las ideas fundamentales en lugar de las concepciones alternativas que podrían esperarse. Si bien es cierto que destaca el apartado I.C), donde la F_{res} y el movimiento van en sentidos opuestos, así como el 3.C) donde la F_{res} cambia de sentido respecto a los apartados anteriores, con un menor porcentaje de respuestas correctas y un número inferior de estudiantes que contestaron a la pregunta. Esto puede deberse a que les cueste darse cuenta de que dentro de un mismo enunciado, en apartados diferentes, hay un cambio de situación y, por tanto, el sentido de la F_{res} varía.

Por otro lado, en 4ºD ocurre algo similar con el apartado I.C), donde se encuentra que el número de estudiantes que han representado gráficamente F_{res} es inferior y, al mismo tiempo, aumenta el número de respuestas incorrectas.

6.4. Propuesta de mejora

Sin duda, una de las mayores limitaciones que he encontrado ha sido el tiempo del que disponía para implementar la secuencia. Al tener que adaptarme a la programación del aula, disponía de seis horas (finalmente una más de repaso) para llevar a cabo la implementación. A pesar de haber podido hacerla entera, sería más eficiente si se dedicara más tiempo a algunas actividades, sobre todo a profundizar en los análisis cualitativos.

Otro aspecto que considero que debería mejorarse es alentar el debate entre los estudiantes y entre los estudiantes y el docente. Con ello se conseguiría que expresaran sus ideas, razonando el por qué piensan de esa forma, argumentándolas y justificándolas. Al producirse el debate entre ellos y ellas, se propicia que salgan ideas distintas (alternativas o científicas) y que, mediante el razonamiento, sean capaces de cambiar sus concepciones alternativas. De hecho, está comprobado que en muchas ocasiones la explicación entre iguales es más efectiva que entre docente-estudiante.

También creo que sería interesante, al inicio de cada sesión, entregar a los/as alumnos/as los enunciados de las actividades que se van a seguir en clase a fin de que no pierdan tiempo en copiar enunciados.

Por último, creo que es necesario ahondar más en el análisis cualitativo. Presentar situaciones en las que intervienen las fuerzas, sin números, y tratar de predecir qué ocurrirá: hacia dónde se moverá el cuerpo, cómo será su movimiento y su aceleración, qué ocurriría si aumentamos X fuerza, etc; formular hipótesis, razonar y argumentar.

7. Valoración general y conclusiones

Considero que la experiencia vivida durante las prácticas externas ha sido muy enriquecedora, ya que ha sido mi primer contacto con la situación real en las aulas. Esto me ha servido para ser consciente de la diferencia que existe entre las nuevas metodologías que he conocido a lo largo del Máster frente a las que he vivido durante las prácticas, donde he podido presenciar cómo se siguen empleando metodologías tradicionales. Este enfoque suele limitar el contenido en ciencias a contenidos teóricos que generalmente no son asimilados por el alumnado, puesto que no cobra sentido para ellos y ellas y habitualmente resulta muy abstracto, acompañados de la realización de problemas de forma sistemática. Igualmente, en el aula no se trabaja en la construcción de modelos, en la predicción o en la relación entre el contenido estudiado y el mundo que nos rodea.

Por ello, con el diseño e implementación de esta propuesta didáctica se ha pretendido que los alumnos y alumnas interioricen y sean capaces de desarrollar y utilizar un modelo de fuerzas mediante una propuesta de MBI. Son numerosos los trabajos descritos que apuestan por esta metodología a fin de que el alumnado sea capaz de indagar, investigar, modelar y predecir, siendo conscientes y participes de su

propio aprendizaje. No obstante, a la hora de trasladar esta metodología a las clases no deben obviarse los contenidos científicos en un intento de que el alumnado realice actividades, preguntas o predicciones carentes de relación con la ciencia. Debemos de tratar que en las clases de ciencias se hable y se practique ciencia.

8. Referencias bibliográficas

- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., & Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española Inquiry-based Science Education. A systematic review of Spanish production. *Revista de Educación*, (381), 259-284. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>.
- Artigue, M., Baptist, P., Dillon, J., Wynne, H., & Léna, P. (2010). The Fibonacci Project. Disseminating Inquiry-Based Science and Mathematics Education in Europe. Starting Package. Scientific Background. Recuperado a partir de www.fibonacci-project.eu
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17–29. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1124300>
- Bullejos, J., Carmona, A., Hierrezuelo, J., Molina, E., Montero, A., Mozas, T., ... Valle, Del, V. (s. f.). *Física y Química 4º. Ciencias de la Naturaleza (4ª)*. Elzevir.
- Cañas, A., Viguera, J. Á., Caamaño, A., & de Prada, F. I. (s. f.). *Física y Química 4º ESO*. (R. A. Medina, M. Reyes, D. Omar, & M. Garrido, Eds.). S.m.
- Carrascosa, J. (2005a). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 2(2), 183–208. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i1.06
- Carrascosa, J. (2005b). *Física y Química 4º ESO*. Gráficas E. Corredor.
- Carrascosa, J., Domenech, J. L., Martínez-Torregrosa, J., Osuna, L., & Verdú, R. (2016). *Curso básico de didáctica de las ciencias enseñanza secundaria profesorado de ciencias en formación y en activo*. Valencia.
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En *26 Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 1–28).
- Driver, R. (1986). Psicología congnotiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3–15.
- Gunstone, R., & Watts, M. (1989). Fuera y movimiento. En R. Driver, E. Guesne, & A.
-

- Tiberghien (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (pp. 137–167). Morata.
- Hierrezuelo, J., & Montero, A. (1991a). El concepto de fuerza. En *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de física y química* (pp. 65–85). Vélez-Málaga: Elzevir.
- Hierrezuelo, J., & Montero, A. (1991b). Las leyes de la dinámica. En *La ciencia de los alumnos* (pp. 87–109). Elzevir.
- Keys, C. W., & Kennedy, V. (1999). Understanding Inquiry Science Teaching in Context: A Case Study of an Elementary Teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 10(4), 315–333. <https://doi.org/10.1023/A:1009406511999>
- López-Gay, R. (2018). Proyecto docente e investigador.
- Martínez-Chico, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. Universidad de Almería.
- Martínez-Torregrosa, J., Doménech, J. L., & Verdú, R. (1993). Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las ciencias física y química. *Curriculum*, (6–7), 67–89.
- Mosquera, I., Puig, B., & Blanco, P. (2018). Scientific practices in early childhood education. An approach to the analysis of the curriculum and teacher training plans in Galicia. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(1), 7. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2311>
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. (S. Olson & S. Loucks-Horsley, Eds.). Washington D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *Scientific and Engineering Practices. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (Vol. 12). <https://doi.org/10.17226/13165>
- OCDE. (2006). Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos. Recuperado a partir de <http://www.oecd.org/pisa/39732471.pdf>
- OCDE. (2017). Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el Desarrollo, 231. Recuperado a partir de www.oecd.org/publishing/corrigenda.

-
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(2), 286–299. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Verdú, R., & Martínez-Torregrosa, J. (2004). La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje. Recuperado a partir de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/2782>

Anexo I. Examen

I. A) Una moto de 200 kg de masa (incluido el motorista) que se encuentra en el punto de partida de una larga recta, aumenta su velocidad de 0 a 90 km/h en 10 s. Dibuja únicamente el vector fuerza resultante (si es que la hay) que está actuando sobre él durante esos 10 segundos.



Calcula el módulo de esa fuerza resultante.

B) Cuando alcanza los 90 km/h se mueve con velocidad constante durante 1 minuto. Dibuja la fuerza resultante que está actuando sobre él durante ese minuto.



Calcula el módulo de esa fuerza resultante.

C) Después ve un radar y frena hasta los 54 km/h en 5 s. Dibuja la fuerza resultante que está actuando sobre el coche durante esos 5 s.



Calcula el módulo de esa fuerza resultante.

D) (PARA SACAR NOTA) ¿Con qué aceleración debería haber frenado en esos 5 s para que no lo multara el radar (50 km/h)? ¿Cuál sería entonces el valor de la fuerza resultante?

2. Un objeto de 5 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal. Dibuja cada una de las fuerzas que están actuando y calcula el valor de aquellas que puedas en los siguientes casos:

A) el objeto está en reposo.



B) el objeto está en reposo y lo empuja verticalmente hacia abajo con una fuerza de 20 N.



3. Una persona de 50 kg de masa se encuentra sobre una superficie horizontal dentro de un ascensor. A) El ascensor y la persona que está en su interior está arrancando desde la planta baja hacia arriba a la planta 2 con una aceleración de 2 m/s^2 .

Dibuja la aceleración y la fuerza resultante. Calcula la fuerza resultante.



Dibuja y calcula TODAS las fuerzas que están actuando.



B) Está subiendo de la planta 2 a la planta 5 con una velocidad constante de 3 m/s.

Dibuja la aceleración y la fuerza resultante. Calcula la fuerza resultante.



Dibuja y calcula TODAS las fuerzas que están actuando.



C) El ascensor y la persona que está en su interior está arrancando desde la planta 5 hacia abajo con una aceleración de $2,5 \text{ m/s}^2$.

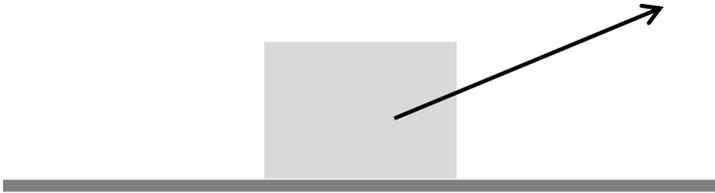
Dibuja la aceleración y la fuerza resultante. Calcula la fuerza resultante.



Dibuja y calcula TODAS las fuerzas que están actuando.



4. Un objeto de 5 kg se encuentra sobre una superficie horizontal cuyo coeficiente de rozamiento es: $\mu=0,1$ y se le empuja con una fuerza constante de 18 N que forma un ángulo de 30° con la horizontal (hacia arriba). A) Dibuja cada una de las fuerzas que están actuando; B) calcula el valor de aquellas que puedas; C) calcula la aceleración.



5. Desde la parte superior de un plano inclinado 30° respecto a la horizontal se deja caer un objeto de 10 kg. Suponiendo que no hay rozamiento: A) describe cómo va a ser el movimiento del objeto (incluido hacia dónde va a ir la aceleración y la fuerza resultante); B) dibuja cada una de las fuerzas que están actuando; C) calcula el valor de aquellas que puedas; D) calcula la aceleración.

