



UNIVERSIDAD DE BURGOS

Programa:
Tecnologías Industriales e Ingeniería Civil

TESIS DOCTORAL

**Análisis de Protocolos en alumnos de
Educación Secundaria Obligatoria :**

**Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura
de Física**

Miguel Ángel Queiruga Dios

Tutor: Dr. Eduardo Montero García

Directora: Dra. María Consuelo Sáiz Manzanares

2016

Dña. María Consuelo Sáiz Manzanares, Profesora Contratada Doctora Fija, acreditada a Profesora Titular de Universidad, del Departamento de Ciencias de la Salud y D. Eduardo Atanasio Montero García, Profesor Catedrático de Escuela Universitaria, acreditado a Catedrático de Universidad, de la Universidad de Burgos.

HACEN CONSTAR: Que la presente Tesis Doctoral titulada: “Análisis de Protocolos en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria: Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura de Física”, ha sido realizada bajo su dirección por el doctorando D. Miguel Ángel Queiruga Dios, en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Burgos, y que cumple los requisitos necesarios de calidad y originalidad para su defensa.

Y para que conste, se expide la presente certificación en Burgos, a 14 de septiembre de 2016.

Fdo.: María Consuelo Sáiz Manzanares

Fdo.: Eduardo Atanasio Montero García

A Iria
A Virginia

“I firmly believe that love is a better teacher than a sense of duty”

Albert Einstein

Agradecimientos

En primer lugar, mi mayor agradecimiento a mi directora de tesis, Dra. María Consuelo Sáiz Manzanares, que me ha brindado toda su ayuda y apoyo. En algún sitio debo manifestar que este proyecto no se hubiera realizado sin ella, y este sitio parece muy adecuado para hacerlo.

Al Dr. Eduardo Atanasio Montero García, por el apoyo a este trabajo de renovación de metodologías docentes en el campo de la física dentro del Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales e Ingeniería Civil.

Al Dr. Nicolás A. Cordero Tejedor, por su consejo, su orientación y su disponibilidad, y por la amistad que hemos mantenido durante muchos años.

A Sor Concha Benito, por creer en mí y ser fuente constante de ánimo e inspiración.

A todos aquellos compañeros que, con sus palabras, me han animado a proseguir este trabajo; en especial a Trini Ruiz López y a Berta Maestro Santamaría, que consiguen transformar las ideas en acciones. A ellas, junto a Juan Manuel Ramos Casado, profesor de IES, y Jesús Garoz Ruiz, doctorando en Química, quiero agradecer las múltiples revisiones de la redacción de los contenidos de física que aparecen reflejados en el Apéndice 1 (Programa de intervención en conocimientos de física para alumnos de 4º de ESO). Además, agradezco a Berta las preciosas ilustraciones que aparecen en dicho Programa, así como algunas de las que se muestran en esta tesis.

A mi familia, porque gran parte del tiempo dedicado a mis proyectos es suyo.

A todos mis alumnos, que me inspiran, motivan y empujan hacia nuevos retos, llevándome a aprender y conocer cosas nuevas cada día, en esta fascinante aventura que es el aprendizaje.

Abstract

Background

Physics is one of the disciplines with lower rates of academic achievement in ESO and Baccalaureate, as well as in the first university courses of engineering degrees. That is why the study of the teaching-learning methodology has been one of the aims of education policies, both in secondary school and college. The analysis of how students approach the construction of the knowledge of physics, both conceptual and procedural, is expected to improve the teaching-learning process, which will ultimately enable to increase the student performance in this discipline. In this regard, recent studies indicate that metacognitive strategies are one of the most significant predictors of success in student learning. Measurement can be done using both on- or off-line methods. The first ones have been proved more effective as they provide teachers information about the students solving problems process in the “here” and “now”. This will allow teachers to adjust curriculum practice to the learning characteristics of students and, predictably, increase success in their learning answers. The methods are based on the analysis of think aloud protocols in the process of problem solving.

Method

We worked with a sample of 10 students of 4th of ESO (6 men and 4 women). The objectives were a) to determine whether the self-regulatory training in physics problem solving in secondary school students increases the perception of knowledge about physics contents; b) to analyze whether there is a relationship between the quality of metacognitive responses (Orientation, Planning, Evaluation and Elaboration) that students use in solving physics problems, and the perception that these students have of the use of their metacognitive and motivation strategies, and their prior knowledge. The tools used were the Learning Strategies Scale (ACRA), the rubrics for selfassessment of knowledge in physics scale (EAECFR), and the protocol for the analysis of the quality of metacognitive strategies by Van der Stel and Veenman (2014) translated (Saiz, 2014). Measurement was performed

before and after taking part in a physics teaching program based on a self-regulatory approach.

Results

Regarding the first objective, the research results indicate that there are significant differences in the perception students have about their knowledge of physics concepts before-after self-regulatory intervention in problem solving. On the other hand, they have found significant differences in the quality of the used metacognitive responses depending on the working unit, so that as it increases the complexity of physics contents, a difference occurs when applying more complex metacognitive responses, such as the Elaboration and Evaluation ones, but not in the simplest ones, Orientation and Planning. It has also been found a relationship between self-assessment metacognitive strategies with Orientation and Planning; but there is no relationship between the quality of metacognitive responses measured with on-line methods, metacognitive strategies measured with off-line methods and students' prior knowledge of physics contents.

Conclusions

The quality of metacognitive strategies employed in the construction of learning the various physical concepts seems to depend on the complexity of learning the different contents (conceptual and procedural). In addition, the quality of metacognitive responses seems to be subjected to the perception learners have of their self-knowledge and planning metacognitive skills. On the other hand, there appears to be no relationship between metacognitive responses measured with on-line and off-line methods, supporting the research results of Veenman et al.

Keywords: metacognitive strategies, on-line methods, off-line methods, thinking aloud protocols, learning physics.

Resumen

Antecedentes

La física es una de las disciplinas con menor tasa de rendimiento académico en la ESO y en el Bachillerato, así como en los primeros cursos universitarios en las titulaciones de la rama de la ingeniería. Es por lo que el estudio de la metodología de enseñanza-aprendizaje ha sido y es uno de los objetivos de las políticas educativas tanto en Educación Secundaria como en la Universidad. El análisis de cómo los estudiantes se acercan a la construcción de los conocimientos de física, tanto conceptuales como procedimentales, previsiblemente mejorará el proceso de enseñanza-aprendizaje de los mismos, lo que en último término posibilitará un incremento del rendimiento académico en esta disciplina. En esta línea, estudios recientes señalan que las estrategias metacognitivas son uno de los predictores más significativos del éxito en el aprendizaje de los estudiantes. La medición de las mismas puede realizarse desde la utilización de los métodos *on-line* o los métodos *off-line*. Los primeros se han mostrado más efectivos ya que facilitan al docente información sobre el proceso de resolución de problemas de los alumnos en el “aquí” y en el “ahora”. Lo que va a permitir al docente ajustar la práctica curricular a las características de aprendizaje de los alumnos y previsiblemente incrementar el éxito en las respuestas de aprendizaje de los mismos. Los métodos *on-line* se fundamentan en el análisis de protocolos de pensar en voz alta en los procesos de resolución de problemas.

Método

Se trabajó con una muestra de 10 alumnos de 4º de ESO (6 hombres y 4 mujeres). Los objetivos fueron a) determinar si el entrenamiento autoregulatorio en resolución de problemas de física produce en los alumnos de Educación Secundaria un incremento en la percepción del conocimiento sobre contenidos de física; y b) analizar si existe una relación entre la calidad de las respuestas metacognitivas (Orientación, Planificación, Evaluación y Elaboración) que los estudiantes emplean en la resolución de problemas de física, la percepción que dichos estudiantes tienen

del uso de sus estrategias metacognitivas, de motivación, y sus conocimientos previos. Los instrumentos utilizados fueron la Escala de Estrategias de Aprendizaje (ACRA), la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) y el protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas de Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014). Se realizó una medición antes y después de la intervención en un programa de enseñanza de la física basado en una metodología auto-regulatoria.

Resultados

Con respecto al primer objetivo, los resultados de la investigación indican que existen diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento de conceptos de física antes-después de la intervención auto-regulatoria en resolución de problemas. Por otro lado, se han hallado diferencias significativas en la calidad de las respuestas metacognitivas empleadas en función de la unidad de trabajo, de forma que, a medida que aumenta la complejidad de los contenidos de física se produce una diferencia en la aplicación de respuestas metacognitivas más complejas como son las de Evaluación y Elaboración, pero no en las más sencillas, Orientación y Planificación. Asimismo, se ha encontrado relación entre las estrategias metacognitivas de Auto-evaluación con las de Orientación y Planificación; pero no se ha hallado relación entre la calidad de las respuestas metacognitivas, medidas con métodos *on-line*, las estrategias metacognitivas medidas con métodos *off-line* y los conocimientos previos sobre contenidos de física de los alumnos.

Conclusiones

La calidad de las estrategias metacognitivas empleadas en la construcción del aprendizaje de los distintos conceptos físicos parece depender de la complejidad del aprendizaje de los distintos contenidos (conceptuales y procedimentales). Asimismo, la calidad de las respuestas metacognitivas parece estar condicionada a la percepción que los aprendices tienen de sus habilidades metacognitivas de auto-conocimiento y de planificación. De otro lado, parece no existir una relación entre las respuestas

metacognitivas medidas con métodos *on-line* y *off-line*, lo que apoya los resultados de las investigaciones de Veenman y colaboradores.

Palabras clave: estrategias metacognitivas, métodos , métodos *off-line*, protocolos de pensar en voz alta, aprendizaje de la física.

ÍNDICE

PRIMERA PARTE: MARCO TEÓRICO

| | |
|---|------------|
| Capítulo 1. Introducción y justificación de la investigación | 9 |
| Capítulo 2. Aprendizaje | 23 |
| 2.1. Definición de aprendizaje | 23 |
| 2.2. Teorías del aprendizaje | 25 |
| 2.2.1. Teoría de Jean Piaget | 25 |
| 2.2.2. Constructivismo | 27 |
| 2.2.3. Teoría de Lev Semiónovic Vygotsky | 30 |
| 2.2.4. Teoría de Jerome Bruner | 32 |
| 2.2.5. Teoría de David Ausubel | 33 |
| 2.2.6. Aprendizaje por descubrimiento | 34 |
| Capítulo 3. Estrategias de aprendizaje (estrategias cognitivas) | 39 |
| 3.1. Las estrategias de aprendizaje y la inteligencia | 41 |
| 3.2. Clasificación de las estrategias de aprendizaje | 43 |
| Capítulo 4. Autorregulación y metacognición | 49 |
| Capítulo 5. Revisión de algunas metodologías docentes de enseñanza-aprendizaje en ciencias | 65 |
| 5.1. Enseñanza de las ciencias basada en la resolución de problemas | 65 |
| 5.2. Proceso de investigación dirigida | 71 |
| 5.3. Aprendizaje basado en la indagación | 73 |
| Capítulo 6. Evaluación del aprendizaje | 81 |
| 6.1. Observación directa | 82 |
| 6.2. Pruebas escritas | 83 |
| 6.3. Pruebas orales | 84 |
| 6.4. Calificación de terceros. Evaluación de pares o iguales | 84 |
| 6.5. Auto-informes (autoevaluaciones) | 85 |
| 6.5.1. Cuestionarios | 85 |
| 6.5.2. Entrevistas | 86 |
| 6.5.3. Recapitulación dirigida | 86 |
| 6.5.4. Reflexión en voz alta | 86 |
| 6.5.5. Diálogo | 87 |
| 6.6. Rúbricas | 87 |
| 6.7. Evaluación del uso de estrategias | 97 |
| 6.8. Análisis de protocolos | 100 |
| Capítulo 7. Contextos de enseñanza-aprendizaje | 105 |
| <i>SEGUNDA PARTE: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</i> | |
| Capítulo 8. Problemas, hipótesis y definición de variables | 115 |

| | |
|--|------------|
| 8.1. Problemas..... | 115 |
| 8.2. Hipótesis..... | 116 |
| 8.3. Definición de variables | 118 |
| 8.3.1. Para la comprobación de la H_1 | 118 |
| 8.3.2. Para la comprobación de la H_2 | 118 |
| 8.3.3. Para la comprobación de la H_3 | 119 |
| 8.3.4. Para la comprobación de la H_4 | 119 |
| Capítulo 9. Método | 123 |
| 9.1. Participantes..... | 123 |
| 9.2. Instrumentos..... | 124 |
| 9.3. Procedimiento..... | 125 |
| 9.4. Diseños..... | 129 |
| 9.5. Análisis estadísticos | 131 |
| 9.5.1. Validación de la H_1 y las sub-hipótesis (H_{11} a H_{110}) | 131 |
| 9.5.2. Validación de la H_2 | 132 |
| 9.5.3. Validación de la H_3 | 133 |
| 9.5.4. Validación de la H_4 | 134 |
| 9.5.5. Confirmación de los resultados hallados en la comprobación de las hipótesis | 134 |
| TERCERA PARTE: RESULTADOS | |
| Capítulo 10. Análisis de los resultados | 141 |
| 10.1. Resultados para la comprobación de la primera hipótesis | 141 |
| 10.1.1. Análisis de la normalidad de la muestra | 141 |
| 10.1.1.1. Indicadores de Asimetría y de Curtosis | 141 |
| 10.1.1.2. Análisis del histograma de frecuencias y curva normal | 142 |
| 10.1.2. Análisis de la Fiabilidad y Validez de la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) | 156 |
| 10.1.2.1. Fiabilidad | 156 |
| 10.1.2.2. Validez | 165 |
| 10.1.3. Análisis de datos antes-después de la intervención en cada una de las unidades del programa de instrucción | 167 |
| 10.2. Resultados para la comprobación de la segunda hipótesis | 177 |
| 10.2.1. Análisis de la normalidad los protocolos de pensar en voz alta | 177 |
| 10.2.1.1. Indicadores de Asimetría y de Curtosis | 177 |
| 10.2.1.2. Análisis del histograma de frecuencias y curva normal | 179 |
| 10.2.2. Análisis de la fiabilidad del instrumento de evaluación de la calidad de las estrategias metacognitivas | 187 |
| 10.2.3. Análisis de las diferencias en la calidad de las respuestas metacognitivas en el análisis de protocolos en las distintas unidades de trabajo en conocimientos sobre física | 187 |
| 10.3. Resultados para la comprobación de la tercera hipótesis | 195 |

| | |
|---|------------|
| 10.3.1. Análisis de la relación entre los resultados en el empleo de estrategias metacognitivas medidos por métodos <i>on-line</i> versus métodos <i>off-line</i> | 195 |
| 10.4. Resultados para la comprobación de la cuarta hipótesis | 197 |
| 10.4.1. Análisis de la normalidad y de la linealidad en el análisis de los protocolos de pensar en voz alta | 197 |
| 10.5. Análisis factorial confirmatorio de los resultados | 250 |
| 10.6 Análisis cualitativo de las respuestas de los sujetos | 253 |
| CUARTA PARTE: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | |
| Capítulo 11. Discusión y conclusiones | 261 |
| 11.1. Comparación de los resultados con las hipótesis | 261 |
| 11.2. Discusión del proceso y de los resultados | 267 |
| 11.2.1. Limitaciones y problemas encontrados en el desarrollo de la investigación | 267 |
| 11.2.2. Respecto de los instrumentos de medida de las Variables dependientes | 268 |
| 11.2.3. Respecto de la muestra | 269 |
| 11.2.4. Respecto del entrenamiento | 269 |
| 11.2.5. Respecto de los análisis estadísticos | 270 |
| 11.3. Sugerencias para el perfeccionamiento de futuros trabajos de investigación | 270 |
| 11.4. Análisis comparativo de los conocimientos disponibles sobre el tema | 271 |
| Capítulo 12. Conclusiones relevantes | 275 |
| 12.1. Referidas a otras propuestas de trabajo | 275 |
| 12.2. Propuestas para investigaciones semejantes | 275 |
| 12.3. Conclusiones para el trabajo de los profesionales de la enseñanza | 276 |
| 12.4. Aportaciones de este trabajo | 279 |
| 12.4.1. Respecto a materiales | 279 |
| 12.4.2. Respecto a la intervención | 279 |
| Bibliografía | 282 |
| Índice de tablas | 299 |
| Índice de figuras | 302 |
| Abreviaturas | 306 |
| Apéndices | 309 |
| Apéndice 1. Programa de intervención en conocimientos de física para alumnos de 4º de ESO | 309 |
| Apéndice 2. Protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas | 456 |
| Apéndice 3. Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) | 539 |

PRIMERA PARTE
MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1
INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN
DE LA INVESTIGACIÓN

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Tradicionalmente se han detectado dificultades en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física. La física es una de las disciplinas en las que los alumnos encuentran más dificultades en la comprensión de conceptos y en la resolución de problemas (Sáiz & Bol, 2015). Para Pozo y Crespo (1998), las dificultades que encuentran los alumnos están referidas a la forma en la que entienden los fenómenos científicos, concepciones que son muy persistentes y apenas se modifican tras la instrucción. Estas dificultades se asocian a la estructura lógica de los contenidos conceptuales, el nivel de exigencia formal de los contenidos y la influencia de los conocimientos previos, concepciones alternativas y preconcepciones del alumno (Campanario & Moya, 1999; Sáiz & Pérez, 2016), además de las dificultades en el uso de estrategias de razonamiento y solución propios del trabajo científico (Pozo & Crespo, 1998). Según estos autores, la educación científica debería promover ciertas actitudes en los alumnos, adaptando los currículos de ciencias a las demandas formativas de estos, adoptando, además de nuevos métodos, nuevas metas y una nueva cultura educativa.

En las últimas pruebas PISA (*Programme for International Student Assessment*) (2012), además de las competencias tradicionales (matemáticas, lectura y ciencias) se incluyó una evaluación de la capacidad de los estudiantes para resolver problemas. Esta evaluación se realizó mediante un ordenador que permite registrar datos sobre aspectos relativos a las acciones llevadas a cabo por los alumnos cuando contestan preguntas (tipo, frecuencia, duración y orden). Esta competencia mide la capacidad del individuo para comprender y resolver situaciones en las que la solución no resulta obvia de forma inmediata, la disposición del alumno para alcanzar el propio potencial como ciudadano constructivo y reflexivo, la capacidad para explorar y comprender un problema, además de representarlo y formularlo, y la capacidad para planificar, ejecutar, controlar y reflexionar para dar con la solución al problema planteado.

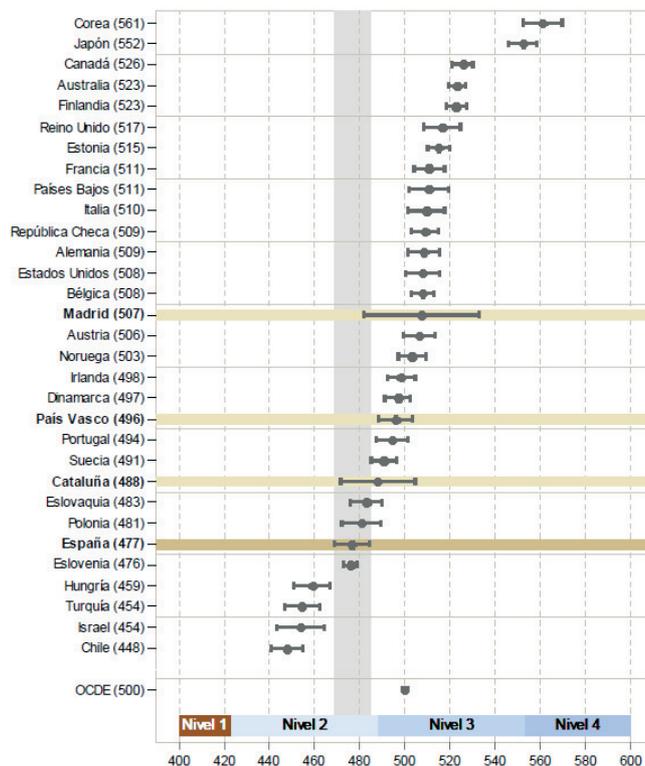


Figura 1. Resultados OCDE en resolución de problemas (Instituto Nacional de Evaluación Educativa, 2014, p. 1).

En la Figura 1, observamos que las puntuaciones medias obtenidas por los alumnos españoles se sitúan por debajo de la media de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), como consecuencia de que hay un gran porcentaje de alumnos (28%) que se sitúa en los niveles más bajos de competencia (Instituto Nacional de Evaluación Educativa, 2014, p. 2).

El principal reto de PISA es medir y documentar los resultados de la educación que se han alcanzado hasta los 15 años, partiendo de la premisa de que educar a una persona significa fomentar su desarrollo individual como individuo único, con autodeterminación y conocimientos que le capaciten para participar en la sociedad. Aunque la evaluación PISA no puede capturar los procesos de desarrollo, sirve como una instantánea del desarrollo alcanzado a esa edad. El éxito en la escuela y

en la vida depende de estar comprometido, compartir valores y creencias, respetar y comprender a los demás, estar motivados para aprender y colaborar y ser capaces de regular la conducta del propio aprendizaje. Estos constructos pueden ser percibidos como prerrequisitos de aprendizaje cognitivo, pero también pueden ellos mismos ser juzgados como objetivos de la educación, como aparece reflejado en el proyecto OCDE, *Defining and Selecting Key Competencies* (DeSeCo), elaborado por Rychen y Salganik (2003, como se cita en OCDE, 2013b). Los factores no cognitivos son tan importantes o más importantes para el desarrollo individual, así como para el éxito en la vida y el bienestar, y por lo tanto tienen un impacto en el individuo y la sociedad por igual (Heckman, Stixrud, & Urzúa, 2006).

La edición de PISA 2015 se centró en las ciencias, donde se incorpora una evaluación de Resolución de Problemas en Colaboración (CPS, *Collaborative Problem Solving*), que pretende medir la capacidad individual de los alumnos, mediante la comprensión, el intercambio y el esfuerzo, para trabajar con otros en la resolución de situaciones problemáticas. Roschelle y Teasley (1995, p. 70; citado por Fawcett & Garton, 2005, p. 158), definen colaboración como “coordinada, actividad síncrona que es el resultado de un intento continuo de construir y mantener una concepción compartida de un problema”. Hay un creciente énfasis en los sistemas educativos en implementar el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje basado en la indagación (National Research Council, 2011), lo que exige conformar el currículo y la instrucción en torno al pensamiento crítico, la resolución de problemas, autogestión y las habilidades colaborativas (Darling-Hammond & McLaughlin, 2004), habilidades del siglo XXI (*21st century skills*) (Griffin et al., 2011; National Research Council, 2011, como se citan en OCDE, 2013a). La alfabetización científica en PISA 2015 se define por la adquisición de tres competencias específicas: la explicación científica de fenómenos, la evaluación y diseño de indagaciones científicas y la interpretación de datos y evidencias científicamente. Esto implica que la instrucción de los alumnos, en el marco teórico de esta prueba, debe conseguir que adquieran conocimiento conceptual [*content knowledge*] (conceptos e ideas), conocimiento procedimental [*procedural knowledge*] (procedimientos y estrategias utilizadas en todas las formas de indagación científica) y conocimiento epistémico [*epistemic knowledge*] (la forma en la que las ideas son justificadas y garantizadas en ciencia) (OCDE, 2013b, p. 7).

En el documento *A Framework for K-12 Science Education* (National Research Council, 2012, p. 26), se matiza el hecho de que, “a pesar de que las prácticas utilizadas para desarrollar las teorías científicas y la forma que toman dichas teorías difieren de un dominio de la ciencia a otro, todas las ciencias tienen en común sus planteamientos basados en la indagación y la resolución de problemas”. Estos aspectos concuerdan con Pozo y Crespo (1998) cuando indican que lo que necesitan los alumnos es la capacidad de organizar, gestionar y dar sentido a la información que previamente han asimilado críticamente.

El análisis de la *crisis de la educación científica* que realiza Pozo y Crespo (1998, p. 18), aporta soluciones en el contexto de enseñanza-aprendizaje de la ciencia en una sociedad cambiante. Si bien es cierto que los contenidos conceptuales que aparecen en física pueden resultar en ocasiones complejos o abstractos, para estos autores la educación científica debería promover y cambiar las actitudes de los alumnos, aspectos que no son considerados habitualmente como contenidos de física. Algunos problemas y dificultades que detectan estos autores con respecto a la enseñanza de la ciencia son:

- a) Incorporación de las actitudes y valores como contenido educativo. A pesar de que las actitudes aparecen como contenido educativo en los currículos, muchas veces no se les da la suficiente importancia. Estas actitudes y valores son asumidas por el alumno por distintos mecanismos de aprendizaje social, entre ellos el más importante es el modelado o aprendizaje por imitación de un modelo (Bandura & Walters, 1987). El profesor debe ser consciente y cuidar este tipo de aprendizaje que habitualmente pasa desapercibido para el alumno (el alumno está aprendiendo valores y actitudes sin ser consciente de ello ya que no será evaluado a través de alguna prueba escrita). Es el profesor el que puede contagiar al alumno el entusiasmo, el interés por la ciencia, el espíritu de sacrificio, el interés por analizar, conocer, descubrir, así como valores relativos a la tolerancia, la solidaridad y la capacidad de escucha. Estos procesos son especialmente importantes durante la adolescencia, momento en que los alumnos están construyendo su identidad social. Según (Pozo & Crespo, 1998), las

actitudes científicas que deben promoverse en los alumnos son: hacia la ciencia, hacia el aprendizaje de la ciencia y hacia las implicaciones sociales de la ciencia.

- b) Motivación hacia la ciencia. Uno de los problemas de los que se habla habitualmente en el contexto de enseñanza-aprendizaje de la física es la falta de motivación de los alumnos. (Pozo & Crespo, 1998), no obstante, señalan la importancia del profesor en este aspecto. Valorar la realización de las tareas encomendadas al alumno puede servir como motivación extrínseca; no es el interés por el conocimiento científico lo que hace al alumno esforzarse sino el valor que el profesor concede a esa tarea realizada. A este tipo de motivación se asocia el aprendizaje repetitivo. Es posible que este mecanismo de motivación extrínseco no dé los resultados adecuados o vaya decayendo y el alumno vaya perdiendo interés, por lo que la motivación que se debe lograr es una motivación intrínseca que lleve al alumno a esforzarse, a comprender la ciencia y a darle significado. Lograda esta motivación en el alumno, su esfuerzo estará más orientado a aprender que a aprobar. Otro factor para aumentar la motivación del alumno es aumentar sus expectativas de éxito (un alumno que “sabe” que no va a aprobar, no tendrá capacidad para esforzarse). Es por tanto de especial importancia en el proceso de motivación y regulación del alumno el proceso de evaluación. De esto hablaremos con mayor profusión más adelante.
- c) Aprender a aprender, o “el conocimiento y destreza necesarios para aprender con efectividad en cualquier situación en que uno se encuentre” (Alonso, Gallego, & Honey, 1994; p. 54). En la enseñanza tradicional de la física, que persiste todavía hoy en día en numerosas aulas, se hace especial énfasis en la transmisión de contenidos conceptuales. El profesor explica y los alumnos escuchan y copian; quedando relegados a un segundo plano los contenidos procedimentales, consistentes muchas veces en la realización de alguna práctica de laboratorio que habitualmente resulta compleja de entender para la mayor parte de los alumnos, que se dedican a realizarla sistemáticamente, tomando datos y representándolos sin entender exactamente la física implícita o los fenómenos involucrados. Actualmente, los procedimientos científicos están incluidos en los currículos de enseñanza. Para lograr enseñar correctamente los procedimientos científicos,

debemos considerar que la metodología de enseñanza-aprendizaje difiere con respecto a otro tipo de contenidos. El conocimiento declarativo (saber qué o saber decir) se adquiere de forma distinta al conocimiento procedimental (saber cómo o saber hacer). Para (Pozo & Crespo, 1998), la preparación del alumno en el procedimiento científico pasaría por distintas fases: en las fases iniciales el alumno recibe instrucciones de la secuencia de acciones que debe realizar de forma que el alumno automatice esta secuencia. En las últimas fases, se enfrenta al alumno a situaciones cada vez más novedosas y abiertas, promoviendo la autonomía en la planificación, supervisión y evaluación de sus procedimientos.

- d) Aprendizaje significativo de conceptos. Como consecuencia de la enseñanza transmisiva de conceptos, muchos de los alumnos se limitan a memorizar y posteriormente a intentar reproducir lo más fielmente las palabras del profesor, sin comprender los conceptos ni fenómenos físicos (Queiruga, 2016b). Para que se produzca un aprendizaje significativo, aprendizaje en que un estudiante relaciona la información nueva con la que ya posee, componiendo significados, integrando o asimilando la nueva información a los esquemas que ya posee (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1976/1983), el alumno debe dotar a la información recibida de significado, de forma que, con la modificación de los conocimientos previos surja un nuevo aprendizaje.

Otro argumento para justificar esta investigación es el hecho de que cada año disminuye el número de jóvenes que optan por itinerarios formativos en el ámbito científico, tecnológico y matemático (STEM: *Science, Technology, Engineering and Mathematics*), a pesar de que el desarrollo de estas competencias es uno de los objetivos fundamentales de la agenda educativa de la Unión Europea. Las vocaciones científicas han descendido en la última década en Europa (Caprile, Palmen, Sanz, & Dente, 2015), y con mayor incidencia en España, donde se ha experimentado una bajada del 25,3% en las matriculaciones en ramas científicas (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2014) (citado por Pérez & Olvera-Lobo, 2015, p. 4).

The European Round Table of Industrialists (ERT, 2009) es un foro de 45 principales empresas líderes en Europa ubicadas entre 18 países europeos, con un

volumen de negocios de 1600 millones de euros y que emplean alrededor de 4,5 millones de personas en todo el mundo. Uno de los objetivos de ERT es promover la competitividad de la industria europea. ERT ha identificado que es esencial para el crecimiento económico de Europa incrementar el interés en Matemáticas, Ciencias y Tecnología entre la gente joven. Sin embargo, los intereses de los jóvenes en estas competencias están decayendo (European Commission 2004, 2007; OCDE, 2008; Osborne & Dillon, 2008).

Las causas del fracaso en el aprendizaje significativo de las ciencias siguen siendo objeto de continuo debate e investigación. “Por ello, el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos contenidos tiene que ser especialmente planificado por parte del profesor” (Sáiz & Bol, 2015, p. 130).

Muchos de los centros de interés de las investigaciones realizadas relativas a esta problemática, giran en torno a:

a) Cómo se estructura y aprende el conocimiento científico. En muchas ocasiones, las concepciones de los alumnos acerca de la ciencia, el conocimiento científico y sobre todo cómo se adquiere este conocimiento, contienen puntos de vista inconsistentes entre sí, sin que sean conscientes de ello. El alumno puede, por ejemplo, mantener la idea de que el conocimiento científico depende del ambiente social de los científicos (Hammer, 1995), lo que hace difícil encuadrar y clasificar estas concepciones (Hammer, 1994). El alumno puede pensar que el efecto de una riada es devastador porque el agua lleva mucha fuerza y que el impacto de un mosquito en el parabrisas de nuestro vehículo no provoca ningún daño porque el mosquito no lleva apenas fuerza. También es posible que trate de estructurar y dar sentido a este conocimiento reduciéndolo a un conjunto de ecuaciones y definiciones que debe memorizar. Es necesario que nuestros alumnos comprendan la ciencia como un proceso más que como un producto de teorías y modelos (Pozo & Crespo, 1998).

b) Las estrategias de razonamiento que utiliza el alumno. Según investigaciones de Fernández, Cachapuz, Carrascosa, Gil y Praia (2002), la enseñanza de las

ciencias apenas proporciona ocasión a los estudiantes de familiarizarse con las estrategias características del trabajo científico, por lo que las concepciones de los estudiantes acerca de la naturaleza de la ciencia no difieren de las visiones ingenuas adquiridas por impregnación social (Fernández et al., 2002), además, es habitual que utilicen reglas aproximativas (heurísticos), de carácter intuitivo pero que nos alejan de las conclusiones científicamente válidas aun siendo útiles en la vida cotidiana (Pozo, Sanz, Crespo, & Limón, 1991). Para Pozo y Crespo (1998), lo que necesitan los alumnos es la capacidad de organizar e interpretar y dar sentido a la información científica.

- c) **El escaso control metacognitivo del alumno**, especialmente relevante en el aprendizaje de las ciencias, dado que la interferencia de las ideas previas obliga a disponer de un repertorio de estrategias de control de la comprensión adecuado que permita detectar fallos en el estado actual de comprensión. Está demostrado que, con frecuencia, los alumnos de enseñanza secundaria no aplican estrategias metacognitivas o las aplican defectuosamente (Campanario & Otero, 2000). La tarea se ve reducida a la identificación del tipo de ejercicio y a repetir las pautas seguidas en ejercicios similares, reduciendo la motivación para el aprendizaje de la ciencia (Pozo & Crespo, 1998). Además, según indican estos autores, uno de los fines de la educación científica debe ser “el desarrollo de destrezas cognitivas y de razonamiento científico” (p. 31). Sobre las habilidades metacognitivas hablaremos ampliamente a lo largo de esta tesis.

Si bien es cierto que las metodologías de enseñanza de las ciencias están cambiando, todavía la enseñanza tradicional está arraigada en nuestro sistema: la clase magistral sistemática en la que el estudiante tiene un papel pasivo. Este sistema acumula desde hace años muchas críticas desde diversos sectores, lo que hace que, a pesar de todas las investigaciones realizadas en este sentido sobre las bondades de la utilización de otras metodologías, siga resistiendo al cambio. Advirtiéndolo que en muchos centros escolares se realizan programas experimentales o cambios metodológicos radicales que habrá que evaluar transcurridos unos años. En cualquier caso, insistimos: a la vista de los beneficios que producen otras metodologías de enseñanza-aprendizaje, ¿por qué se hace esperar tanto un cambio metodológico?

Sería interesante, llegados a este punto, analizar el papel del profesor y lo que se espera de él. Por un lado, el método tradicional de enseñanza por transmisión de conocimientos facilita el trabajo del profesor en el sentido de que:

- Está enfocado a grandes grupos a los que el profesor transmite la información. Esto reduce las oportunidades de guía y *feedback* a los estudiantes (Reif, 2005, p. 407).
- Está orientado a la asimilación de unos contenidos conceptuales, más que para el desarrollo de habilidades y competencias.
- Un profesor con esta metodología puede albergar más carga lectiva. Un profesor necesita relativamente poco tiempo para preparar su intervención y además puede introducir cambios fácilmente para intervenciones futuras (Reif, 2005, p. 406).

En este sentido parece un método eficaz, una producción en cadena; sin embargo, las empresas e industrias generadoras de empleo indican una discrepancia entre los resultados de los currículos y las necesidades del mercado de trabajo (Harvey & Green, 1994). Precisamente, es en estos puntos en los que pueden fallar la implementación de las nuevas metodologías. La enseñanza de la física y de la ciencia en general, no puede concebirse como una transmisión de conceptos y tampoco puede hacerse extensiva la transmisión de habilidades. En aras del éxito educativo, la enseñanza de la física debe adaptarse al alumno individualmente. La diversidad debe ser entendida como algo natural e inherente a cada alumno (escuela inclusiva). Además de contenidos determinados de física, el alumno debe aprender una serie de valores: convivencia, respeto entre semejantes y aceptación de las diferencias individuales del resto de los alumnos, valores que son imprescindibles para una vida en sociedad. El aprendizaje colaborativo, en el que los estudiantes aprenden unos de otros (Reif, 2005, p. 420), aprendizaje activo, centrado en el alumno (Sandi-Urena, Cooper, & Stevens, 2012), es una de las herramientas que puede propiciar la transmisión de estos valores. Si partimos de esta premisa, es imprescindible una

interacción casi instantánea entre profesor y alumno.

De las siete inteligencias que poseemos (Gardner, 1998), espacial, lingüística, musical, naturalista, corporal, matemática y emocional, ¿cuál de todas ellas está desarrollando la enseñanza tradicional fundamentalmente? o ¿cómo la está desarrollando?

Si el papel del profesor es el de guía del proceso de enseñanza-aprendizaje, el profesor debe conocer en cada momento en qué punto (estadio) se encuentra el alumno. Además, tan importante como las actividades que se realizan es el CÓMO se realizan, y para ello es importante la preparación del profesor y la implicación (preparación científica y pedagógica): el profesor tiene que familiarizarse con los procesos que acarrearán las metodologías y la evaluación de los mismos.

¿Cuáles parecen entonces, a simple vista, las condiciones mínimas para propiciar el cambio metodológico? Algunas de estas podrían ser:

- La reducción del número de alumnos por grupo. Una metodología inclusiva de calidad deberá partir del análisis de la realidad, fomentando la participación activa del alumnado e implicándoles en su proceso de enseñanza y aprendizaje, siendo protagonistas de su enseñanza (Soler, de la Rosa, & Garre 2015). El proceso de interacción y de *feedback* con el alumno requiere dedicación de tiempo para conseguir que ese protagonismo sea real.
- Una revisión y puesta a punto de nuevas metodologías y escenarios. El sistema educativo ha propiciado que muchos alumnos adquieran un papel pasivo en el que terminan por acomodarse. La escuela inclusiva debe tener una flexibilidad que permita una adaptación de metodologías y escenarios al individuo (Queiruga, 2016a). Además, este cambio debe empezar en las más tempranas edades, antes de que el alumno tome dicho papel pasivo en el proceso educativo.
- La actualización en metodologías de enseñanza-aprendizaje: cómo se aprende y qué se aprende. Se ha de alcanzar un nivel de profesionales versátiles en

creatividad y autonomía para continuar su labor de formación permanente e innovar en materia educativa (Angelini & García-Carbonell, 2015).

- La reducción de la carga lectiva docente. Como consecuencia de lo apuntado en los apartados anteriores, el docente debe dedicar gran parte de su tiempo de trabajo a organización y diseño de grupos, de actividades, de proyectos, de escenarios, además de dedicar tiempo a su continua formación y por supuesto a la investigación y evaluación.

Por otro lado, como indicábamos con anterioridad, el docente tiene que orientar sus intervenciones hacia todos los estudiantes. La UNESCO (2005, p. 13) define en este sentido la educación inclusiva como “un proceso orientado a responder a la diversidad de los estudiantes incrementando su participación y reduciendo la exclusión en y desde la educación”. De forma que la educación debe buscar la presencia, participación y los logros de todos los alumnos, en especial de aquellos que están excluidos o en riesgo de ser marginados. Esta inclusión implica el acceso a la educación de calidad sin ningún tipo de discriminación, y en esta línea debe avanzar la transformación del sistema educativo.

¿Estamos formados para afrontar los retos de la nueva educación?

Para Reif(2008, p. 3), una cuestión de vital importancia que debe ser respondida es: “¿Qué tipos de conocimiento y procesos de pensamiento son necesarios para el buen desarrollo en dominios científicos o de parecida complejidad y qué métodos de instrucción deben ser ideados para facilitar el aprendizaje de los estudiantes de dicho conocimiento y pensamiento?”.

CAPITULO 2
APRENDIZAJE

2. APRENDIZAJE

En este capítulo se enumeran y describen distintas definiciones de aprendizaje elaboradas por algunos autores, lo que permite ver los elementos comunes que aparecen reflejados en dichas definiciones. Posteriormente, se abordan los aspectos principales de algunas de las más importantes teorías del aprendizaje. En definitiva: qué es aprender y cómo se produce el aprendizaje.

2.1. DEFINICIÓN DE APRENDIZAJE

Existen diversas definiciones de aprendizaje elaboradas por distintos investigadores y profesionales:

Robert Gagné (1971) define aprendizaje como el cambio de la disposición o capacidad humana, con carácter de relativa permanencia no atribuible simplemente al proceso de desarrollo. Así el aprendizaje se produce cuando “una acción estimulante impresiona al sujeto de tal modo que su actuación es diferente antes y después de encontrarse ante dicha situación” (Gagné, 1971, p. 6), y en la misma página continúa: “El cambio ocurrido en su actuación es lo que permite concluir que el aprendizaje ha ocurrido”.

Según Bower y Hilgard (1981) (citado por Urquijo, Vivas, & González, 1998, p. 2):

Aprendizaje se refiere al cambio en el comportamiento, o en el potencial de comportamiento, de un sujeto frente a una situación dada, como consecuencia de las repetidas experiencias del sujeto en esa situación, siempre que la modificación del comportamiento no pueda ser explicada por las tendencias innatas de respuesta del sujeto, por la motivación o por estados temporarios, como la fatiga, la embriaguez, los impulsos, etc.

La definición de aprender dada por Shuell (1986; según la interpreta Schunk, 1997, p. 2) es: “un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de conducirse de manera dada como resultado de la práctica o de otras formas de experiencia”.

Para Alonso et al. (1994, p. 22), “Aprendizaje es el proceso de adquisición de una disposición, relativamente duradera, para cambiar la percepción o la conducta como resultado de una experiencia”.

Mientras que, para Pozo (2001; citado por Pozo 2003), aprender es:

una función biológica desarrollada en los seres vivos de una cierta complejidad, que implica producir cambios en el organismo para responder a los cambios ambientales relevantes, conservando esos cambios internos para futuras interacciones con el ambiente, lo que exige disponer también de diferentes sistemas de memoria o representación de complejidad creciente. (p. 16).

Aunque vemos que no hay una coincidencia estricta entre las definiciones aportadas por distintos investigadores y estudiosos para el concepto de aprendizaje las ideas que aparecen reflejadas son (Schunk, 2012):

El aprendizaje **implica un cambio**: el estudiante aprende cuando adquiere la capacidad para hacer algo de manera diferente o de realizar nuevas acciones. Por otro lado, el aprendizaje es inferencial: observamos el aprendizaje, no de forma directa, sino a través de sus productos o resultados. El aprendizaje se evalúa con base en lo que la gente dice, escribe y realiza. El aprendizaje implica un cambio en la capacidad para comportarse de cierta manera, ya que, a menudo, las personas aprenden habilidades, conocimientos, creencias o conductas sin demostrarlo en el momento en que ocurre el aprendizaje.

El aprendizaje **perdura a lo largo del tiempo**, lo que excluye los cambios temporales en la conducta provocados por factores, como la fatiga, ya que es un cambio transitorio, las condiciones ambientales y las alteraciones en el estado fisiológico o motivacional. Estos son cambios que remiten cuando desaparece la causa que los provoca. Aunque puede ocurrir que lo aprendido se olvide, por lo que el cambio de conducta no requiere de una gran duración temporal para que sea considerado como aprendizaje. La mayoría de estudiosos del tema asumen que los cambios que duran unos segundos no suponen aprendizaje (Schunk, 2012).

Los cambios en la conducta debidos a los efectos de la maduración (gatear, asir objetos) tampoco se consideran aprendizaje (el desarrollo o maduración se considera como una condición previa del aprendizaje, pero nunca como un resultado del mismo (Vygotsky, 1979)), aunque muchas veces la diferencia maduración-herencia y maduración-aprendizaje no está muy clara. Si tenemos en cuenta que el aprendizaje ocurre por medio de práctica o experiencia y que tiene una función adaptativa que modifica el comportamiento en función de la interacción con el entorno, aunque uno tenga una predisposición a manifestar unas determinadas conductas, es el ambiente y la interacción con otros individuos lo que genera el desarrollo de conductas específicas. La adquisición del lenguaje es un proceso de maduración, y también es importante la genética, pero la enseñanza y las interacciones sociales son de gran influencia en el proceso. Sirva como ejemplo el hecho de que los niños criados en aislamiento o por animales no poseen un lenguaje humano, y su desarrollo es más lento y requiere gran entrenamiento (Lenneberg, 1967; citado por Schunk, 1997, p. 3).

2.2. TEORÍAS DEL APRENDIZAJE

2.2.1. TEORÍA DE JEAN PIAGET

A partir de su experiencia en el campo de la biología y de la psicología, Piaget elabora una teoría del conocimiento que permite comprender el desarrollo del pensamiento. Para Piaget, adquirimos información del medio en el que vivimos a través de un continuo intercambio, de forma que es a través de una interacción activa que las personas aprenden: razonando, imaginando y realizando actividades manipulativas. Las experiencias de aprendizaje son almacenadas en el cerebro y forman estructuras que se conectan con las existentes. El aprendizaje, por tanto, no es una acumulación de conocimientos adquiridos por transmisión, sino un proceso activo que se construye continuamente a través de la experiencia que se obtiene mediante la interacción con el entorno. Cuando la información que recibimos no encaja con la estructura que tenemos, se produce un conflicto cognitivo, que nos lleva a buscar nueva información que permita conectar la anterior con la que teníamos almacenada a fin de alcanzar un nuevo equilibrio.

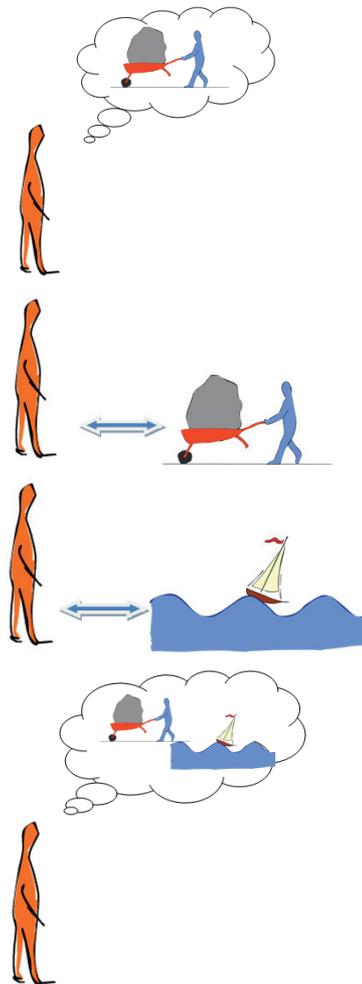


Figura 2. Teoría de Piaget. El alumno construye el concepto de movimiento en sus estructuras cognitivas al estudiar un movimiento, lo que sirve de base al estudiar otro movimiento que no conoce. Así, construye los conceptos sobre estructuras anteriores. Adaptado de González (2012, p. 14).

Wallon (citado por Sáiz, 1996, pp. 30-31), que consideraba que el niño, desde que nacía, vivía en un entorno social, criticó a Piaget el excesivo individualismo de su teoría, el no estudiar las interacciones sociales en las que participaba el niño (los procesos que articulaban dinámicas individuales y colectivas) ni la cooperación entre iguales para el desarrollo del pensamiento autónomo.

2.2.2. CONSTRUCTIVISMO

El modelo constructivista del aprendizaje se basa en que este se construye a partir de la base de los conocimientos anteriores. Para que esta situación se produzca, el estudiante debe participar activamente en su aprendizaje y construir significados a medida que aprende de la experiencia. Con cada nuevo aprendizaje, la estructura mental se modifica y se hace más sofisticada:

el desarrollo mental es una construcción continua, comparable a la edificación de un gran edificio que, con cada adjunción, sería más sólido, o más bien, al montaje de un sutil mecanismo cuyas fases graduales de ajustamiento tendrían por resultado una ligereza y una movilidad mayor de las piezas, de tal modo que su equilibrio sería más estable. (Piaget, 1964/1991, p. 12).

Para Pozo y Crespo (1998), la idea básica que subyace en la teoría constructivista es que aprender y enseñar implican transformar la mente del aprendiz, el cual debe reconstruir los productos y procesos culturales para apropiarse de ellos; negando además que los procesos de enseñanza-aprendizaje sean meros procesos de repetición y acumulación de conocimientos.

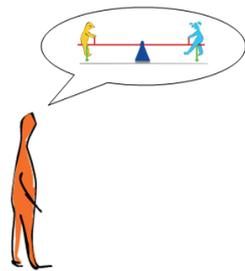
Las principales perspectivas constructivistas, actualmente asumidas e integradas por la comunidad educativa (Bruning et al. (2004), Moshman (1982), Phillips (1995); (citados en Schunk, 2012, p. 232)), son: la endógena, la exógena y la dialéctica.

Para la perspectiva exógena, la adquisición de conocimiento representa una reconstrucción del mundo externo, que influye en las creencias y representaciones mentales del alumno a través de las experiencias, la exposición a modelos y la enseñanza. El conocimiento es preciso en la medida que refleje la realidad externa. Es un aprendizaje personal, que surge de la reconstrucción que el alumno hace de la realidad externa, procesando la información recibida y organizándola, en el que los estudiantes descubren los conocimientos sobre todo mediante la observación de modelos, en concordancia con los principios del aprendizaje social (Bandura &

Walters, 1987; Zimmerman, 2013). Además, para Zimmerman (2013), este modelado debe ser estudiado experimentalmente como un método de instrucción diseñado para mejorar no solo el aprendizaje sino la motivación de los estudiantes.

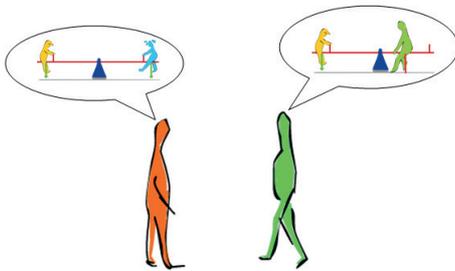
En la perspectiva endógena, el aprendizaje se deriva del conocimiento previo y no directamente de las interacciones con el ambiente. El conocimiento no es un espejo del mundo exterior, sino que se desarrolla a través de la abstracción cognoscitiva. La enseñanza constructivista endógena se apoya sobre todo en la teoría del desarrollo cognoscitivo de Piaget (1970) que destaca más la exploración y el descubrimiento por parte del alumno que la instrucción directa del profesor. Así el alumno construye su conocimiento no directamente de la información que obtiene de su entorno, aunque esto influye, sino de la transformación y reorganización de sus propias estructuras cognitivas.

Entre los dos extremos, entre el constructivismo exógeno y el constructivismo endógeno, se encuentra la enseñanza constructivista dialéctica o constructivismo cognoscitivo, (Vygotsky, 1979). Para la perspectiva dialéctica, el conocimiento se deriva de la doble interacción, interna, el propio alumno (factores cognoscitivos) y externa, con su entorno biológico y cultural. Las construcciones no están totalmente vinculadas al mundo externo ni completamente ligadas al funcionamiento de la mente, sino que el conocimiento refleja los resultados de las contradicciones mentales que se generan al interactuar con el entorno. Según esta perspectiva, en el aprendizaje del alumno influyen la enseñanza, los modelos, el entrenamiento, pero además el conocimiento e ideas previas; por lo que sugiere suministrar al alumno la ayuda necesaria para construir el conocimiento, ni tan abundante como para condicionar la construcción personal de este conocimiento y que favorezca una repetición mecánica, ni tan escasa como para que el alumno sea incapaz de descubrirlo.



ENFOQUE ENDÓGENO

Los sujetos construyen sus propios conocimientos mediante la transformación y reorganización de las estructuras cognitivas y no directamente de la información que proviene del ambiente.



ENFOQUE EXÓGENO

El aprendizaje surge de la reconstrucción que el alumno hace de la realidad externa.



ENFOQUE DIALÉCTICO

El conocimiento se desarrolla a través de la interacción de factores internos (cognoscitivos) y externos (entorno biológico y sociocultural).

Figura 3. Perspectivas constructivistas. Adaptado de Schunk (2012, p. 232).

A pesar de los numerosos estudios sobre la teoría constructivista y sobre los distintos enfoques de esta, la experiencia indica las dificultades de su puesta en funcionamiento en el aula. Algunas de estas dificultades han sido reseñadas en la introducción de este estudio, pero en este caso el factor más influyente está relacionado con la formación del profesorado: la necesidad de poseer recursos, sobre todo didácticos, que permitan que las intervenciones educativas concluyan en un aprendizaje constructivo significativo. Para lograr esto, es imprescindible un continuo *feedback* con el alumno (concepto desarrollado en capítulos siguientes) que permita conocer al profesor “dónde se encuentra el alumno” y su grado de motivación de forma que el profesor tenga la capacidad de diseñar sus intervenciones de modo que sirvan para guiar al alumno hasta una meta ajustada al contexto social y cultural en el que se desarrolla la vida del alumno. Esta formación del profesor debería cumplir además el objetivo de lograr herramientas de automotivación que le permitan profundizar en estrategias de aprendizaje significativo que, aunque se revelen eficaces a largo plazo, huyan del aprendizaje memorístico y mecánico de la ciencia (Queiruga, 2016b). Como ejemplo que parecerá obvio a los estudiosos de la didáctica, pero que sigue arraigado en gran medida nuestro sistema de enseñanza de la física: si a un alumno le escribimos en un papel las tres fórmulas que necesita para la resolución de problemas relacionados con el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y lo instruimos durante una semana, superará fácilmente una prueba escrita con ejercicios del mismo tipo, con lo que el “rendimiento aparente” de su aprendizaje será muy alto. Otro tipo de metodologías, en las que el alumno comprende el significado (lo aprende significativamente) de las magnitudes asociadas al movimiento, podría no revelarse tan eficaz a corto/medio plazo frente a una prueba similar a la citada. Quizá sea esta, además, la razón por la que los contenidos de física aparezcan repetidos una y otra vez a lo largo de todas las etapas o, en ocasiones, se opte por hacerlos desaparecer del currículo.

2.2.3. TEORÍA DE LEV SEMIÓNOVIC VYGOTSKY

Para Vygotsky (1979), con el aprendizaje se despiertan una serie de procesos evolutivos internos capaces de operar sólo cuando el niño está en interacción con las personas de su entorno y en cooperación con algún semejante.

Aunque coincide con Piaget en la forma de explicar cómo se organiza el pensamiento para la adquisición de nuevos aprendizajes, añade la mediación como elemento necesario para la modificación de las estructuras mentales: la interacción social. Por lo tanto, las habilidades y destrezas que desarrollen los estudiantes dependen de los estímulos sociales y culturales. Es decir, si en la teoría de Piaget el alumno adquiere información y aprende por sí mismo, el marco vygotskyano requiere de la interacción del alumno con otras personas y con el ambiente para que se produzca el aprendizaje (conocimiento, valores, actitudes y habilidades).

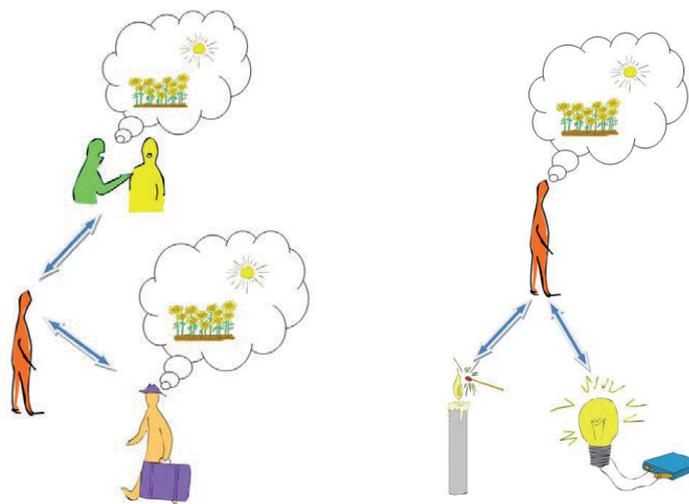


Figura 4. Teoría de Vygotsky. La sociedad tiene una construcción social del concepto de energía, cuyo significado varía entre una cultura y otra. Durante el aprendizaje se da una relación dialéctica entre el alumno y su entorno socio-cultural, con el apoyo y la mediación de los adultos (profesor). Cuando el alumno estudia la energía, reconstruye el concepto de energía en sus estructuras cognitivas, tomando en cuenta el sentido y significado determinado por su cultura. Así, por ejemplo, puede diferenciar la energía de combustión de una vela, la energía que procede del Sol y la energía química de una pila. Esta mediación o puente que permite a una persona llegar a un nuevo conocimiento, es uno de los conceptos clave en la obra de Vygotsky. La interacción del docente debe permitir al alumno aprender con la mayor autonomía e independencia. Adaptado de González (2012, p. 14).

A pesar de las diferencias teóricas entre Piaget y Vygotsky, podemos decir que estuvieron influidos por la obra de Baldwin (considerado como el predecesor de la Psicología Social Genética), al haber dado una gran importancia a lo social en el desarrollo afectivo y cognitivo del ser humano (Sáiz, 1996).

2.2.4. TEORÍA DE JEROME BRUNER

Jerome Bruner sustenta su teoría en las de Piaget y Vygotsky, planteando que el niño es un ser social con una cultura y una serie de conocimientos previos que organiza en estructuras mentales para realizar alguna actividad y aprende cuando descubre a través de lo que ha realizado.

Según Bruner, hay tres sistemas básicos de representar el conocimiento, es decir, guardar en la memoria aspectos de la experiencia, presentes en la cognición humana (Bruner, 1984; Bruner, Oliver, & Greenfield, 1966; citado por Uribe & Martínez, 2010, p. 331):

- Representación enactiva, a través de la manipulación y la acción, que se refiere a la inteligencia práctica que se desarrolla debido al contacto del niño con los objetos y con los problemas del medio.
- Representación icónica, o la concepción de una imagen mental que representa un objeto. Esta representación es la que permite reconocer un objeto cuando ha sufrido leves modificaciones.
- Representación simbólica, la última en desarrollarse, emplea sistemas de símbolos para codificar la información.

Para Bruner, la educación es un medio para fomentar el desarrollo cognoscitivo, por lo que la instrucción debe ser ajustada a las capacidades de los estudiantes. Propone enseñar los conceptos de la forma más sencilla, empezando por la acción a través de una actividad que lleve al estudiante a descubrir un nuevo aprendizaje, generando interés por descubrir a través de la curiosidad. La propuesta de Bruner (Uribe & Martínez, 2010, p. 339) es aprender las ciencias por medio del descubrimiento como una actividad dirigida. El papel del profesor es planear actividades y experiencias que dirijan y encaucen al estudiante.

2.2.5. TEORÍA DE DAVID AUSUBEL

Ausubel basa su teoría del aprendizaje (significativo) en que el nuevo concepto, idea o principio, se debe relacionar con lo que el alumno ya sabe, alguna imagen mental o algún concepto que sea importante para él, por lo que es importante tener en cuenta los aspectos relevantes y preexistentes de la estructura cognitiva del alumno (su ambiente y su cultura): “Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente” (Ausubel, 1968; citado por Novak, 1988, p. 214). Este modelo exige que el profesor ayude al alumno a dividir las ideas en fragmentos más pequeños que vayan conectando los conceptos y principios nuevos con aspectos similares en la memoria.

El modelo de Ausubel requiere de una gran interacción profesor-estudiante: el profesor presenta los nuevos contenidos, pero debe solicitar continuamente respuesta del estudiante. Este proceso de interacción se representa en la Figura 5.



Figura 5. Condición para el aprendizaje significativo. Para Ausubel, es necesario un continuo *feedback* entre profesor-alumno para que se produzca el aprendizaje significativo.

2.2.6. APRENDIZAJE POR DESCUBRIMIENTO

El aprendizaje por descubrimiento es la metodología de aprendizaje en la que el alumno descubre los conceptos y sus relaciones y los reordena para adaptarlos a su esquema cognitivo, modificando su estructura mental cada vez que se produce un nuevo aprendizaje. Es decir, esta metodología asume que la mejor forma de aprender física es haciéndola: la mejor manera de aprender algo es descubrirlo o crearlo por uno mismo, “cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y en consecuencia entenderlo completamente” (Piaget, 1970; citado por Pozo & Crespo, 1998, p. 274). El aprendizaje por descubrimiento se contrapone al aprendizaje por recepción, en el que el contenido principal de la tarea de aprendizaje se le presenta al alumno; pero, en realidad, ambos aprendizajes pueden ser significativos si a) el alumno emplea una actitud de relacionar significativamente el nuevo material con el existente en su estructura mental, o b) si la tarea es potencialmente significativa (Ausubel et al., 1976/1983).

La labor del profesor, según esta concepción, consiste en diseñar contextos para el descubrimiento, a la vez que suscitar conflictos o preguntas que deben responder o resolver los alumnos. Este enfoque se centra sobre todo en los procesos de la ciencia (Pozo & Crespo, 1998).

Sin embargo, esta metodología, el aprendizaje por descubrimiento, ha acumulado numerosas críticas ya que busca a tientas la explicación de un fenómeno físico. Sin una base conceptual, sin una estructuración del pensamiento, no conduce a un aprendizaje significativo, que es lo que pretende. En cualquier caso, entre los aspectos aprovechables de esta metodología se encuentran que cede la responsabilidad de su aprendizaje a los propios alumnos y recupera el aprender a descubrir, que había sido olvidado en la enseñanza tradicional (Campanario & Moya, 1999).

CAPITULO 3
ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE
(estrategias cognitivas)

3. ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE (ESTRATEGIAS COGNITIVAS)

El término estrategias de aprendizaje se refiere al conjunto de procedimientos y recursos cognitivos que se activan cuando el estudiante se enfrenta a una situación de aprendizaje. Las estrategias de aprendizaje están relacionadas, por tanto, con los componentes cognitivos que influyen en el proceso de aprender.

La definición de estrategias de aprendizaje difiere según los distintos autores:

Derry y Murphy (1986, p. 2) definen las estrategias de aprendizaje como “la colección de tácticas mentales empleadas por un individuo en una situación particular de aprendizaje para facilitar la adquisición del conocimiento o habilidad”.

Según Weinstein y Mayer (1983, p. 1) (posteriormente en Weinstein y Mayer, 1986, p. 315, como se citó en Valle, González, Cuevas, & Fernández, 1998, p. 55), las estrategias de aprendizaje “se pueden definir como los comportamientos y pensamientos en el que un estudiante se involucra y que están destinadas a influir en los alumnos el proceso de codificación”.

Para Dansereau (1985), son secuencias de procedimientos o actividades que se utilizan para facilitar la adquisición, almacenamiento y utilización de la información; distinguiendo entre estrategias primarias, utilizadas para operar directamente sobre el texto, y estrategias de soporte, utilizadas para ayudar al alumno a mantener un estado de ánimo adecuado para el estudio, que además, según Nisbet y Shucksmith (1986; como se citó en Monereo, Cabaní, Muñoz, Muntada & Badia, 1994-1999, p. 12), son conscientes e intencionales, una especie de guía de acciones a seguir en la resolución de una tarea, y que es anterior a la elección de cualquier procedimiento para actuar.

Para Genovard y Gotzens (1990; citado por Valle et al. 1998, p. 55), las estrategias de aprendizaje son comportamientos puestos en marcha durante el proceso de aprendizaje que influyen en el proceso de codificación de la información.

Según Monereo et al. (1994-1999), las estrategias de aprendizaje son procesos conscientes e intencionales en los que el estudiante selecciona y recupera los conocimientos que necesita para cumplir una tarea u objetivo de aprendizaje.

Para Beltrán (2003):

Las estrategias son algo así como las grandes herramientas del pensamiento, que sirven para potenciar y extender su acción allá dónde se emplean. De la misma manera que las herramientas físicas potencian de forma incalculable la acción física del hombre, las herramientas mentales potencian la acción del pensamiento hasta límites increíbles, de ahí que algunos especialistas hayan llamado a las estrategias «inteligencia ampliada». (p. 56)

Desde el punto de vista de Gargallo, Suárez-Rodríguez y Pérez-Pérez (2009), “las estrategias de aprendizaje pueden entenderse como el conjunto organizado, consciente e intencional de lo que hace el aprendiz para lograr con eficacia un objetivo de aprendizaje en un contexto social dado” (p. 2).

Schunk (2012) hace una diferencia entre estrategias de aprendizaje, como secuencias de procedimientos orientados hacia la consecución de las metas de aprendizaje y las técnicas de aprendizaje o procedimientos específicos dentro de esa secuencia. Las estrategias serían entonces procedimientos de nivel superior que incluyen a las técnicas de aprendizaje.

Observamos en esta diversidad de definiciones dadas por los distintos autores, dos factores coincidentes. Las estrategias de aprendizaje son:

- una secuencia de acciones, actividades, operaciones o planes mentales orientados al logro del aprendizaje,
- que se realizan de forma consciente y deliberada como parte de los procesos de toma de decisiones por parte del alumno.

Por otro lado, existen diferentes técnicas de aprendizaje para que el alumno logre conseguir sus metas. Esto requiere que el alumno ponga en marcha habilidades como reflexión y planificación, mientras que otras están automatizadas permitiendo que el alumno centre su atención en otros aspectos de la tarea (Prieto & Pérez, 1993; citado por Valle et al. 1998, p. 56).

Precisamente, la diferencia entre experto y novato en la resolución de un problema o tarea específica, se refiere al grado de automatización de las destrezas, lo que permite dedicar el espacio de procesamiento a otros aspectos relevantes de la tarea (Pozo, 1989). Aun reconociendo la gran diversidad existente a la hora de categorizar las estrategias de aprendizaje, suele haber ciertas coincidencias entre algunos autores (Valle et al. 1998), que permiten establecer tres tipos principales de estrategias: las estrategias cognitivas (referidas a la integración del nuevo conocimiento con el previo), las estrategias metacognitivas (relacionadas con la planificación, control y evaluación de la propia cognición) y las estrategias de manejo de recursos (estrategias de apoyo que contribuyen al éxito de la tarea).

3.1. LAS ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE Y LA INTELIGENCIA

Para Elshout (1983, citado por Veenman, Kok, & Blöte, 2005, p. 195), la inteligencia puede ser percibida como la magnitud y calidad del repertorio de herramientas cognitivas que contiene las operaciones cognitivas básicas. Este repertorio, prosiguen Veenman, Kok et al. (2005) está determinado, además del sustrato biológico, por las oportunidades que uno busca y que el ambiente ofrece para la adquisición de estrategias cognitivas. El repertorio de herramientas cognitivas que conforman la inteligencia podría ser medido por un test de inteligencia.

Para describir la relación entre la capacidad intelectual y la habilidad metacognitiva hay tres modelos mutuamente excluyentes que aparecen descritos en Veenman, Elshout y Meijer (1997, citado por Veenman & Spaans, 2005, p. 161):

- a) modelo de inteligencia, en el que la habilidad metacognitiva es una manifestación de la capacidad intelectual, por lo que las habilidades metacognitivas no pueden

ser indicadores del aprendizaje independientemente de la capacidad intelectual;

- b) modelo de independencia, según el cual la habilidad metacognitiva y la capacidad intelectual se consideran totalmente independientes; y
- c) modelo mixto, que sugiere que la habilidad metacognitiva y la capacidad intelectual están relacionadas.

Los resultados obtenidos por Veenman y Spaans (2005) concluyen que la contribución de la metacognición al aprendizaje es independiente de la inteligencia (Van der Stel & Veenman, 2008), sin embargo, hay una influencia directa de la inteligencia en el aprendizaje, así como de la metacognición en el aprendizaje, y metacognición e inteligencia están interrelacionados (Meijer, Veenman, & Van Hout-Wolters, 2012; Desoete, 2008). De hecho, las habilidades metacognitivas tienen su propia contribución, por encima de la capacidad intelectual, en el pronóstico del rendimiento del aprendizaje (Van der Stel, 2011, p. 120). “Es posible que dos sujetos que tienen el mismo potencial intelectual, el mismo sistema «instruccional» y el mismo grado de motivación utilicen estrategias de aprendizaje distintas, y, por tanto, alcancen niveles de rendimiento diferentes” (Beltrán, 2003, p. 57).

Por otro lado, Van der Stel y Veenman (2010), en un estudio longitudinal donde los mismos participantes fueron seguidos durante dos años (alumnos de secundaria entre los 12-14 años), muestran un crecimiento global de la cantidad y calidad de habilidades metacognitivas; obteniéndose que los estudiantes de 14 años realizaban más y mejores actividades de planificación, esto es, los alumnos de 14 años supervisaban su propia comprensión lectora con más frecuencia que los de 13 años y además a un nivel superior más efectivo. Además, en este estudio, Van der Stel y Veenman (2010) encontraron un desarrollo paralelo de la habilidad metacognitiva y la capacidad intelectual como predictores del rendimiento del aprendizaje. Las actividades metacognitivas que se requieren durante la ejecución de la tarea (planificación y evaluación) se desarrollan en una fase anterior a las actividades que desempeñan un papel previo (orientación) y posterior (elaboración) a la ejecución de tareas (Van der Stel, Veenman, Deelen, & Haenen, 2010). Posteriores investigaciones

de Vander Stel y Veenman (2014) realizadas con jóvenes estudiantes a lo largo de dos años, encontraron un crecimiento continuo de las habilidades metacognitivas durante el primer año del estudio (desde los 13 hasta 14 años) y de forma discontinua durante el segundo año (desde los 14 a los 15 años). Este estudio además ratificó el modelo mixto. Así pues, desde este modelo mixto, la metacognición y las habilidades intelectuales tienen una contribución individual al aprendizaje y una compartida (Van der Stel & Veenman, 2010; Van der Stel, 2011; Vander Stel & Veenman, 2014).

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE

Para Gagné y Glaser (1987), las estrategias cognitivas se encuentran entre los cinco posibles resultados del aprendizaje, siendo los otros cuatro: destrezas intelectuales, información verbal, actitudes y destrezas motoras. Para estos autores, las estrategias cognitivas son independientes del contenido, diferenciándolas en entrenables (dependen de la inteligencia) y no entrenables (dependen de la experiencia).

La teoría triárquica de la inteligencia de Sternberg (1986; citado por Bravo, 1992, p. 24) según la cual la inteligencia, que puede ser de tipo analítica, creativa y práctica, implica un equilibrio en la forma de tratar la información. Cada tipo de inteligencia conforma una subteoría: componencial, experiencial y contextual. Sternberg (2005), en la subteoría componencial, asocia el funcionamiento de la mente a una serie de componentes: metacomponentes, componentes de rendimiento y componentes de adquisición de conocimiento; siendo los metacomponentes los procesos ejecutivos utilizados en la planificación, la resolución de problemas y la toma de decisiones (Sáiz & Pérez, 2016).

La clasificación de estrategias de aprendizaje según O'Neil y Spielberger (1979; citado por Gu, 2012, p. 332) es en estrategias cognitivas (análisis de la toma de decisiones, elaboración imaginativa y verbal, etc.), estrategias motóricas (encargadas del aprendizaje de habilidades motoras) y estrategias afectivas (empleadas para reducir la ansiedad y el estrés, y para la gestión del tiempo).

Según Danserau (1985) hay dos dimensiones de estrategias: estrategias primarias, que inciden directamente sobre los contenidos de aprendizaje (comprender, retener, asimilar, expandir y repasar) y las estrategias de apoyo, relacionadas con los aspectos anímicos que influyen en la aplicación de las anteriores (planificación y gestión, concentración y control). Para Dansereau (1985) las estrategias de aprendizaje son de una naturaleza más elevada y general que las técnicas específicas, relacionadas de un modo más concreto con las tareas (formulación de cuestiones, planificación, control, comprobación, revisión y autoevaluación). Este autor clasifica las estrategias de aprendizaje según su complejidad: microestrategias (procesos específicos de cada tarea que no son generalizables, como formular cuestiones y planificar), macroestrategias (procesos relacionados con la metacognición, de fácil generalización, como control, comprobación, revisión y autoevaluación) y estrategia central (relacionada con el estilo de aprendizaje en cuanto a actitudes y motivaciones).

Weinstein y Mayer (1986, como se citó en Brophy, 2000, p. 26) clasifican las estrategias de aprendizaje en estrategias de repetición (repasar los contenidos para recordarlo más eficazmente), estrategias de elaboración (verbalizar con sus propias palabras y relacionar con los conocimientos previos), estrategias de organización (hacer esquemas y estructurar los contenidos), estrategias de control de la comprensión (hacer un seguimiento de las estrategias empleadas y los logros obtenidos para ajustar las estrategias en consecuencia) y estrategias afectivas (mantener la concentración y atención en la tarea y minimizar la ansiedad por el desempeño).

Beltrán (2003) hace una clasificación de las estrategias agrupándolas en:

- Estrategias cognitivas, relacionadas con la capacidad, de elaboración (selección, organización y elaboración) y de personalización (creatividad, pensamiento crítico, recuperación y transferencia).
- Estrategias metacognitivas, relacionadas con la autonomía: planificación, regulación/evaluación.
- Estrategias de apoyo, relacionadas con la voluntad: motivación, afectividad/

control emocional, actitudes.

Para Román y Gallego (1994), Román y Poggioli (2013), las estrategias de aprendizaje se clasifican, según cómo el cerebro procesa la información, en estrategias de adquisición, de retención, de recuperación y de apoyo; y definen el marco teórico de construcción de las Escalas de estrategias de aprendizaje, ACRA: Adquisición, Codificación, Recuperación y Apoyo, en las que Gargallo et al. (2009, p. 3) integra las clasificaciones dadas por los distintos autores abarcando “las tres dimensiones fundamentales de la mente humana relacionadas con el aprendizaje: voluntad, capacidad y autonomía (querer, poder y decidir)”. Esta clasificación de estrategias está recogida en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación de las estrategias de aprendizaje

| Estrategias de aprendizaje | Subclasificación | Tipo | |
|---|---|---|---|
| 1. Estrategias afectivas, de apoyo y control | 1.1. Estrategias motivacionales | 1.1.1. Motivación | |
| | | 1.1.2.-Valor de la tarea | |
| | | 1.1.3. Persistencia en la tarea | |
| | | 1.1.4. Atribuciones | |
| | | 1.1.5. Autoeficacia y expectativas | |
| | | 1.1.6. Concepción de la inteligencia como modificable | |
| | 1.2. Componentes afectivos | 1.2.1. Estado físico y anímico | |
| | | 1.2.2. Ansiedad | |
| | 1.3. Estrategias metacognitivas | 1.3.1. Conocimiento | 1.3.1. Conocimiento |
| | | | 1.3.2. Control (Estrategias de planificación, evaluación, control y regulación) |
| 1.4. Estrategias de control del contexto, interacción social y manejo de recursos | | 1.4.1. Control del contexto | |
| | | 1.4.2. Habilidades de interacción social y aprendizaje con compañeros | |
| 2. Estrategias cognitivas (relacionadas con el procesamiento de la información) | 2.1. Estrategias de búsqueda, recogida y selección de información | 2.1.1. Conocimiento de fuentes | |
| | | 2.1.2. Selección de información | |
| | 2.2. Estrategias de procesamiento y uso de la información | 2.2.1. Adquisición de información | |
| | | 2.2.2. Codificación, elaboración y organización de la información | |
| | | 2.2.3. Personalización y creatividad | |
| | | 2.2.4. Repetición y almacenamiento | |
| | | 2.2.5. Recuperación de la información | |
| | | 2.2.6. Uso y transferencia de la información adquirida | |

Nota: Adaptado de (Gargallo, 2000; adaptado en Gargallo et al., 2009, p. 9).

CAPITULO 4
AUTORREGULACIÓN Y
METACOGNICIÓN

4. AUTORREGULACIÓN Y METACOGNICIÓN

Flavell (1979; citado por Schellings, Van Hout-Wolters, Veenman, & Meijer, 2013, p. 964) define la metacognición como el conocimiento y la regulación de uno mismo de las actividades cognitivas en los procesos de aprendizaje; es decir, la capacidad del sujeto para reflexionar sobre sus propios procesos mentales, permitiéndole un control consciente y deliberado de sus procesos intelectuales. La metacognición es un agente de orden superior que vigila y gobierna el sistema cognitivo sin dejar de formar parte de él, “la cognición de orden superior sobre la cognición” (Veenman, Van Hout-Wolters, & Afflerbach, 2006, p. 5). Generalmente se acepta la distinción entre conocimiento metacognitivo y habilidades metacognitivas.

Según Schraw (1998, p. 114), la mayoría de investigadores distinguen dos componentes de la metacognición: conocimiento de cognición y regulación de cognición. El conocimiento de cognición se refiere a lo que los individuos saben acerca de su propia cognición o acerca de la cognición en general. Incluye al menos tres diferentes clases de conciencia metacognitiva: conocimiento declarativo, conocimiento procedimental y conocimiento condicional. El conocimiento declarativo se refiere al conocimiento acerca de las cosas, mientras que el conocimiento procedimental se refiere a cómo hacer las cosas y el conocimiento condicional al conocimiento de por qué y cuándo.

El conocimiento metacognitivo es el conocimiento declarativo que uno tiene acerca de la interacción entre las características personales (referidos a los conocimientos o creencias que una persona tiene sobre sus propios conocimientos), las características de la tarea (los conocimientos que un aprendiz posee sobre las características intrínsecas de las tareas y de estas en relación a sí mismo) y las estrategias disponibles en una situación de aprendizaje (los que tiene sobre los distintos tipos de estrategia y técnicas que posee para su utilización ante distintas tareas cognitivas) (Flavell, 1979, como se citó en Van der Stel & Veenman, 2014). El término “uso de estrategias” se refiere al conjunto de aplicaciones controladas y conscientes del conocimiento procedimental; en contraste con las habilidades, que son automáticas en mayor o menor medida (Gagné et al., 1993, citado por Veenman,

2011, p. 205). Sin embargo, ambos términos se utilizan indistintamente cuando se refieren a procesos relacionados con la resolución de problemas y el aprendizaje. Para Veenman (2011, p. 205), “hay un área gris entre el uso controlado de estrategias y el desempeño de habilidades”. Como consecuencia, los estudiantes no son totalmente conscientes de la totalidad de los procesos, lo que, por otro lado, puede afectar a la verbalización de estos procesos en los autorreportes (Veenman, 2011). Este conocimiento puede no corresponder con la realidad (Baker & Brown, 1984), además de que, tenerlo, no garantiza su utilización cuando es necesario (Barnett, 2000; citado por Van der Stel y Veenman, 2014, p. 118).

El marco teórico de Veenman y Beishuizen (2004, citado por Schellings et al., 2013, p. 965) distingue cuatro categorías principales de habilidades metacognitivas:

- Actividades de orientación y planificación, que se refieren a la activación de los conocimientos previos.
- Actividades de ejecución, que se corresponden con actividades de “construcción del significado del texto”, como la ejecución de un plan de acción, la lectura de solo una parte del texto y tomar notas.
- Actividades de supervisión, como la detección de fallos en la comprensión, detección de errores.
- Actividades de elaboración y evaluación, como concluir, conectar mediante razonamiento y resumir (en las primeras) y la comprobación de si hay una comprensión del texto y juzgar si se alcanzan los objetivos de la lectura (en las segundas).

Todas las actividades metacognitivas de regulación se describen en la categorización triple de Flavell (1979; citado por Schellings et al., 2013, p. 964): planificación (selección de estrategias apropiadas y asignación de recursos que afectan al rendimiento, como hacer predicciones antes de la lectura, secuenciación y asignación de tiempos o atención antes de comenzar una tarea), seguimiento (conciencia del alumno sobre la actuación y la comprensión de la tarea) y evaluación

(valoración de los resultados de aprendizaje y los procesos de regulación del propio aprendizaje, como son la reevaluación de los propios objetivos y conclusiones) (Schraw & Moshman, 1995; citado por Schellings et al., 2013, p. 964). Las habilidades metacognitivas pueden ser inferidas a partir de las conductas o manifestaciones de los estudiantes a través de actividades metacognitivas concretas (Van der Stel & Veenman, 2014).

Por otro lado, se observa gran disparidad (baja correlación) entre distintos métodos para evaluar la actividad metacognitiva del estudiante. Según Schellings et al. (2013), esto puede ser debido a que métodos distintos (por ejemplo cuestionarios y pensar en voz alta) midan diferentes actividades metacognitivas, o bien que ambos métodos están dirigidos a una tarea de aprendizaje específico (la medida *off-line* puede tener por objeto el aprendizaje general mientras que la medición *on-line* está ligada a la tarea realizada en la evaluación).

Según Meijer, et al. (2012, p. 605), pueden distinguirse al menos cuatro modelos para la relación entre inteligencia, metacognición y aprendizaje. El primero, también llamado modelo de inteligencia, asume que solo la inteligencia tiene influencia en el aprendizaje. En el segundo modelo, modelo de metacognición, se postula que solo la metacognición determina el aprendizaje. En el tercer modelo, también llamado modelo de independencia, se asume que la inteligencia y la metacognición no están relacionados y que cada uno tiene una influencia independiente en el aprendizaje. El cuarto modelo, también llamado modelo mixto presupone que la inteligencia y la metacognición interactivamente determinan el aprendizaje. Este último es el que parece más evidenciado en las investigaciones (Prins, Veenman, & Elshout, 2006; Van der Stel (2011); Van der Stel & Veenman, 2014). Sin embargo, las investigaciones en torno a la correlación entre metacognición, inteligencia y resultados del aprendizaje no son concluyentes (Meijer, et al., 2012). El diagrama de la Figura 6 representa la relación entre inteligencia, metacognición y aprendizaje según la perspectiva de cada uno de estos modelos.

Las habilidades metacognitivas de autorregulación hacen referencia al conocimiento procedimental que se requiere para la regulación efectiva y el

control de las actividades de aprendizaje de uno mismo (Baker & Brown, 1984). Manifestaciones de estas habilidades son: análisis, establecimiento de objetivos, planificación, supervisión, comprobación y recapitulación.

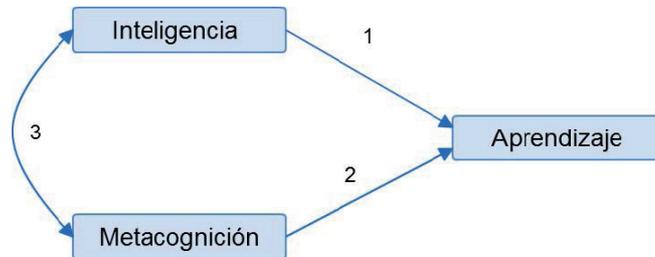


Figura 6. Relación entre inteligencia, metacognición y aprendizaje. Modelo de inteligencia: parámetros (2) y (3) nulos. Modelo de metacognición: parámetros (1) y (3) nulos. Modelo de independencia: parámetro (3) nulo. Modelo mixto: ningún parámetro nulo. Traducido de Meijer et al. (2012, p. 605).

Hacker (1998) y Mazzioni (1999), como se citó en Escorcía (2010, p. 267), distinguen entre la toma de informaciones o la activación de conocimientos (procesos de monitoring) y la autorregulación propiamente dicha, es decir, las acciones cognitivas implicadas en el progreso de la acción.

Para Zimmerman (2000), Zimmerman y Kitsantas (2014), la autorregulación es un proceso formado por pensamientos autogenerados, emociones y acciones que están planificadas y adaptadas cíclicamente para lograr los objetivos personales, es decir, hace referencia a las estrategias de aprendizaje que se activan cuando se está resolviendo un problema. De forma análoga, Pintrich (2004; citado por Vandeveld, Van Keer, Schellings, & Van Hout-Wolters, 2015, p. 11) afirma que el aprendizaje autorregulado (SRL: *Self-regulated learning*) generalmente puede ser descrito como un proceso “mediante el cual los estudiantes establecen metas para su aprendizaje y luego tratan de monitorizar, regular y controlar su cognición, motivación y comportamiento, guiado y limitado por sus objetivos y las características contextuales en el medio ambiente”. En el aprendizaje autorregulado juega un papel importante la interacción dinámica con el entorno social y físico (Zimmerman, 2013).

Es necesario incorporar estos conceptos en el mundo educativo y lograr que el alumno sea responsable de sus propios procesos de aprendizaje. “Las exigencias de la sociedad imponen a la educación el objetivo de fomentar en sus alumnos la

capacidad para gestionar sus propios procesos de adquisición del conocimiento o de verdadera gestión metacognitiva” (Pozo, 2006, p. 50).

La autorregulación da respuesta a cómo lograr una mayor comprensión de los procesos mentales que utilizan los alumnos y a qué se deben las diferencias de rendimiento académico observadas. En este sentido, las investigaciones de Veenman y Spaans (2005) sobre la relación entre habilidades intelectuales y metacognitivas, sugieren que los resultados del aprendizaje mejoran con el desarrollo de las habilidades metacognitivas y, en parte, independientemente de la capacidad intelectual de los alumnos, por lo que los estudiantes, especialmente los jóvenes, deben ser instruidos para adquirir habilidades metacognitivas generales, que puedan ayudarles a gestionar tareas nuevas y desconocidas inicialmente fuera de su alcance (Veenman, Kok et al., 2005). Son las habilidades metacognitivas las que guían al estudiante a iniciar el aprendizaje cuando se enfrenta a un problema novedoso con el que no están familiarizados [umbral de problematicidad, Elshout (1987; citado por Veenman, Kok et al., 2005, pp. 206-207)], de forma que, distintas estrategias de apoyo suministradas a los estudiantes permiten a aquellos con conocimientos previos más pobres y habilidades metacognitivas más bajas, alcanzar el mismo nivel de competencia en la resolución de problemas que los estudiantes con mayor conocimiento previo (Bulu & Pedersen, 2012).

La metacognición parece tener una influencia directa en la autorregulación del proceso de aprendizaje. Las experiencias metacognitivas influyen tanto en el conocimiento declarativo como en el procedimental: los estudiantes tienen que revisar su experiencia personal en la solución de tareas similares, así como su conocimiento previo en el tema, para resolver el problema.

El aprendizaje autorregulado es un proceso activo y constructivo en el cual se pueden distinguir diferentes niveles de control. Es necesario el conocimiento en regulación del autoaprendizaje para que la autorregulación sea efectiva. Los estudiantes tienen que saber cómo estudiar, tienen que usar estrategias de autorregulación de forma eficaz.

Wäsche et al. (2014; citado por Sáiz & Montero, 2015, p. 111) distinguen entre los siguientes componentes del proceso de autorregulación:

- Establecimiento de objetivos: ayuda al estudiante a decidir cuales estrategias son más adecuadas para resolver un problema de forma eficaz.
- *Self-set* de objetivos de aprendizaje: guía el proceso de aprendizaje y promueve la reflexión acerca de cómo y porqué elegir objetivos de éxito.
- Estrategias de aprendizaje: estrategias metacognitivas de adquisición, codificación, recuperación y soporte para el procesamiento de la información.
- Tipo de tarea: el aprendizaje profundo es distinto del aprendizaje superficial, así como las estrategias involucradas en uno y otro.
- Auto-reflexión sobre el logro de objetivos: ayuda a los estudiantes a regular su aprendizaje.

En el marco de la eficacia de la gestión metacognitiva, juega un papel crucial la motivación o disposición que lleva a un estudiante a implicarse en el aprendizaje, es decir, la causa por la cual el estudiante aborda la tarea, y por la que mantiene una actividad cognitiva amplia, destinando recursos a un quehacer definido (Ugartetxea, 2002). Biggs, (1989, como se citó en Ugartetxea, 2002, p. 67) considera que debe existir una relación entre las estrategias empleadas y la motivación para lograr un determinado tipo de aprendizaje. En este contexto se podría hablar de autoeficacia, que es definida por Bandura (1997; citado por Zimmerman, 2000, p. 83; Zimmerman 2013, p. 137) como la propia creencia en la capacidad de uno para organizar y ejecutar las líneas de acción para alcanzar los objetivos designados.

Bandura (1986; citado por Zimmerman, 2000, p. 84) presenta el marco teórico para explicar la autorregulación de los alumnos. La teoría sociocognitiva de Bandura expone la dependencia establecida entre las variables sociales, ambientales y personales, conceptualizando la autorregulación como un proceso cíclico entre

el comportamiento, el ambiente y las variables personales. Esta perspectiva sociocognitiva del aprendizaje autorregulado está representada en el modelo cíclico de tres fases de la autorregulación (Zimmerman, 2000, Zimmerman, 2013): autoeficacia (*self-efficacy*), acción y auto-reflexión. La última revisión del modelo (Zimmerman & Molyan, 2009, como se citó en Panadero & Alonso-Tapia, 2014, p. 451) incluye más procesos en la fase de ejecución además de dar una definición más precisa de la interacción entre los elementos y procesos presentes en dicho modelo. Estas fases se encuentran representadas en la Figura 7.

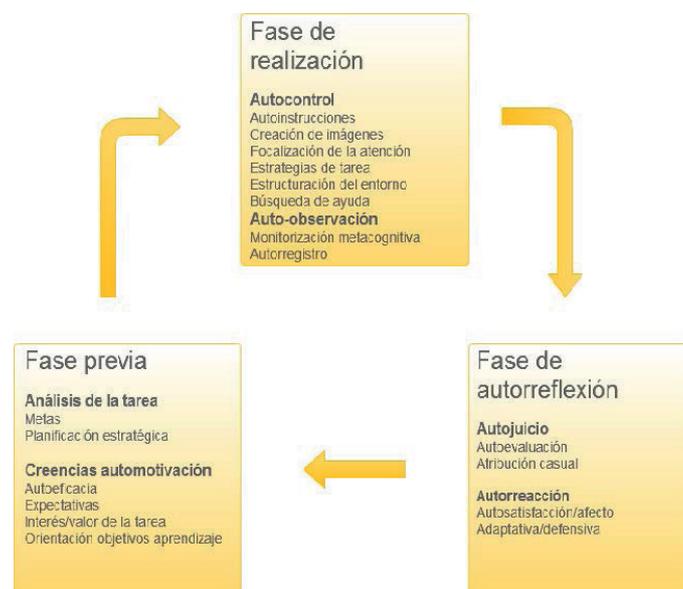


Figura 7. Modelo de aprendizaje autorregulado (fases y subprocesos de autorregulación). Adaptado de: Zimmerman (2003, citado por Zimmerman, 2013, p. 142).

La fase previa (*Forethought phase*) es el inicio del proceso de autorregulación y recoge dos categorías: procesos de análisis de tareas y automotivación.

El análisis de tareas consiste en, a partir del conocimiento previo, el establecimiento de metas y estrategias de planificación (existe la evidencia de mayor éxito académico de los alumnos que se fijan metas).

La automotivación surge de las creencias de los estudiantes sobre el

aprendizaje, como las creencias de autoeficacia respecto a su capacidad de aprender, y las expectativas sobre las consecuencias personales del aprendizaje (Bandura, 1997; citado por Zimmerman, 2002, p. 68). Los alumnos deben poseer o desarrollar creencias motivacionales con el fin de establecer metas desafiantes y mantener los esfuerzos de autorregulación para alcanzarlas (Zimmerman & Kitsantas, 2014).

El análisis de la tarea ayuda a la planificación y esta a la autorregulación, pero el factor que determina el plan que se establece, el grado de implicación y el tipo de autorregulación que se activa, es la motivación y las variables que controlan esta (Panadero & Alonso-Tapia, 2014). Para estos investigadores, una de las carencias de este modelo es que, en esta primera fase, no pondera adecuadamente el papel que pueden jugar las emociones, lo que puede ser debido a que los efectos motivacionales de las emociones son más difíciles de evaluar.

En la **fase de realización o ejecución** (*Performance phase*), los procesos se dividen en dos principales: autocontrol y auto-observación. El primero de ellos se refiere a la implementación de los métodos o estrategias seleccionados durante la fase previa. Los principales tipos de métodos de autocontrol son la utilización de estrategias específicas, la creación de imágenes mentales, la autoinstrucción (órdenes o descripciones autodirigidas sobre la tarea), la focalización de la atención [lo que se consigue creando un ambiente con el menor número de distracciones y que facilite el desempeño (Panadero & Alonso-Tapia, 2014)], la gestión del tiempo, pedir ayuda, incentivar el interés y pensar en las auto-consecuencias. El uso de estrategias de autorregulación aumenta la calidad del aprendizaje de los estudiantes en los distintos dominios.

La auto-observación se refiere a los hechos personales de automonitorización o autosupervisión, que es una autoevaluación del proceso que se está realizando y el autorregistro o la autoexperimentación para averiguar qué ocurre (y cómo) mientras se realiza la tarea. El autocontrol es una forma de auto-observación que se refiere al autoseguimiento cognitivo del funcionamiento personal. Panadero y Alonso-Tapia (2014) indican que en esta fase del modelo no se considera el peso de las emociones, que sí se tienen en cuenta en el modelo de Kuhl (2000, como se citó en Panadero &

Alonso-Tapia, 2014), en el cual la autorregulación y las variaciones en la motivación se ven facilitadas además por los procesos psicológicos ligados a la volición: el control de la atención, el control de la motivación, el control de las emociones y el control de los fracasos. Además, el modelo de Zimmerman no profundiza sobre la estrategia de regulación del tiempo, mientras que investigaciones recientes (Van der Meer, Jansen, & Torenbeek, 2010; citado por Panadero & Alonso-Tapia, 2014, p. 457) muestran que esta estrategia está compuesta por otras más complejas fundamentales para el éxito académico.

Por último, **la fase de auto-reflexión** (*Self-reflection phase*), durante la cual el alumno valora su trabajo y trata de explicarse el porqué de los resultados obtenidos, justificando así el éxito o fracaso obtenido. En esta fase existen dos procesos principales: el autojuicio y la autorreacción. La autoevaluación, una forma de autojuicio, se refiere a la comparación del desempeño observado frente a un estándar determinado. “Cuando un profesor fomenta la autoevaluación, debe utilizar este proceso como una estrategia de enseñanza cuyo objetivo final es el de guiar a los estudiantes en la tarea de aprender a autoevaluar su trabajo con el fin de mejorar su autorregulación” (Panadero & Alonso, 2013, p. 555). Otra forma de autojuicio es la atribución casual, que se refiere a las creencias sobre la causa de errores o éxitos de uno mismo, es decir, la explicación que el alumno se da a sí mismo sobre el éxito o el fracaso en el desempeño. Este autojuicio estará muy relacionado con la motivación. Si se atribuye una mala puntuación a una limitación en la capacidad, puede resultar perjudicada la motivación; no así si esta atribución se hace a procesos controlables como el uso de estrategias erróneas.

En cuanto a la autorreacción, una forma está referida a las sensaciones de autosatisfacción y afecto positivo respecto al rendimiento, y otra toma la forma de respuestas adaptativas/defensivas. De estas, las primeras se refieren a la realización de ajustes para aumentar la eficacia en el propio método de aprendizaje mientras que las respuestas defensivas conducen a no volver a realizar la tarea. Como vemos, la autorreacción generada afectará a futuras ejecuciones de la tarea, modificando las expectativas de autoeficacia y de resultado del estudiante. Además, las creencias del estudiante respecto a su confianza y precisión son el mayor precursor del aprendizaje (Hattie, 2013).

Sáiz y Montero (2015) consideran que la generalización del aprendizaje y los procesos de transferencia de estos no son automáticos incluso aunque el aprendizaje se haya producido con éxito. Las respuestas de aprendizaje dependen del conocimiento que está disponible en el dominio del aprendizaje en el espacio cognitivo y metacognitivo de los estudiantes. Con respecto al trabajo cooperativo, la regulación de las actividades puede tener lugar en diferentes niveles de interacción social: el nivel individual, el nivel diádico, y el nivel de grupo (Saab, 2012). En este contexto, prosigue Saab, los estudiantes tienen que coordinar su colaboración para conseguir una meta. Esta forma de colaboración necesaria para adquirir el conocimiento compartido se denomina corregulación. La corregulación ha sido investigada también por Lajoie y Lu (2012) en contextos de toma de decisiones en simulaciones de emergencias médicas; investigaciones en las que llegan a la conclusión de que la tecnología (en concreto ordenadores portátiles y pizarras con los que los alumnos pueden interaccionar con el problema que pretenden resolver) da lugar a formas más eficaces de corregulación. Además, la instrucción de laboratorio basada en problemas cooperativos mejora la habilidad de resolución de problemas y la actividad metacognitiva reguladora: la provisión de un ambiente propicio para la interacción social y la reflexión permite a los estudiantes mejorar las habilidades y estrategias de resolución de problemas (Sandi-Urena et al., 2012).

Otro aspecto importante en la autorregulación es la calibración (Hattie, 2013) que recibe el estudiante, o información acerca de “dónde está ahora” y “donde deberá estar”. La calibración expresa el grado en el cual la valoración de los estudiantes sobre su propia capacidad o desarrollo representa su competencia (Pieschl, 2009; citado por Harks, Rakoczy, Hattie, Besser, & Klieme, 2014, p. 271), por lo que está fuertemente relacionada con el concepto de auto-evaluación. La calibración de la confianza y precisión de los estudiantes puede ser un importante facilitador o barrera del aprendizaje, especialmente para los estudiantes con dificultades.

Para ello es importante que el profesor:

- antes del comienzo del proceso de enseñanza, indique a los estudiantes lo que exactamente deben aprender,

- indique claramente los criterios de éxito del alumno,
- consideren lo que los estudiantes ya saben y creen en relación a los objetivos,
- se aseguren de que la enseñanza está dirigida a reducir la brecha entre lo que los estudiantes saben y entienden y lo que los profesores quieren que sepan y entiendan,
- se aseguren de que el *feedback* reducirá esta brecha (Sadler, 1989; citado por Hattie, 2013, p. 62).

La importancia del *feedback* en las intervenciones es destacada en el modelo de Hattie y Timperley (Hattie & Timperley, 2007; citado por Hattie & Gan, 2014, p. 862). Estos autores indican que este *feedback* es eficaz cuando dirige la atención del alumno a los resultados cognitivos relacionados con las tareas, las estrategias de procesamiento de tareas y la estrategia de autorregulación adoptada. En este modelo se distingue entre distintos niveles de *feedback*. El primer nivel de *feedback* puede involucrar a los estudiantes en el nivel de tarea, proveyendo, por ejemplo, información sobre la respuesta correcta. En el segundo nivel, el *feedback* se dirige a los procesos, como proporcionar estrategias de procesamiento y pistas para la búsqueda de información. El tercer nivel de *feedback* se centra en la autorregulación y el cuarto nivel se considera dirigido al *self*. Este último nivel de *feedback* involucra por lo general alabanza (“bien hecho”, “buen trabajo”). El *feedback* entre pares (*by peers*) también ha resultado eficaz en la mejora del desempeño (Hattie & Gan, 2014, p. 875).

Sáiz y Montero (2015) distinguen entre cuatro niveles de *feedback*: ejecución de la tarea, proceso de comprensión, proceso regulatorio o metacognitivo y autorregulación. De estos, el tercero y cuarto generan el mayor nivel de *feedback*, dando información sobre un dominio específico o tarea a completar y respuestas a cuestiones como cómo y por qué ciertas estrategias son adecuadas; además, da al estudiante información sobre sus debilidades y estrategias de resolución de problemas (Sáiz & Marticorena, 2016). Los educadores reconocen que las creencias

de los estudiantes acerca de sus capacidades académicas juegan un papel esencial en su motivación. Los estudiantes motivados para lograr un objetivo realizan actividades autorreguladoras pensando que le ayudarán en el proceso (organización, planteamiento, enfoque, repaso, supervisión y evaluación y ajuste de la estrategia). Por otro lado, la autorregulación facilita el aprendizaje con lo que la creencia de una mayor competencia mantiene la motivación y la autorregulación para alcanzar nuevos logros (Figura 8). Es importante involucrar a los profesores para que potencien en los estudiantes, desde las más tempranas edades, las creencias de automotivación positivas, ampliando su repertorio de estrategias de aprendizaje y ayudándoles a aplicarlos a las tareas escolares de una manera autorregulada.



Figura 8. Autorregulación, autoeficacia y aprendizaje.

Con base en lo antes expuesto, un individuo que conozca y aplique las estrategias adecuadas para la metacognición y autorregulación en su aprendizaje tendrá una mayor probabilidad de éxito en su proceso de formación, así pues la eficacia de ambos procesos dependerá directamente del alumno involucrado, el alumno es el protagonista del control de su propia enseñanza. A esta conclusión llegan los estudios de diversos autores (Greene, Robertson, & Croker Costa, 2011; Pintrich, 2004, citados en Vandavelde et al., 2015, p. 11).

Para Veenman y Spaans (2005) y Veenman, Kok et al. (2005), las habilidades metacognitivas parecen ser altamente interdependientes. Por medio de la orientación

exhaustiva en la tarea, un estudiante metacognitivamente experto es probable que se centre en la información pertinente que figura en la asignación de dichas tareas, necesaria para la construcción de una representación adecuada de las mismas (Veenman, Wilhelm, & Beishuizen, 2004). En consecuencia, puede diseñarse un plan de acción detallado, que contenga los objetivos y orientaciones para las actividades de aprendizaje posteriores; y más teniendo en cuenta que los estudiantes con baja regulación de cognición se pueden beneficiar de las estrategias de apoyo de dominio general de la misma forma que los estudiantes con alta regulación de cognición (Bulu & Pedersen, 2012).

CAPITULO 5
REVISIÓN DE ALGUNAS
METODOLOGÍAS DOCENTES DE
ENSEÑANZA-APRENDIZAJE
EN CIENCIAS

5. REVISIÓN DE ALGUNAS METODOLOGÍAS DOCENTES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE EN CIENCIAS

El término enseñanza tradicional de la física, suele referirse a aquella en la que el estudiante tiene un papel pasivo, es una enseñanza transmisiva centrada en contenidos conceptuales y que no tiene en cuenta la naturaleza de la ciencia ni cómo se aprende esta. Frente a esta enseñanza tradicional, han surgido nuevos enfoques y metodologías que pretenden aproximarse a la forma en la que se construye la ciencia y hacer partícipe al alumno de esta construcción. Algunas de estas metodologías, como la enseñanza por descubrimiento, en la que el alumno debe enfrentarse a los mismos problemas que se enfrenta el científico para que llegue a las mismas soluciones (Pozo & Crespo, 1998) y de la que ya hemos hablado anteriormente, siguen siendo tema de debate y reflexión. Si bien es cierto que resultaría totalmente ineficaz abandonar al alumno frente a la observación de un fenómeno físico, sí que es cierto que, con la debida guía y orientación puede lograr un aprendizaje significativo.

Algunas de las metodologías descritas a continuación (enseñanza basada en la resolución de problemas, investigación dirigida y aprendizaje basado en la indagación), presentan algunas características en común:

- intervienen en la zona de desarrollo próximo del alumno (Vygotsky, 1979),
- el alumno es el protagonista del proceso de enseñanza-aprendizaje construyendo la ciencia y aplicándola, en la mayoría de los casos, a situaciones de la vida real,
- el profesor guía al alumno en el proceso de aprendizaje orientándole hacia el descubrimiento a través de un continuo *feedback*.

5.1. ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS BASADA EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la enseñanza transmisiva, habitualmente el término resolución de problemas de física se refiere a la resolución de problemas cuantitativos similares a los que el profesor ha resuelto, a modo de ejemplo, tras explicar el tema correspondiente, que son similares a

los que aparecen al final del capítulo del libro de texto en uso. La creencia es que esto conduce a una comprensión conceptual de la física, cuando muchas veces no es más que una sintetización y mecanización de una serie de pautas que, a través de una fórmula matemática, llevan a una solución numérica que generalmente el alumno es incapaz de interpretar.

En realidad, la acepción de problema a la que se alude en el contexto de esta metodología es “cualquier situación prevista o espontánea que produce, por un lado, cierto grado de incertidumbre y, por el otro, una conducta tendente a la búsqueda de su solución” (Perales, 1993, p. 170). Los estudios clínicos de Anderson, Lee y Fincham (2014) definieron las cinco fases del proceso de resolución de problemas matemáticos analizando la actividad de distintas regiones del cerebro. Estas fases o etapas son: Definición, Codificación, Cómputo, Transformación y Respuesta. En la fase de definición el estudiante está definiendo el problema que va a resolver y lo que va a desechar; en la fase de codificación, el estudiante codifica los números y operaciones para producir una respuesta; durante la fase de cómputo están involucradas las áreas relacionadas con el cálculo aritmético y algebraico, el estudiante calcula los valores; en la fase de transformación, los estudiantes realizan transformaciones estructurales de la respuesta; y, por último, en la fase de respuesta, los estudiantes dan una solución al problema.

Para Reif (2008), una estrategia básica de resolución de problemas descompone el proceso de resolución en varias fases sucesivas (subproblemas), que podemos ver representadas en la Figura 9. Estas fases son:

- a) Descripción del problema. Esta fase inicial (y esencial) de la estrategia anima a producir una descripción clara del problema.
- b) Análisis del problema. En esta fase se hace una descripción analítica del problema utilizando el conocimiento que se posee.
- c) Construcción de la solución. La fase más importante y compleja de la estrategia, en la que se toman las decisiones más adecuadas como consecuencia de la descomposición del problema en subproblemas.

- d) Evaluación de la solución o comprobación de los resultados según los criterios generales.
- e) Aprovechamiento de la solución, fase que, aunque no es necesaria para la solución de un problema particular, puede ser útil para la resolución de futuros problemas.

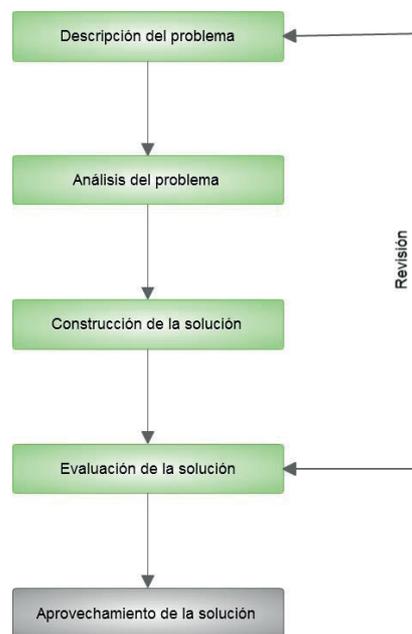


Figura 9. Estrategia básica de resolución de problemas. Adaptado de Reif (2008).

El Aprendizaje Basado en Problemas tiene su origen en la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster de Canadá (Boud & Feletti, 1997; citado por Savery, 2015, p. 5). Pretende ser una propuesta educativa innovadora en la que el aprendizaje está centrado en el alumno, de forma que, además de que este aprendizaje sea significativo, permita desarrollar una serie de habilidades y competencias necesarias en el entorno profesional actual. Barrows (1986; citado por Campos, 2006, p. 1) define al Aprendizaje Basado en Problemas (ABP, o PBL, por sus siglas en inglés: *Problem-based learning*) como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”.

Las características fundamentales de este modelo son:

- El aprendizaje está centrado en el alumno, guiado por un tutor. Es el alumno el que determina qué es lo que debe aprender y hasta qué punto debe llegar para ser capaz de resolver el problema.
- El aprendizaje se produce en pequeños grupos, que cambian de compañeros y tutor con cada nueva unidad curricular. Durante el aprendizaje auto-dirigido, los estudiantes discuten, revisan y debaten continuamente lo que han aprendido.
- El rol del profesor es el de facilitador o guía. A través de la formulación de preguntas logra que los alumnos se planteen cuestiones y elijan el mejor camino hacia la resolución del problema.
- El foco de organización del aprendizaje lo conforman los problemas. El profesor plantea un problema que representa un desafío para los estudiantes y los motiva para el aprendizaje. La organización necesaria para resolver el problema obliga a integrar múltiples disciplinas.

Con las mismas siglas, ABP o PBL, algunos autores se refieren al aprendizaje basado en proyectos (Aliane, 2006; Bernabeu, Sánchez, Carmona, & Cuerda, 2007; Maldonado, 2008). Otros, sin embargo, matizan las diferencias entre Aprendizaje Basado en Problemas y Aprendizaje Basado en Proyectos, apareciendo, en ocasiones, modificadas las siglas de este último, ABPr (Rodríguez-Sandoval, Vargas-Solano, & Luna-Cortés, 2010).

Aunque existen distintos esquemas o marcos que detallan las fases o etapas que sigue la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos, se describe a continuación el *Gold Standard PBL* (Larmer, Mergendoller, & Boss, 2015) promovido por ASCD (*Association for Supervision and Curriculum Development*), asociación sin ánimo de lucro que se fundó en 1943. En la Figura 10 se muestra el esquema original con las distintas fases de esta metodología. En el interior leemos los beneficios de este método de aprendizaje: *key knowledge, understanding and success skills* (conocimientos clave, comprensión y habilidades de éxito).

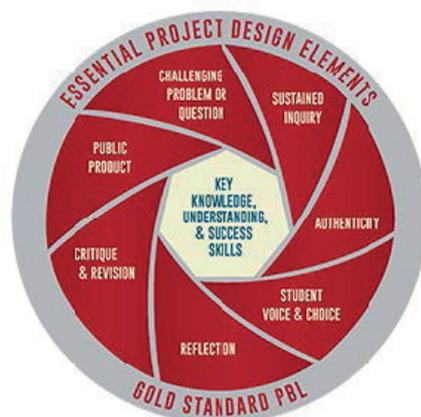


Figura 10. Secuencia de fases Gold Standard PBL. Fuente Buck Institute for Education (BIE).

Las fases desarrolladas durante la aplicación de esta metodología son las siguientes:

Problema o cuestión a responder (*Challenging problem or question*). Se trata de plantear un problema o cuestión para investigar y resolver. Puede ser un problema concreto o general, que tenga un grado medio de dificultad atendiendo a las competencias conceptuales y procedimentales de los alumnos.

Indagación/investigación (*Sustained inquiry*). Esta fase de búsqueda de información o investigación es un proceso que puede llevar varios días dependiendo del problema planteado. En PBL, esta es una fase iterativa: cuando los estudiantes abordan el problema, se hacen preguntas que deben responderse buscando recursos, para, a continuación, hacerse preguntas más profundas. El proceso se repite hasta llegar a una solución satisfactoria. Los proyectos pueden incorporar diferentes fuentes de información, como libros, páginas web, además de recursos del “mundo real” como trabajo de campo, entrevistas con expertos, investigadores, empresas, etc. Los estudiantes pueden además realizar investigaciones de mercado analizando las necesidades de los usuarios.

Autenticidad (*Authenticity*). El término “autenticidad” se refiere al hecho de que el aprendizaje o la tarea que se está realizando se está llevando a cabo como

“en el mundo real”, en el sentido en que los estudiantes se enfrentan a la resolución de problemas como los que resuelven los adultos en el mundo laboral, implicando procesos, herramientas y modos de hacer. Esto aumenta la motivación por el aprendizaje.

Voz y elección de los estudiantes (*Student voice & choice*). Los estudiantes participan y controlan muchos de los aspectos del proyecto, desde las preguntas que generan, los recursos que utilizan para encontrar respuestas, las tareas y roles que asumen dentro del grupo, así como los productos que van a desarrollar. Incluso los estudiantes más avanzados pueden ir más allá y seleccionar el tema y la naturaleza del proyecto en sí.

Reflexión (*Reflection*). Para Dewey (1916/1995) el conocimiento se adquiere a partir de la reflexión sobre la experiencia. A lo largo del desarrollo del proyecto, tanto los alumnos como el profesor deben reflexionar sobre lo que están aprendiendo, cómo están aprendiendo y por qué están aprendiendo.

Crítica y revisión (*Critique & revision*). Es la fase de evaluación formativa. Los alumnos aprenden a dar y recibir *feedback* constructivo de sus compañeros, lo que mejora los procesos y productos del proyecto. Para ello, utilizan rúbricas y protocolos de *feedback*/crítica. También el profesor u otros agentes externos pueden participar en esta revisión. Los procesos de calibración y *feedback* son componentes esenciales en el proceso de evaluación y aprendizaje (Sáiz & Montero, 2015).

Producto público (*Public product*). Este aspecto es de gran importancia. El producto resultante del proceso de desarrollo del proyecto debe ser una cosa tangible o una solución a un proyecto real, en relación a lo comentado en el apartado de “Autenticidad”, y que estimula y motiva a los alumnos, que se preocupan más por la calidad de los productos. Cuando los estudiantes tienen que presentar su trabajo a un público más allá del aula, el nivel de desempeño aumenta. Además, mediante la creación de un producto, los estudiantes hacen tangible aquello que han aprendido, y el hecho de tener proyección más allá de las paredes del aula, ayuda a crear una “comunidad de aprendizaje”, en la que profesores y alumnos discuten lo que se

aprende y cómo se aprende. Es una forma efectiva de comunicación con los padres, miembros de la comunidad educativa y el resto del mundo. En la Figura 11 se muestra de forma esquemática una comparación entre aprendizaje tradicional y PBL.

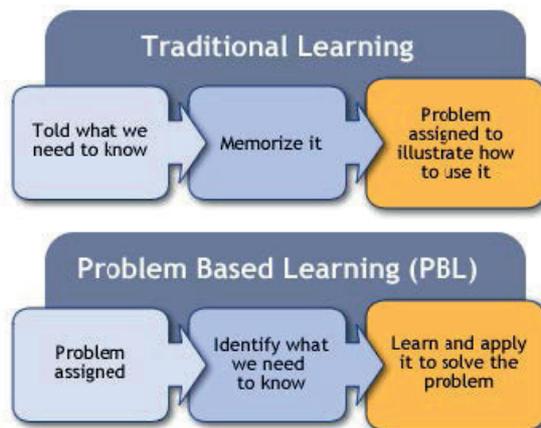


Figura 11. Aprendizaje tradicional vs. PBL. Image courtesy of Penn State University.

Para Penagos (2011) la resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias favorece la metacognición, ya que da al estudiante la posibilidad de seleccionar, organizar y relacionar críticamente los contenidos a aprender, para lo que debe utilizar adecuadamente las estrategias de aprendizaje oportunas; y además propicia la reflexión individual y grupal de las ideas.

Para medir la metacognición en la resolución de problemas de física, Taasoobshirazi, Bailey y Farley (2015) han elaborado y testado un inventario de metacognición en física (*Physics Metacognition Inventory*), que muestra seis componentes de la metacognición en este contexto: conocimiento de la cognición, planificación, seguimiento, evaluación, depuración y gestión de la información.

5.2. PROCESO DE INVESTIGACIÓN DIRIGIDA

Los modelos de enseñanza de la ciencia mediante investigación dirigida, asumen que para lograr los cambios profundos en la mente de los alumnos (conceptuales, metodológicos y actitudinales), es preciso situarlos en el contexto de actividad similar al que vive un científico (Pozo & Crespo, 1998), siempre bajo la supervisión del profesor. Podríamos establecer similitudes entre esta metodología y

el modelo de descubrimiento, pero siempre desde la aceptación de nuevos enfoques relativos a cómo se aprende la ciencia. Para Furió y Guisasola (2001), al aplicar la metodología científica para aprender un concepto, este aprendizaje se aleja del memorístico y se logra la construcción del conocimiento. Para Ramírez, Gil y Torregrosa (1994), las etapas que sigue una actividad basada en esta metodología son las representadas en la Figura 12.

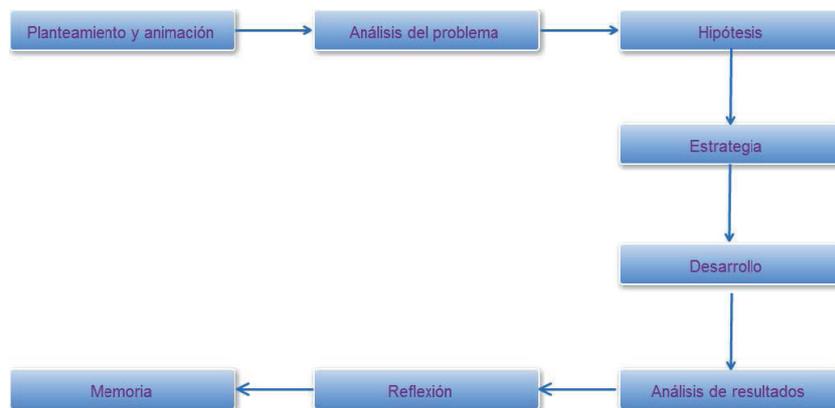


Figura 12. Etapas de un proceso de investigación dirigida. Adaptado de Ramírez et al. (1994).

Estas etapas son:

Planteamiento y animación. Se trata de plantear el problema seleccionado despertando el interés del alumno.

Análisis del problema. Realización de un estudio cualitativo del problema, variables, condiciones, etc.

Hipótesis. Emisión de una hipótesis relativa a los fenómenos involucrados en el problema.

Estrategia. Elaboración de una estrategia de resolución, evitando el ensayo/error, contemplando distintos caminos alternativos que permitan la realización de un contraste.

Desarrollo. Poner en marcha la estrategia de resolución verbalizando y fundamentando lo que se va haciendo.

Análisis de resultados. El análisis de los resultados constituye un aspecto esencial de la resolución de un problema, y es en este punto en el que se contrasta lo obtenido con la hipótesis enunciada.

Reflexión y consideración de las nuevas perspectivas abiertas por la resolución realizada, derivando nuevos planteamientos del problema, la posibilidad de profundización o el desarrollo de aplicaciones prácticas.

Memoria explicativa del proceso de resolución destacando los aspectos de mayor interés e incluyendo una reflexión global sobre todo el trabajo realizado y en qué medida ha intervenido en el desarrollo de las competencias en los alumnos involucrados.

5.3. APRENDIZAJE BASADO EN LA INDAGACIÓN

En *National Science Education Standards* (NSES), publicado por el *National Research Council* de 1996, podemos leer la siguiente definición de indagación:

Indagación es un conjunto de procesos interrelacionados en los cuales, científicos y estudiantes, plantean cuestiones acerca del mundo natural e investigan un fenómeno; al hacerlo, los estudiantes adquieren conocimiento y desarrollan una rica comprensión de los conceptos, principios, modelos y teorías. La indagación es un componente crítico de un programa de ciencia a todos los niveles y en cada dominio de la ciencia, y los diseñadores de los currículos y programas deben asegurarse de que la aproximación al contenido, así como la enseñanza y la evaluación de estrategias, reflejan la adquisición de la comprensión científica a través de la indagación. Los estudiantes deben aprender la ciencia en el modo en el que trabaja la ciencia en la actualidad. (p. 214).

Algunos aspectos que son esenciales en el aprendizaje por indagación:

- Los estudiantes deben reconocer que la ciencia es más que memorización y conocimientos de hechos.
- Los estudiantes deben tener la oportunidad de desarrollar nuevo conocimiento construido a partir de su conocimiento previo e ideas científicas.
- El conocimiento está influenciado del ambiente social del estudiante por lo que debe tener la oportunidad de aprender de otros.
- Los estudiantes deben tomar el control de su propio aprendizaje.
- El grado en que los alumnos son capaces de aprender con comprensión profunda influirá en cómo se transfiere su conocimiento a contextos de la vida real.

El aprendizaje basado en la indagación (IBL, por sus siglas en inglés: *Inquiry Based Learning*) es un modelo constructivista en el que los estudiantes aprenden desde los conocimientos previos a través de la interacción con los fenómenos y con otros estudiantes (Queiruga, 2016b); es decir, los estudiantes adquieren el conocimiento reflexionando en sus experiencias, comunicando sus pensamientos y aprendiendo a hacer conexiones entre su propia experiencia y el mundo real.

Entre los modelos de aprendizaje por indagación se encuentra el modelo 5E, que debe su nombre a los cinco estados, como se representa en la Figura 13, que se desarrollan de forma continua (Bybee, Taylor, Gardner, Van Scotter, Powell, Westbrook, & Landes, 2006).

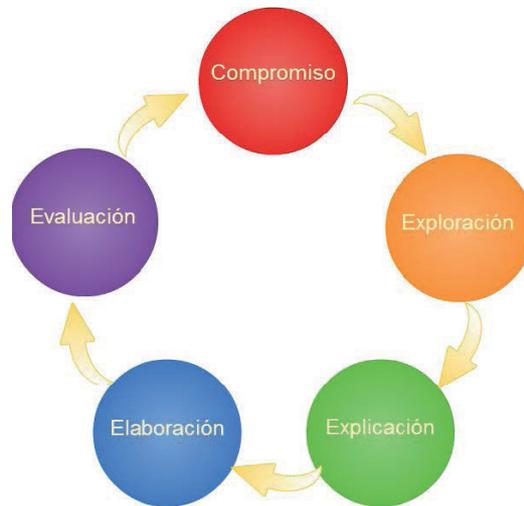


Figura 13. Representación de los estados del modelo 5E de aprendizaje por indagación.

Los tres estados a los que se refiere este modelo son: compromiso, exploración, explicación, elaboración y evaluación.

Compromiso. Esta primera fase involucra a los estudiantes en la tarea de aprendizaje. Las actividades están orientadas a hacer conexiones con experiencias pasadas y sacar a la luz las ideas erróneas de los estudiantes. El modo de involucrar a los alumnos y focalizarlos en la tarea de instrucción puede ser a través de una pregunta, la definición de un problema, la representación de una situación problemática o la exposición de un evento.

Exploración. Las actividades de exploración están diseñadas para que los estudiantes tengan experiencias concretas que permitan formular conceptos, procesos y habilidades que facilitan el cambio conceptual. Pueden ser actividades de laboratorio o con software educativo que puedan ayudar a generar nuevas ideas, explorar cuestiones y posibilidades y diseñar y conducir a una investigación preliminar. El profesor juega en esta etapa un papel de facilitador y animador.

Explicación. La fase de explicación centra la atención del estudiante en un aspecto concreto de sus experiencias anteriores y le permite demostrar su comprensión conceptual, habilidad de procesamiento o comportamiento. El aprendiz explica su comprensión del concepto y permite al profesor a su vez introducir un nuevo concepto, proceso o habilidad. Una explicación del profesor en esa fase puede guiarlos a una comprensión más profunda.

Elaboración. Durante la fase de elaboración (Champagne, 1987, citado por Bybee et al., 2006, p. 10), los estudiantes debaten y realizan tareas de información y búsqueda, presentando y defendiendo su aproximación a la tarea instruccional, que repercute en una mejor definición de la tarea.

Evaluación. Es la fase en la que los estudiantes utilizan las habilidades que han adquirido para evaluar su aprendizaje. Además, los estudiantes reciben *feedback* respecto a lo adecuado de sus explicaciones. La evaluación informal puede realizarse al principio y durante el desarrollo del ciclo 5E. La evaluación formal puede realizarse después de la fase de elaboración a través de la valoración de los resultados.

La principal diferencia entre aprendizaje basado en la indagación y aprendizaje basado en problemas, está en el papel del tutor. En el primero el papel del tutor es facilitar el aprendizaje (animando pensamientos de alto nivel - *higher-order thinking* -) y proveyendo de información al alumno. En un enfoque PBL, el tutor apoya el proceso y facilita el pensamiento claro de los estudiantes, pero no facilita la información relativa al problema, que es responsabilidad del alumno.

CAPITULO 6
EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

6. EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

Como se ha comentado anteriormente, el aprendizaje es inferido, por lo que se observa a través de sus productos y resultados. Por lo tanto, para determinar si un estudiante ha aprendido, debe hacerse a través de la evaluación de estos productos y resultados.

La evaluación es el proceso de recopilación y discusión de información de múltiples y diversas formas con el fin de desarrollar una comprensión profunda de lo que los estudiantes saben, entienden y pueden hacer con su conocimiento como resultado de las experiencias educativas; el proceso culmina cuando se utilizan los resultados para mejorar el aprendizaje (Huba & Freed, 2000, p. 19; citado por McCullough, 2007, p. 34).

La evaluación por tanto tiene una intención pedagógica, educativa y formativa, que pretende valorar el grado de adquisición de conocimientos y competencias, partiendo de sus circunstancias personales, siendo entonces un proceso de regulación del proceso de enseñanza-aprendizaje que implica un proceso de *feedback* continuo.

Postic y De Ketele (1992) (citado por Sáiz & Escolar, 2013, p. 31), definen evaluación como el análisis del “grado de adecuación que existe entre un conjunto de datos y unos criterios de evaluación relacionados con el objetivo propuesto, con la finalidad de tomar una decisión.”

Popham, (2008) (citado por Herr, Rivas, Foley, d’Alessio, & Vandergon, 2012, p. 612), define la evaluación formativa como “un proceso utilizado por profesores y alumnos durante la instrucción que proporciona *feedback* para ajustar la enseñanza y el aprendizaje continuo para mejorar el logro de los resultados educativos de los estudiantes”.

De las definiciones dadas por distintos autores, observamos que el proceso de evaluación requiere una recopilación de información, un análisis de la información obtenida y, como consecuencia, la emisión de un juicio, con la finalidad de mejorar el aprendizaje. La evaluación es por tanto un proceso complejo que requiere un diseño

de instrumentos adecuados, además de la elección del qué evaluar y el cuándo. Además, en coherencia con el *feedback* necesario para la regulación del aprendizaje, el estudiante debe participar activamente en este proceso de evaluación.

Las formas y los métodos de evaluar los productos o resultados del aprendizaje abarcan la observación directa, los exámenes escritos, los exámenes orales, las calificaciones de terceros y los autorreportes. Dependiendo de la forma de evaluar, los resultados de aprendizaje obtenidos serán diferentes ya que cada procedimiento de evaluación hace referencia a una competencia distinta (Sáiz & Román, 2011).

6.1. OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa consiste en observar ejemplos de comportamiento de los estudiantes para evaluar si ha ocurrido o no el aprendizaje.

En el laboratorio de física, el profesor observa si el estudiante utiliza adecuadamente el material y las instalaciones, si el alumno realiza una lectura previa y comprensiva del guión que debe seguir en el desarrollo de la práctica antes de comenzar con esta, si se distribuyen claramente las tareas o funciones en el caso de trabajo en grupo o cooperativo y si mantiene la atención en el desarrollo de la práctica o por el contrario se distrae con elementos externos.

En actividades en las que el alumno tiene que ejecutar una serie de tareas o un problema o en la realización de síntesis y esquemas, el profesor puede observar si sigue las pautas y recomendaciones que le han sido sugeridas (como por ejemplo las mostradas en la Figura 14), o por el contrario puede ser que el alumno recorra caminos alternativos o encuentre soluciones creativas.

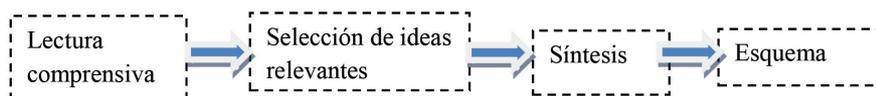


Figura 14. Ejemplo de secuencia sugerida para la realización de una determinada tarea.

El problema de la observación directa es que no aprecia los procesos cognitivos y afectivos que conllevan las acciones, la observación intenta captar el significado de una conducta (Sáiz & Escolar, 2013). El profesor no sabe lo que está pensando el alumno mientras realiza las prácticas. Además, aunque la observación directa de una conducta indica que ha ocurrido aprendizaje, la ausencia de esa conducta no indica que el individuo no haya aprendido (Schunk, 2012). Es posible que el alumno no desempeñe una determinada tarea porque esté falto de motivación o nervioso, lo que no significa que no haya ocurrido el aprendizaje. Por tanto, la observación directa puede ser más una forma de evaluar el desempeño que el aprendizaje.

Un complemento de este método de evaluación, que nos daría información sobre los procesos cognitivos, sería la realización de actividades de “pensar en voz alta”, que se describen más adelante.

Por otro lado, debemos tener en cuenta que no se puede observar todo, por lo que es esencial la construcción de protocolos de observación (Sáiz & Escolar, 2013, p. 69).

6.2. PRUEBAS ESCRITAS

A menudo el aprendizaje se evalúa a partir de los exámenes escritos de los alumnos mediante pruebas, cuestionarios, tareas, trabajos finales e informes.

El profesor analiza el dominio en la materia a partir de las respuestas del alumno y decide si ha habido o no aprendizaje y en qué grado. A partir de ahí, el profesor determina si el alumno requiere tareas de refuerzo, nuevas actividades, nuevos materiales, etc. Si además se ha planteado una prueba inicial, el profesor puede obtener información acerca del grado de avance del alumno.

Las pruebas escritas (exámenes) son muy utilizadas como indicadores del aprendizaje (desestimando que haya podido haber factores que puedan entorpecer la evaluación del aprendizaje, como cansancio, enfermedad, mala praxis por parte del alumno) debido a la facilidad relativa de diseño y corrección. A pesar de las ventajas

que representan las pruebas escritas, no son útiles para evaluar todos los tipos de aprendizajes realizados por el alumno. Esta modalidad de evaluación se asocia a la enseñanza tradicional en la que la evaluación se limita a la reproducción de contenidos. También debemos considerar la ansiedad generada ante los exámenes como factor que incide en el rendimiento del alumno (Bausela, 2005).

6.3. PRUEBAS ORALES

En las pruebas orales el profesor evalúa el aprendizaje del alumno pidiéndole que responda a una serie de preguntas sobre los contenidos, al mismo tiempo que el alumno formula preguntas al profesor, lo que da información sobre el grado en que se ha producido el aprendizaje. Los inconvenientes de este tipo de pruebas pueden provenir de las dificultades del alumno para expresar su conocimiento sobre un concepto determinado o fenómeno o incluso por sus dificultades para hablar en público, además este tipo de evaluación requiere dedicar más tiempo, sobre todo en grupos grandes.

6.4. CALIFICACIÓN DE TERCEROS. EVALUACIÓN DE PARES O IGUALES

Las calificaciones de terceros (en la que intervienen otros profesores, padres, compañeros) constituyen otra modalidad de evaluación. Cuando esta evaluación se realiza entre los propios compañeros, recibe el nombre de evaluación por pares o iguales, que Falchikov (1995; citado por Ibarra, Rodríguez, & Gómez, 2012, p. 212) concibe como la evaluación que realizan los estudiantes del trabajo realizado y de los logros de los compañeros. Aunque este método da protagonismo (y responsabilidad) al estudiante en el proceso de evaluación, hay que tener en cuenta que, aunque los criterios de evaluación estén previamente establecidos, el estudiante no es, en general, un evaluador experimentado. Además, la evaluación puede estar cargada de subjetividad, aunque los propios estudiantes lo consideren como un método justo de evaluación. Para que la revisión por pares sea eficaz, el profesor debe formar adecuadamente a los alumnos en habilidades de retroalimentación (Hattie & Gan, 2014).

6.5. AUTO-INFORMES (AUTOEVALUACIONES)

Los autoinformes o autoevaluaciones son los juicios que emiten los alumnos acerca de su propio aprendizaje, de forma que el estudiante adquiere un papel activo en el proceso de evaluación de su propio aprendizaje (Ibarra et al., 2012). La autoevaluación es un proceso de evaluación formativa en la que los estudiantes reflexionan sobre la calidad de su trabajo, juzgan el grado en el que refleja explícitamente objetivos y criterios, y revisan en consecuencia (Andrade, 2010, p. 3). Los autoinformes permiten al alumno hacer una reflexión sobre: la comprensión de los contenidos, la comprensión de las actividades y tareas, la comprensión sobre la evaluación y las dificultades surgidas durante el proceso de enseñanza. Se pueden aplicar distintos tipos de auto-informes en función de los procesos o habilidades del alumno que se quieran medir (cuestionarios, entrevistas, recapitulación dirigida, pensamiento en voz alta y diálogos). Para Panadero y Alonso-Tapia (2013), la autoevaluación es un proceso clave de la autorregulación. Según estos autores, las condiciones que debe cumplir la autoevaluación son:

- a) concienciación sobre el valor de la autoevaluación,
- b) acceso a los criterios en los que se basa la evaluación y
- c) la tarea a ser evaluada necesita ser específica.

6.5.1. CUESTIONARIOS

Los cuestionarios plantean al estudiante preguntas acerca de sus pensamientos y acciones durante la instrucción, así el profesor puede obtener información acerca de las dificultades que el alumno ha tenido en la realización de las tareas (y no solamente si las ha hecho o no) a la vez que se pueden obtener opiniones sobre las sensaciones del alumno con respecto a su propio rendimiento o el del grupo de trabajo. Para Panadero y Alonso-Tapia (2013), el propósito de los cuestionarios es promover la reflexión de lo adecuado del proceso que se está siguiendo y sobre los resultados parciales que se están obteniendo durante el desarrollo de la tarea.

6.5.2. ENTREVISTAS

Las entrevistas requieren más dedicación y más habilidad por parte del entrevistador. La ventaja que presentan frente a los cuestionarios es el tratamiento individualizado del alumno y el *feedback*, que permite hacer más hincapié en los aspectos que el profesor considere más relevantes o simplemente recabar más información de la que un estudiante manifestaría en un cuestionario.

6.5.3. RECAPITULACIÓN DIRIGIDA

En el procedimiento de recapitulación dirigida el alumno tiene que recordar los pensamientos que acompañaban a la ejecución de una tarea encomendada. Los entrevistadores plantean preguntas del tipo: “¿por qué elegiste ese camino?, ¿qué pensabas cuando tomaste tal decisión o tal otra?, llegado a ese punto, ¿por qué no buscaste otras alternativas?”. Este procedimiento debe realizarse inmediatamente después del desempeño de las tareas para que los participantes no olviden sus pensamientos (Veenman, 2011).

6.5.4. REFLEXIÓN EN VOZ ALTA

La reflexión en voz alta consiste en la verbalización de pensamientos, acciones y sentimientos mientras se desempeña un cometido. Los observadores registran las verbalizaciones y después las califican para evaluar el nivel de comprensión. El pensamiento en voz alta requiere que los participantes se expresen verbalmente y muchos estudiantes no están acostumbrados a hablar mientras desarrollan una tarea. A algunas personas les resulta extraño pensar en voz alta, en cuyo caso este procedimiento podría hacer que se sientan avergonzados o que les dificulte expresar sus pensamientos. Si esto sucediera los investigadores podrían incitar a los estudiantes que se mantienen en silencio a expresarse: “por favor, sigue pensando en voz alta” (Veenman et al. 2005), o recordándoles ocasionalmente “¿qué estás pensando?” (Todhunter, 2015); sin embargo, pensar en voz alta no interfiere con los procesos cognitivos y metacognitivos, sólo puede ralentizar los procesos (Veenman & Spaans, 2005).

6.5.5. DIÁLOGO

El diálogo, es decir, una conversación entre dos o más personas mientras participan en una tarea de aprendizaje, es una metodología ampliamente utilizada para analizar actividades de resolución de problemas. Esto se describe más adelante con mayor profundidad.

La elección del formato de prueba que se va a efectuar debe ir acorde a lo que se quiere evaluar. El aprendizaje y la evaluación necesitan ser coherentes (Segers, Dierick, & Dochy, 2001). Los cuestionarios, test y pruebas escritas permiten recoger gran cantidad de información sobre muchos alumnos; pero si queremos recabar información concreta sobre cómo el alumno está enfrentándose a la resolución de un problema de física y qué pasos está siguiendo, existen otros métodos como el pensar en voz alta () mientras está realizando la tarea o la recapitulación dirigida (*off-line*) en la que se insta al alumno a recordar los procesos que realizaba mientras se enfrentaba a una tarea.

Aunque no reviste excesiva complejidad la creación de instrumentos de autoevaluación es esencial crear un sistema de valoración fiable y ser cuidadoso al pretender extraer inferencias. Para paliar este inconveniente, puede recurrirse a la utilización paralela de diversos métodos de evaluación y la observación de la evolución a lo largo del tiempo; en cualquier caso, hay que adaptar la evaluación a la metodología de enseñanza utilizada (Dochy, Segers, & Dierick, 2002).

6.6. RÚBRICAS

Una rúbrica o matriz de valoración es un recurso de evaluación de los conocimientos o del desempeño en una actividad concreta o proyecto, en la que se establecen criterios o indicadores de evaluación, que describen las características específicas del producto, proyecto o tarea, así como los procesos, y una escala de valoración para cada uno de ellos en la que se refleja el grado de consecución de ese determinado criterio en varios grados de rendimiento, de excelente a pobre (Goodrich, 1997; Popham, 1997; citados por Andrade, 2005, p. 27) . Este autor, Andrade (2005),

matiza la diferencia entre una rúbrica de puntuación, como aquella que utiliza el profesor para asignar calificaciones y la rúbrica instruccional, que sería aquella rúbrica co-creada con el alumno y que es utilizada para la autoevaluación y el *feedback* profesor-alumno. La reflexión compartida en el aula permite la mejora de estas matrices de evaluación, logrando con esto instrumentos de evaluación abiertos, dinámicos y flexibles (Urbieta, Garayalde, & Losada, 2011).

Otros autores (Mertler, 2001) distinguen entre rúbrica holística (Tabla 2) y rúbrica analítica (Tabla 3). En la primera de ellas, el profesor puntúa el proceso total o producto en su conjunto, sin valorar las partes por separado; esta sólo tiene descriptores correspondientes a unos niveles de logro globales, mientras que en la rúbrica analítica, el profesor puntúa por separado las partes individuales del producto o la ejecución y obtiene la puntuación total a partir de la suma de las puntuaciones individuales.

Tabla 2
Ejemplo de rúbrica holística

| Puntuación | Descripción |
|------------|--|
| 5 | Demuestra una completa comprensión del problema. Todos los requerimientos de la tarea están incluidos en la respuesta. |
| 4 | Demuestra una considerable comprensión del problema. Todos los requerimientos de la tarea están incluidos en la respuesta. |
| 3 | Demuestra una comprensión parcial del problema. La mayoría de los requerimientos de la tarea están incluidos. |
| 2 | Demuestra una pequeña comprensión del problema. Faltan muchos requerimientos de la tarea. |
| 1 | No comprende el problema. |
| 0 | No responde/no intenta. |

Nota: Rúbrica holística diseñada para puntuar la resolución de un problema. Adaptado de (Mertler, 2001, p. 2).

El nivel de desempeño logrado por el alumno puede valorarse mediante la descripción de los distintos criterios de desempeño de ese ítem, como podemos observar en el ejemplo de la Tabla 3.

Tabla 3
Rúbrica analítica

| Ítem | 100% | 80% | 60% | 40% | 0% |
|--|--|---|---|---|-----------------------|
| Representa gráficamente el problema | La representación es correcta y ajustada al problema planteado | La representación requiere una explicación para ser comprendida | La representación del problema es confusa y requiere muchas explicaciones | La representación no representa el problema propuesto | No hay representación |

Nota: Ejemplo de valoración de un ítem mediante una rúbrica analítica.

También se puede medir el nivel de desempeño del alumno asignando una puntuación numérica a cada ítem que se está evaluando (Tabla 4), aunque en este caso también es necesario establecer una relación clara entre cada puntuación y el grado de consecución de un determinado criterio.

Tabla 4
Rúbrica con puntuación numérica

| Ítem | Valoración | | | | |
|--|------------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Puedo explicar el concepto de imagen. | | | | | |

El enfoque competencial del aprendizaje, así como las nuevas metodologías de trabajo en el aula hacen imprescindibles este tipo de herramientas para la valoración de las actividades de los alumnos, teniendo en cuenta que la evaluación debe estar acorde a la metodología (Biggs, 2005; Segers et al., 2001).

Uno de los instrumentos que más se adapta a las distintas metodologías descritas a lo largo de esta tesis son las rúbricas, y es uno de los instrumentos utilizados para la recogida de datos realizada.

Para Andrade (2005), las rúbricas nos orientan en los resultados como profesores, los logros del aprendizaje de los alumnos, el diseño de la instrucción que lleva a esos logros, la comunicación de los resultados a los alumnos y además las rúbricas facilitan el *feedback* (o, como indican Panadero, Romero y Strijbos, 2013, el *feed-forward*, es decir, la información necesaria para avanzar) en el progreso del estudiante hacia la meta, además

de permitir valorar los productos finales en términos del grado de consecución obtenido. Por otro lado, para no perder eficacia, las rúbricas deben ser explicadas al alumno, asegurándose de que son comprendidas e intentando que no olviden su contenido.

Aunque las rúbricas son una herramienta importante para la evaluación sumativa, Panadero y Jonsson (2013) sugieren que juega un importante papel en la evaluación formativa, indicando que las rúbricas pueden tener una influencia positiva en el aprendizaje de los estudiantes, mejorando el rendimiento y la autorregulación, debido fundamentalmente a que proporciona transparencia en la evaluación, lo que repercute en una reducción de la ansiedad. Además, facilita el proceso de *feedback* (Andrade, 2000) y mejora la autoeficacia; las rúbricas aumentan la fiabilidad y la validez de dicha evaluación (Panadero, Romero, & Strijbos, 2013). En una investigación realizada por Lu y Zhang (2013) con estudiantes de secundaria, la utilización de rúbricas en la evaluación por pares de la capacidad de argumentación hizo que mejorasen esta habilidad. En esta experiencia, los estudiantes podían comparar *on-line* la evaluación que hacían de sus compañeros con la que hacía el profesor.

El *feedback* basado en rúbricas incrementa el proceso de reflexión y de control del alumnado sobre su propio aprendizaje. Para que este incremento sea significativo, el profesor debe definir las metas de aprendizaje antes de la realización de las tareas, así como la secuenciación de los pasos que guíen al estudiante hacia resultados efectivos (Sáiz & Bol, 2014; Sáiz, Cuesta, Alegre, Barrio, & Peña, 2015; Sáiz, Queiruga, Montero, & Mateos, 2015).

Panadero y Jonsson (2013), tras el análisis de 21 estudios que investigaban la utilización de las rúbricas con propósitos de autoevaluación, concluyeron que sus beneficios sobre el aprendizaje han sido positivos cuando se han utilizado adecuadamente; en este caso:

- Aumentan la transparencia: las rúbricas permiten dar a conocer al estudiante las expectativas del profesor reduciendo así la frustración que supone el no saber qué se espera de ellos.
- Reducen la ansiedad: como consecuencia de aclarar las expectativas, los estudiantes

aumentan su nivel de confianza. Las rúbricas permiten saber a los estudiantes qué se espera de su trabajo y cómo se relacionará con sus calificaciones (Panadero, 2011; citado por Panadero & Jonsson, 2013, p. 138).

- Ayuda al proceso de *feedback*: revisar las calificaciones con ayuda de la rúbrica induce a la reflexión sobre la calidad de las tareas realizadas (Jonsson & Svingby, 2007); permitiendo además a los alumnos interactuar con otros (Mui So & Hoi Lee, 2011).
- Mejora la autoeficacia, y por tanto el rendimiento de los estudiantes. Pero todo depende del *feedback* del profesor al estudiante. El *feedback* basado en rúbricas incrementa el proceso de reflexión y de control del alumnado sobre su propio aprendizaje (Sáiz & Bol, 2014, p. 32).
- Apoya la autorregulación del estudiante: las rúbricas facilitan la planificación y la autoevaluación (Panadero, 2011; citado por Panadero & Jonsson, 2013, p. 139). Andrade y Du (2005; citado por Panadero & Jonsson, 2013, p. 139), han encontrado indicios de que las rúbricas pueden ayudar a los estudiantes al control de la tarea que están realizando, sirviéndoles la rúbrica como autoevaluación informal; aunque el alumno tenga dificultades inicialmente en el proceso de autoevaluación, así como en la evaluación entre pares, esto mejora con la práctica y cuando el alumno se concientia de que puede ser algo útil (Andrade, 2005; Sáiz, Cuesta et al., 2015).
- Las rúbricas permiten la evaluación tanto de grupos pequeños como de grandes grupos de estudiantes, además de permitir la evaluación de tareas presenciales y no presenciales (Urbieto et al., 2011).

Utilizar rúbricas como método de evaluación requiere un conocimiento significativo sobre estas por parte del profesor, aunque este conocimiento puede no ser suficiente para asegurar la correcta utilización ajustada a las necesidades de instrucción de los alumnos (Mui So & Hoi Lee, 2011). Kohn (2006) indica que algunos observadores critican que las rúbricas no producen precisión en la evaluación, quedando, en última instancia, la valoración en manos del profesor, y por tanto dependiente de la subjetividad de este; por otro lado, la utilización de rúbricas no deja de ser una evaluación estandarizada, lo que para (Kohn, 2006) puede comprometer el proceso de aprendizaje. Este autor sugiere que

realizar frecuentes y detalladas evaluaciones de los logros de los estudiantes pueden resultar contraproducentes ya que este exceso de atención a la calidad de la actuación de uno mismo se asocia a una forma más superficial de pensar y un menor interés en lo que se está haciendo. Para que una rúbrica sea efectiva debe contemplar los siguientes puntos (Sáiz & Bol, 2014; Sáiz, Queiruga, et al., 2015):

- Una lista de criterios especificados para evaluar las metas que se persiguen en las tareas (Tierney & Simon, 2004). Un buen instrumento para diseñar los criterios de evaluación es la taxonomía de Bloom (citado por Sáiz & Montero, 2015, p. 114).
- Una escala graduada con diferentes niveles de medida cualitativa de consecución de la tarea.
- Un diseño que permita a los profesores y a los estudiantes estudiar el proceso y el producto de los resultados del aprendizaje; lo que Andrade (2005) denomina rúbrica instruccional. Para Andrade (1997), a fin de aumentar el efecto de aprendizaje de las rúbricas, indica que el proceso de diseño debe involucrar a los estudiantes en los siguientes pasos: a) mostrar a los estudiantes ejemplos de buenos y no tan buenos trabajos identificando las características que los definen; b) discutir y elaborar una lista de lo que cuenta en un trabajo de calidad; c) articular graduaciones de calidad, describiendo los mejores y peores niveles de calidad; d) pedir a los alumnos que utilicen las rúbricas para evaluar modelos; e) mientras los alumnos realizan la tarea, hacer pausas de autoevaluación y evaluación por pares; f) dar tiempo a la revisión del trabajo en base al *feedback* recibido en el apartado anterior; y g) que el profesor utilice la misma rúbrica para evaluarse a sí mismo.

La elección de las palabras que describen los cambios de valor del atributo es otra dimensión que debe tenerse en cuenta en el diseño de la rúbrica (Tierney & Simon, 2004). Por otro lado, estos autores sugieren que la descripción de los niveles de desarrollo tiene que estar expresada en términos positivos [también indicado por Andrade (1997)] de desarrollo continuo que refleje los sucesivos pasos de éxito y así evitar un tono dicotómico en la rúbrica.

- Combinarlas con otras actividades metacognitivas, como modelado, auto-instrucción y auto-monitorización.

Además de estos puntos, una rúbrica debe estar en coherencia con los estándares del currículum para que sea válida, y lo que es más importante, pasar una prueba de fiabilidad: que se obtengan puntuaciones similares cuando es utilizada por distintos evaluadores, siendo importante también que se cumplan los criterios de equidad (Andrade, 2005).

La Taxonomía de los Objetivos Educativos, publicada en 1956 por Bloom, Engelhart, Furst, Hill y Krathwohl, forma el marco de clasificación de lo que el profesor pretende que los alumnos aprendan como resultado de la instrucción. La revisión de este marco fue desarrollada más tarde por Anderson, Krathwohl, et al. en 2001 (Krathwohl, 2002). Las categorías de la dimensión cognitiva quedan recogidas en la Tabla 5 en orden ascendente, de inferior a superior.

Tabla 5
Estructura de la dimensión de procesos cognitivos de la Taxonomía revisada

| Acción cognitiva | Subacción cognitiva |
|--|--|
| 1.0 Recordar: Recuperar el conocimiento relevante de la memoria a largo plazo. | 1.1. Reconocer 1.2. Recordar |
| 2.0 Comprender: Determinar el significado de los mensajes de instrucción, incluyendo comunicación oral, escrita, y gráfica. | 2.1 Interpretar 2.2. Ejemplificar 2.3 Clasificar 2.4 Resumir 2.5 Inferir 2.6 Comparar 2.7 Explicar |
| 3.0 Aplicar: Realizar o utilizar un proceso en una situación determinada. | 3.1 Ejecutar 3.2 Implementar |
| 4.0 Analizar: Descomponer el material en sus partes constituyentes y detectar cómo estas se relacionan con su estructura o propósito global | 4.1 Diferenciar 4.2 Organizar 4.3 Atribuir |
| 5.0 Evaluar: Hacer juicios basados en criterios y estándares. | 5.1 Comprobar 5.2 Criticar |
| 6.0 Crear: Juntar elementos para completar algo coherente o hacer un producto original. | 6.1 Generar 6.2 Planificar 6.3 Producir |

Nota: Traducido de (Krathwohl, 2002).

Como muestran Sáiz y Bol (2014), el uso de rúbricas puede utilizarse para medir el proceso de enseñanza-aprendizaje en física. Para ello utilizaron un cuestionario para medir los conocimientos previos antes de la instrucción. Tras la instrucción, los estudiantes fueron evaluados mediante la utilización de una rúbrica, lo que permitió evaluar el nivel de desarrollo de la tarea. Según estos autores, el *feedback* basado en rúbricas incrementa el proceso de reflexión y de control del alumno del propio aprendizaje, advirtiéndole que para que este aprendizaje sea significativo debe haber una continuidad metodológica a lo largo del proceso de instrucción, siendo, además, el tipo de *feedback* que realice el profesor determinante en la percepción que el alumno tiene sobre la adquisición de competencias.

Siguiendo las pautas especificadas para el diseño de rúbricas, se muestra en la Tabla 6 una rúbrica, relativa a una unidad de trabajo, utilizada en la presente investigación y en la Tabla 7 se observan los correspondientes criterios de evaluación.

Tabla 6
Rúbrica. Cuestionario de evaluación

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|
| Tema I. Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto cambio de posición de un cuerpo u objeto. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto movimiento. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto sistema de referencia. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de trayectoria. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es un movimiento rectilíneo. | | | | | |
| 6. Puedo explicar qué es un movimiento curvilíneo. | | | | | |
| 7. Puedo explicar la relatividad de un movimiento. | | | | | |
| Tema II. Velocidad | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de velocidad. | | | | | |
| 2. Puedo explicar las unidades de medida de la velocidad en el SIU. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de magnitud vectorial. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de movimiento uniforme. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de aceleración. | | | | | |
| Tema III. Relación entre el movimiento y la aceleración | | | | | |
| 1. Puedo explicar el movimiento circular. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de aceleración normal. | | | | | |
| 3. Puedo explicar la relación entre movimiento, aceleración y velocidad. | | | | | |

Nota: SIU = Sistema Internacional de Unidades.

Tabla 7
Rúbrica. Criterios de evaluación

| Gradiente | Criterios de evaluación | Valoración del conocimiento |
|-----------|---|-----------------------------|
| 1 | No sitúa el concepto. | Insuficiente |
| 2 | Inicia el acercamiento al concepto y su relación con conocimientos previos. | Poco aceptable |
| 3 | Tiene una representación del concepto intermedia y los relaciona con conocimientos previos. | Bien |
| 4 | Tiene una representación buena del concepto y lo relaciona adecuadamente con conocimientos previos correctos. | Muy bien |
| 5 | Tiene una representación excelente del concepto y lo relaciona adecuadamente con conocimientos previos correctos. | Excelente |

Panadero y Romero (2014) realizaron una investigación que pretendía comparar los resultados producidos cuando se utilizaban las rúbricas como elemento de autoevaluación frente a otros métodos. Los resultados mostraron que en el grupo que había utilizado rúbricas los estudiantes mostraban mayor uso de estrategias de aprendizaje, mayor rendimiento y mayor precisión. Además, el uso de rúbricas promueve un mayor nivel de autorregulación y tiene un efecto positivo en el aprendizaje (Panadero, Alonso-Tapia, & Huertas, 2012), ya que los estudiantes pueden comparar el resultado obtenido con el nivel de logro especificado en la rúbrica, pudiendo así evaluar y puntuar su aprendizaje (Panadero, Alonso-Tapia, & Huertas, 2014). La utilización de rúbricas parece disminuir los mensajes negativos autodirigidos (Panadero, Alonso-Tapia, & Huertas, 2014). Aunque, por otro lado, estudios de Panadero, Alonso-Tapia y Reche (2013) sobre la utilización de guiones frente al uso de rúbricas, concluyeron que los estudiantes que usaban guiones, tras la intervención tenían niveles más altos de autorregulación, al contrario que los que utilizaron rúbricas. En ningún caso se encontraron efectos sobre la autoeficacia; sin embargo, los alumnos prefirieron el uso de rúbricas. En cualquier caso, tanto el uso de rúbricas como el de guiones de autoevaluación presenta ventajas en la autorregulación de los estudiantes frente a no utilizar ninguna herramienta de autoevaluación (Panadero et al., 2013). Además de la mejora de la autorregulación positiva, los guiones de autoevaluación tienen un efecto significativo en el aprendizaje

ya que los estudiantes que lo utilizan muestran conocimientos superiores respecto a los que no lo utilizan (Alonso-Tapia & Panadero, 2010).

Para Sáiz y Montero (2015), existe una relación entre aprendizaje autorregulado y el uso de rúbricas, ya que la utilización de rúbricas facilita al estudiante la autoevaluación de su aprendizaje, además de permitir al profesor y al alumno medir el conocimiento conceptual y procedimental previo. El objetivo final es aumentar el aprendizaje efectivo e independiente del alumno.

Sáiz y Payo (2012; citado por Sáiz & Bol, 2014, p. 34), indican que la autopercepción que los alumnos tienen de su aprendizaje, la autorregulación y la autoevaluación favorecen el desarrollo de aprendizajes más eficaces, siendo un procedimiento adecuado para ello la utilización de rúbricas, ya que facilitan la concreción de los criterios de evaluación en las distintas competencias y la gradación en su adquisición (Sáiz & Montero, 2015; citado por Sáiz & Bol, 2014, p. 34).

Al mismo tiempo, la misma rúbrica, como herramienta de evaluación, debe ser evaluada. Para Janssen, Meier y Trace (2015), este proceso de evaluación de la rúbrica pasa por tres componentes claves:

- a) si los constructos desarrollados dentro de la rúbrica son apropiados teniendo en cuenta lo que está siendo evaluado,
- b) si los criterios utilizados para la evaluación son apropiados;
- c) si se están aplicando de forma adecuada.

La adecuación de los constructos y los criterios de evaluación de la rúbrica pueden ser evaluadas por expertos en la materia, mientras que la conveniencia de la aplicación se puede juzgar mediante la medición de Rasch (1960, citado por Prieto y Delgado, 2003, p. 94), que además puede evaluar la precisión y consistencia.

6.7. EVALUACIÓN DEL USO DE ESTRATEGIAS

Veenman (2011) realizó un estudio utilizando métodos *on-line* y métodos *off-line* en la evaluación del uso de estrategias, siendo los métodos *on-line* aquellos en los que los registros se realizan mientras se desarrolla la tarea: pensar en voz alta, observación, registro del movimiento ocular y análisis de los archivos de registro de las actividades del estudiante en el ordenador. Para la evaluación de las habilidades metacognitivas en los estudiantes, se requiere una evaluación *on-line* durante la realización de las tareas (Veenman, Bavelaar, De Wolf, & Van Haaren, 2014). Pueden presentar inconvenientes en el caso de pensar en voz alta cuando el alumno tiene dificultades de expresión o lectura; la evaluación *on-line* de las habilidades metacognitivas a partir del análisis de los archivos de registro del ordenador puede resultar un método menos inoportuno (Veenman, Bavelaar, et al., 2014). Por otro lado, la observación y el análisis de los archivos de registro, requieren mucho tiempo y dedicación para hacer un análisis individual. Mientras, los métodos *off-line* hacen alusión a cuestionarios y entrevistas, que, aunque son más fácilmente administrados para grupos grandes, tienen la desventaja de que la percepción del estudiante del auto-reporte de estrategias puede no corresponder con su comportamiento actual, pudiendo estar afectados por la reconstrucción de la memoria e induciendo a error (Veenman, 2011; Schellings et al., 2013). Schellings (2011) indica que tradicionalmente no se encuentran los mismos resultados en la medida de estrategias de aprendizaje utilizando cuestionarios que utilizando protocolos de pensamiento en voz alta, pero llega a la conclusión de que esto es debido a que estos métodos de medida están orientados a diferentes tareas de aprendizaje; sin embargo, construyendo cuestionarios basados en la taxonomía para la codificación de protocolos de pensamiento en voz alta, por un lado, y utilizando el método de pensamiento en voz alta durante la administración del cuestionario, encontró una correlación muy alta respecto a la habitualmente reportada. Veenman (2007) resalta en este sentido la necesidad de saber lo que estamos midiendo, sobre todo en la aplicación de nuevas tareas y nuevos métodos de evaluación. Para Veenman (2007; citado por Sáiz & Montero, 2015, p. 113), los estudiantes utilizan distintas estrategias de aprendizaje en función del tipo de contenido que están procesando; lo que lleva a que la autopercepción del conocimiento sea una variable sujeta a la experiencia

individual de aprendizaje (Sáiz & Montero, 2015). Si cada método evalúa un tipo de conocimiento, parece lógico pensar que los resultados obtenidos en cada caso sean distintos. Sáiz y Montero (2015) resumen la relación entre los diferentes aspectos de la metacognición y los diferentes métodos de evaluación, así como los indicadores de evaluación de las habilidades metacognitivas en los métodos de evaluación *on-line* en las Tablas 8 y 9.

La relación entre la herramienta utilizada para medir y el resultado está muy clara para Desoete (2008, p. 204), “*how you test is what you get*”, por lo que recomienda utilizar variedad de protocolos de evaluación: pensamiento en voz alta, puntuaciones prospectivas y retrospectivas, cuestionarios y medidas de calibración, entre otras.

Tabla 8
Relación entre los distintos aspectos de metacognición y los diferentes métodos de evaluación.

| Tipo de metacognición | | Implicaciones | Procedimientos de evaluación |
|--------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| Conocimiento declarativo | Conocimiento metacognitivo | Puede ser correcto o incorrecto y depende del historial de aprendizaje, el autoconocimiento personal y factores motivacionales. Es subjetivo y no puede garantizar una conclusión aceptable de la tarea | Métodos <i>off-line</i> |
| | Conocimiento cognitivo | | |
| | Experiencias metacognitivas | Surgen de la observación y dependen de la motivación | Métodos <i>off-line</i> |
| | Auto-conocimiento | Resistentes al cambio, especialmente cuando el alumno atribuye el error a causas externas | Métodos <i>off-line</i> |
| | Conocimiento condicional | El conocimiento de las estrategias metacognitivas para aplicar para cada propósito. No se puede garantizar procesos aceptables para la finalización y representa un puente entre el conocimiento metacognitivo y el conocimiento procedimental en el que la forma de utilizar las estrategias (conscientes) y | Métodos <i>off-line</i> |

| Tipo de metacognición | | Implicaciones | Procedimientos de evaluación |
|----------------------------|---------------------------------|--|------------------------------|
| | | las habilidades (conscientes y automáticas) serían utilizadas. | |
| Conocimiento procedimental | Autorregulación de la cognición | Orientación | Métodos <i>on-line</i> |
| | Habilidades metacognitivas | Planificación | |
| | | Evaluación | Métodos <i>off-line</i> |
| | | Elaboración | |

Nota: Traducido de Sáiz y Montero (2007, p. 114)

Tabla 9

Indicadores de evaluación de las habilidades metacognitivas en los métodos de evaluación on-line

| Métodos de evaluación de habilidades metacognitivas | Criterios de evaluación | Indicadores de evaluación |
|---|-------------------------|--|
| Método <i>on-line</i> cuantitativo (analiza la frecuencia de aparición de los indicadores de actividad metacognitiva) | Orientación | Lee el problema o la tarea durante la actividad de resolución de problemas Activa los conocimientos previos relacionados con la tarea Prepara un esquema representativo del problema Activa el conocimiento previo de los objetivos Construye los elementos esenciales del problema y los requisitos para predecir una respuesta |
| | Planificación | Expresa las estrategias de resolución de problemas mientras analiza el problema Identifica cada uno de los pasos para resolver el problema uno a uno |
| | Evaluación | Observa y detecta errores Compara el enunciado del problema con las respuestas que han dado Observa cualquier error |
| | Elaboración | Completa un resumen y un plan de conclusiones |
| Método <i>on-line</i> cualitativo (analiza la profundidad de la actividad metacognitiva en una escala de 0, ninguna, a 4, máxima) | Orientación | Instrumentos de observación: métodos de pensar en voz alta y registros <i>log-line</i> en el ordenador |

Nota: Traducido de Sáiz y Montero (2015, p. 115)

6.8. ANÁLISIS DE PROTOCOLOS

Los procesos cognitivos, y en particular la forma en la que el alumno procesa los contenidos con el fin de comprender los procesos involucrados en su propio aprendizaje, no pueden observarse, sólo inferirse a partir de sus manifestaciones conductuales y de sus resultados. Esa inferencia se realiza a través de cinco planteamientos metodológicos: la introspección, la investigación empírica, la simulación, la entrevista y el análisis de protocolos verbales (estas dos últimas de aplicación particular en la inferencia de los procesos involucrados en la resolución de problemas) (Requena, 2003). Los pensamientos articulados siguiendo la técnica de “pensar en voz alta” se graban para poder ser transcritos y analizados. Lo que un investigador puede analizar es el contenido del protocolo, y los procesos tácitos que dan lugar a estas verbalizaciones deben inferirse (Schellings & Broekkamp, 2011).

Ericsson y Simon (1980), en el marco teórico de la teoría de procesamiento de la señal, proponen un modelo para los procesos de verbalización de sujetos instruidos a pensar en voz alta para dar informes verbales retrospectivos o para producir otro tipo de verbalizaciones como respuesta a las instrucciones de los investigadores. Los protocolos de pensamiento en voz alta deben ser respaldados por el máximo número posible de fuentes complementarias (Ericsson & Simon, 1993, como citan Prins et al., 2006, p. 375) ya que la mayoría de los informantes producen protocolos incompletos debido a que muchos procesos se han automatizado y se realizan de forma inconsciente, por lo que, estos autores, sugieren completar los protocolos de pensamiento en voz alta con procedimientos de rememoración o evocación (*recall*) utilizando materiales relacionados con la tarea (ejemplo: vídeo de la sesión). Otros investigadores (Garner & Alexander, 1989) sugieren que los estudiantes, además, verbalicen mientras enseñan a otros pares.

De la investigación (Ericsson & Simon, 1980, 1993; Veenman et al, 1993; como se citan en Veenman, 2007, p. 167) se sabe que simplemente pensar en voz alta no interfiere con los procesos cognitivos y metacognitivos. Como ya se ha indicado, pensar en voz alta sólo puede ralentizar los procesos.

Los protocolos de pensamiento en voz alta son ampliamente utilizados para medir las habilidades metacognitivas de los estudiantes mientras realizan una tarea

determinada o resuelven un problema. Así por ejemplo Ross (1984; citado por Kelley, Capobianco, & Kaluf, 2014, p. 523) emplea protocolos verbales para descubrir si los participantes son capaces de recuperar problemas y soluciones a los problemas encontrados previamente cuando se presenta un problema similar. También en los estudios de Veenman (2005) la transcripción y análisis de los protocolos de pensamiento en voz alta permiten analizar la calidad de la habilidad metacognitiva utilizando el procedimiento de juicio de Veenman y Elshout (1991, 1995, 1999) y Veenman et al. (1994, 1997, 2000) (citados por Veenman, Kok et al., 2005, p. 201).

Estos resultados son ratificados en estudios más recientes, elaborados por Vandavelde et al. (2015), en los que se muestra que los protocolos de pensamiento en voz alta son herramientas valiosas para proporcionar información en profundidad, al tiempo que indica la necesidad de un diseño multi-método, sobre todo con el fin de captar los aspectos motivacionales del SRL. En las sesiones de pensamiento en voz alta realizadas retrospectivamente, los estudiantes reconocieron errores que no habían detectado durante la realización de la tarea; esto prueba el valor de los protocolos de pensar en voz alta en el fomento de la metacognición (Benson, Cook, McGough, & Grigg, 2012).

Por otro lado, conviene destacar la naturaleza individualizada de la evaluación de este tipo de protocolos (Beck, 2015).

Meijer, Veenman y Van Hout-Wolters (2006) construyeron una taxonomía jerárquica de actividades metacognitivas para la interpretación de protocolos de pensamiento en voz alta para estudiantes de secundaria (utilizando textos sobre historia y física); obteniendo las frecuencias con las que ocurrían las actividades metacognitivas así como juicios de calidad de dichas actividades, siendo, por tanto, un método de calidad para codificar los protocolos de pensamiento en voz alta. Estos protocolos fueron además valorados por otros dos métodos basados en el trabajo de Veenman (Veenman, 1993; Veenman et al., 1997; Veenman & Verheij, 2001; Veenman et al., 2004) (citado por Meijer et al., 2006, p. 229). El primer método, cuantitativo, basado en contar el número de veces que los participantes parecen exhibir una habilidad metacognitiva y el segundo método, cualitativo, basado en la valoración de la calidad de las habilidades metacognitivas Veenman (1997) (citado por Meijer et al., 2006, p. 229).

CAPITULO 7
CONTEXTOS DE
ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

7. CONTEXTOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Las metodologías de enseñanza-aprendizaje descritas a lo largo de esta tesis y la reflexión acerca de cómo se produce el aprendizaje nos llevan a hacernos preguntas acerca del diseño de los contextos de aprendizaje. Estos deberán estar adaptados a lo que se enseña, cómo se enseña y cómo se evalúa el aprendizaje (Queiruga, 2016a).

Para Scardamalia, Bransford, Kozma y Quellmalz (2012, p. 246), el diseño de los ambientes debe favorecer el desarrollo de las competencias del siglo 21 como se experimenta en las organizaciones creadoras de conocimiento, como son los institutos de investigación, las compañías innovadoras, o las comunidades profesionales (Tabla 10).

Tabla 10
Competencias del siglo 21

| Competencia del siglo 21 | Experiencia en organizaciones de creación del conocimiento |
|---|---|
| Creatividad e innovación | Trabajar en problemas no resueltos, generar teorías y modelos, arriesgar, perseguir ideas. Buscar, discutir ideas y planes prometedores. |
| Comunicación | Construcción del conocimiento/diálogo, discurso progresivo dirigido a avanzar en este campo, área; discurso para lograr un análisis más inclusivo, abierto de orden superior; los espacios comunitarios abiertos estimulan, fomentan, animan las interacciones prolongadas y entre iguales. |
| Colaboración/trabajo en equipo | La inteligencia compartida o colectiva surge de la colaboración y la competición de muchas personas y tiene como objetivo mejorar el círculo social del conocimiento existente. Los miembros del equipo tienen por objetivo lograr un enfoque y un contexto para la interacción productiva y el trabajo en red utilizando las TIC. Los avances en el conocimiento de la comunidad están por encima del éxito individual al que contribuye cada participante. |
| Alfabetización en documentación/investigación | Ir más allá de la información dada. Uso constructivo y contribución a las fuentes de conocimiento para identificar y ampliar el círculo social de ideas mejorables, con los trabajos de investigación esenciales para promover/potenciar las fuentes de conocimiento e información. |
| Pensamiento crítico, resolución de problemas y toma de decisiones | Las habilidades de pensamiento de alto nivel se ejercitan con el auténtico trabajo intelectual; el listón de logros se eleva continuamente a través de la resolución del problema autoiniciado y el ajuste con las ideas prometedoras; los participantes se dedican a los problemas y pensamiento complejo. |
| Ciudadanía local y global | Los ciudadanos se sienten parte de una civilización creadora de conocimiento y su objetivo es contribuir a una empresa global; los miembros del equipo valoran diversas perspectivas, construyen conocimientos interconectados compartidos que abarcan entornos formales e informales, ejercer liderazgo y apoyan los derechos inclusivos. |

Competencias del siglo 21

| Competencia del siglo 21 | Experiencia en organizaciones de creación del conocimiento |
|---|---|
| Alfabetización TIC | Integración de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la organización del trabajo diario; espacios comunitarios compartidos construidos y mejorados continuamente por los participantes, con conexión con las organizaciones y los recursos en todo el mundo. |
| Habilidades para la vida y vida profesional | La participación en "toda la vida" y las oportunidades continuas de aprendizaje "en toda la vida"; autoidentificación como creador de conocimiento, independientemente de las circunstancias de la vida circunstancia vital o contexto. Compromiso con las continuas oportunidades de educación permanente a lo largo de toda la vida. |
| Aprender a aprender/ metacognición | Estudiantes y trabajadores pueden ponerse al frente, tomar las riendas a los más altos niveles ejecutivos; la evaluación es esencial para el funcionamiento de la organización, necesitando tanto la metacognición social como la individual. |
| Responsabilidad social y personal – incluida competencia cultural | Los miembros del equipo construyen y mejoran los activos/recursos de conocimiento de la comunidad en su conjunto, con reconocimiento de las dinámicas culturales que permitirá utilizar y mejorar las ideas para servir y beneficiar a una sociedad cambiante multicultural y multilingüe. |

Nota: Traducido de Scardamalia, et al. (2012, p. 246).

El diseño de los ambientes de aprendizaje tiene que tener en cuenta un equilibrio entre cuatro diferentes perspectivas (Figura 15): centrado en el que aprende, centrado en el conocimiento, centrado en la evaluación o centrado en la comunidad (Scardamalia et al., 2012).



Figura 15. How People Learn Framework. Adaptado de How People Learn–National Research Council, 2000, tal y como aparece en Scardamalia, et al. (2012, p. 254).

El sentido de cada una de estas perspectivas o dimensiones es formulado por estos autores en forma de cuestión.

Centrado en el conocimiento: como respuesta a ¿qué es necesario enseñar para satisfacer las necesidades cambiantes de personas y sociedades?

Centrado en el estudiante: ¿cómo puede la nueva información conectarse con las creencias actuales, valores, intereses, habilidades y conocimientos de los alumnos para que aprendan comprensivamente y puedan utilizar con flexibilidad lo que saben?

Centrado en la comunidad: ¿cómo podemos desarrollar comunidades de estudiantes que valoren la excelencia como personas trabajando juntas para construir nuevos conocimientos para el bien común?, y, ¿cómo podemos ampliar nuestro sentido de comunidad y explorar las oportunidades de aprendizaje que conectan las actividades dentro y fuera de la escuela?

Centrado en la evaluación: ¿cómo podemos desarrollar oportunidades de evaluación, frecuentes y útiles, de los estudiantes, profesores, sistemas educativos y las naciones, del progreso que están haciendo en las competencias del siglo 21?

Investigaciones previas sobre los ambientes de aprendizaje ya apuntaban en esta dirección. Así es la experiencia educativa realizada por Erick de Corte (1995; citado por Duarte, 2003, p. 101), en la que se plantea las siguientes preguntas:

- ¿qué tipos de conocimientos, estrategias cognitivas y cualidades afectivas deben ser aprendidos, de manera que los alumnos tengan la disposición para aprender a pensar y resolver problemas con habilidad?
- ¿qué tipo de procesos de aprendizaje deben ser llevados a cabo por los alumnos para lograr la pretendida disposición, incluyendo la mejora de categorías de conocimientos y habilidades?

CAPITULO 11
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

11. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En primer lugar, se analizará la relación entre las hipótesis planteadas y los resultados encontrados en el análisis de datos y seguidamente se efectuará un análisis global de los resultados. Además, se señalan sugerencias para el perfeccionamiento de futuros trabajos de investigación.

11.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LAS HIPÓTESIS

Comprobación de la hipótesis H_1

H_1 : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento de conceptos físicos antes-después de la intervención auto-regulatoria en resolución de problemas.

La hipótesis general se dividió en las siguientes hipótesis:

H_{11} : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 1.

H_{12} : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 2.

H_{13} : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 3.

H_{14} : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 4.

H_{15} : Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos

tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 5.

H₁₆: Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 6.

H₁₇: Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 7.

H₁₈: Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 8.

H₁₉: Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 9.

H₁₁₀: Existirán diferencias significativas en la percepción que los alumnos tienen sobre su conocimiento antes-después de la intervención en la unidad de trabajo 10.

Resultados

En la Unidad 1, las puntuaciones siguen una distribución normal en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre Método Científico, medición y magnitud y se aprecia una ligera distribución asintótica hacia las puntuaciones inferiores en los conceptos referentes a incidencia y reflexión.

En la Unidad 2, las puntuaciones siguen una distribución normal en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre movimiento, velocidad y en los conceptos de la relación entre movimiento y aceleración.

En la Unidad 3, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre siguen una distribución normal en los contenidos relacionados con las Fuerzas y el Movimiento y presentan una ligera asintonía en los contenidos referentes a las Interacciones entre cuerpos.

En la Unidad 4, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos contenidos relacionados con las partículas y las fuerzas y posición siguen una distribución normal.

En la Unidad 5, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre presión siguen una distribución normal y en los contenidos sobre la atmósfera se detecta una pequeña asintonía hacia la izquierda.

En la Unidad 6, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre energía y trabajo presentan una pequeña asintonía hacia la izquierda.

En la Unidad 7, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre el calor siguen una distribución normal.

En la Unidad 8, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre el Movimiento y los Fenómenos ondulatorios presentan una pequeña asintonía hacia la izquierda.

En la Unidad 9, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre el sonido siguen una distribución normal.

En la Unidad 10, las puntuaciones en los contenidos relacionados con los conocimientos sobre la luz y el color siguen una distribución normal.

Respecto de las puntuaciones en la escala ACRA en las Escala IV de Estrategias Metacognitivas, se observa una ligera asintonía hacia la izquierda. Respecto de las estrategias relacionadas con las Estrategias Metacognitivas (auto-conocimiento,

auto-planificación y auto-evaluación) las puntuaciones siguen una distribución normal y también en las puntuaciones de motivación intrínseca y extrínseca, motivación de logro, dentro de la Escala de Apoyo al Procesamiento.

Se comprueban la H_1 y las 10 sub-hipótesis ya que se encuentran diferencias significativas en todas las unidades de trabajo antes-después de la intervención.

Comprobación de la hipótesis H_2

H_2 : Existirán diferencias en la calidad de las respuestas metacognitivas atendiendo a los distintos conceptos de cada unidad de trabajo.

Resultados

No se apreciaron indicadores de desviación en asimetría y curtosis por lo que se puede concluir que las respuestas de los sujetos en los protocolos de pensar en voz alta se distribuían de forma normal. No obstante, de las 507 respuestas analizadas se descartaron 11 ya que el valor de la distancia de Mahalanobis tenía una probabilidad inferior a .001 por lo que el total de respuestas analizadas fue de 499. En el análisis de la calidad de las respuestas metacognitivas las respuestas de Orientación y Planificación siguen una distribución normal, pero no las de Evaluación y Elaboración en las que se apreció una distribución asintótica hacia la izquierda.

Se encontraron diferencias significativas en la calidad de las estrategias metacognitivas empleadas en función de la variable unidad de trabajo el valor del efecto fue alto en la calidad de las respuestas metacognitivas de Evaluación ($\eta^2 = .59$) y de Elaboración ($\eta^2 = .67$). Las diferencias significativas se encontraron entre las unidades 2 y 7, 2 y 8, 3 y 9, 4 y 7, 4 y 8 y 4 y 9. Lo que parece indicar que conforme aumenta la complejidad de los conocimientos físicos existe también una diferencia en la aplicación de la calidad de las respuestas metacognitivas más complejas (Evaluación y Elaboración) y no en las de Orientación y Planificación.

Asimismo, no se encontraron efectos de las covariables conocimientos

previos y estrategias de motivación de logro. Y sí se hallaron efectos de la covariable Estrategias Metacognitivas de auto-conocimiento sobre la calidad de las respuestas metacognitivas de Evaluación y de las Estrategias Metacognitivas de auto-planificación sobre la calidad de las respuestas metacognitivas de Orientación y de Planificación.

Comprobación de la hipótesis H₃

H₃: Existirá relación entre la calidad de las respuestas metacognitivas (medidas con métodos *on-line*) y las estrategias metacognitivas y de motivación de logro (medidas con métodos *off-line*).

Resultados

Se encontraron correlaciones significativas entre las Estrategias Metacognitivas de auto-evaluación (ACRA), medidas con los métodos *off-line*, con las de Orientación y de Planificación, medidas con métodos *on-line*, si bien estas no fueron altas. Asimismo, no se encontraron correlaciones significativas entre la calidad de las respuestas metacognitivas y las estrategias de motivación de logro.

Comprobación de la hipótesis H₄

H₄: Existirá relación entre la calidad de las respuestas metacognitivas (medidas con métodos *on-line*) y las estrategias metacognitivas y los conocimientos previos sobre conceptos físicos de los estudiantes.

Resultados

En la Unidad 1 se encontró una relación significativa entre EEIII y la calidad de las respuestas metacognitivas de orientación, planificación y evaluación en los conocimientos sobre el método científico. También se ha hallado una relación significativa entre EEI, EEII, EEIII y las estrategias metacognitivas medidas con un método *off-line* y la calidad de las respuestas metacognitivas de orientación y

planificación encontradas en los conocimientos sobre magnitud física.

Asimismo, en la Unidad 1 se encontraron correlaciones significativas entre las puntuaciones totales en conocimientos sobre el Método Científico Total (MCDT) y las EEI, EEII, EEIII y EEIV, las estrategias de Auto-conocimiento, la Motivación de logro (ver Tabla 38). Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 2 se encontraron correlaciones significativas entre Velocidad (VETD) y relación entre movimiento y aceleración (MATD) y las estrategias de motivación de logro (ver Tabla 39). Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 3 se encontraron correlaciones significativas entre la calidad de las estrategias de Orientación y Planificación y los conocimientos sobre Interacciones entre cuerpos.

En la Unidad 4, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre partículas y las estrategias metacognitivas de autoconocimiento y auto-evaluación y las estrategias de orientación y de planificación.

Y entre la EEI y los conocimientos sobre Fuerzas y posición y entre la escala de codificación y los conocimientos sobre Fuerzas y posición. Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 5, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre presión y la calidad de las estrategias metacognitivas de evaluación.

En la Unidad 6, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre energía y la calidad de las estrategias metacognitivas de orientación y de planificación.

En la Unidad 7, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre calor y la EEI y la EEIII. Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 8, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre el Movimiento y los Fenómenos ondulatorios y la EEIII. Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 9, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre el sonido y las estrategias de motivación. Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

En la Unidad 10, se encontraron correlaciones significativas entre los conocimientos sobre la luz y la EEII y la EEIV y las estrategias de motivación. Y entre los conocimientos sobre el color y las estrategias de motivación. Pero no entre los conocimientos y la calidad de las respuestas metacognitivas.

11.2. DISCUSIÓN DEL PROCESO Y DE LOS RESULTADOS

En este apartado, en primer lugar, se analizarán las limitaciones y los problemas encontrados en el desarrollo de la investigación expuesta. Seguidamente, con el fin de mejorar y ampliar este trabajo de investigación se realizarán sugerencias para la continuación de esta línea de trabajo en futuras investigaciones y en tercer lugar se hará una relación de los conocimientos disponibles sobre el tema con los resultados encontrados en este trabajo.

11.2.1. LIMITACIONES Y PROBLEMAS ENCONTRADOS EN EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar, señalar la dificultad que tiene la intervención directa en centros educativos. No obstante, es necesario agradecer la disposición de la Dirección del C.C: Jesús-María que ha facilitado en todo momento el desarrollo de la fase de la intervención. Si bien, somos conscientes de que para poder generalizar los resultados

de este estudio sería necesario incrementar el número de participantes y añadir un grupo control para poder eliminar el efecto de la variable maduración que puede estar encubriendo los resultados. Aunque el tipo de trabajo basado en el análisis de protocolos de pensar en voz alta dificulta tanto la ampliación de la muestra como la utilización de un grupo control, ya que por razones éticas es complejo en un mismo centro realizar dos tipos de intervención una autorregulada vs. otra tradicional.

A continuación, se van a señalar las dificultades encontradas respecto de los instrumentos de medida, la muestra, el entrenamiento y los análisis estadísticos.

11.2.2. RESPECTO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Respecto de la Escala de Estrategias de Aprendizaje (ACRA) de Román y Gallego (1994), revisión de Román y Poggioli (2013), es un instrumento que ha sido validado en amplias muestras poblacionales en distintos países por lo que los resultados encontrados con ella son fiables y significativos respecto a la medición de las estrategias de aprendizaje. Asimismo, se ha encontrado en la muestra utilizada en este estudio buenos indicadores de fiabilidad.

Con relación a la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR), aunque se han hallado indicadores de fiabilidad altos, estos tienen que tomarse con prudencia ya que la muestra con la que se ha podido trabajar ha sido de 10 sujetos. Como ya se ha indicado, en futuras investigaciones se debería incrementar su tamaño con el fin de aumentar la fiabilidad del instrumento y posibilitar así generalización de los resultados.

Respecto del Protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas de Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014). En este instrumento los indicadores de fiabilidad son altos, se han realizado para un análisis de 499 protocolos. No obstante, en futuras investigaciones se podría aplicar a estudiantes de ESO en la asignatura de física de otros centros y países con el fin de incrementar la fiabilidad de dicho instrumento y así poder aumentar la generalización de los resultados.

Referente al Programa de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos, en estudios posteriores sería recomendable su aplicación en otros centros y en otros países con el fin de incrementar la fiabilidad de dicho instrumento y así poder aumentar la generalización de los resultados.

11.2.3. RESPECTO DE LA MUESTRA

Una primera limitación se refiere a la generalización de los resultados debido al tamaño pequeño de la muestra, se ha trabajado con 10 sujetos. Si bien, es preciso indicar que el análisis de protocolos requiere mucho tiempo de estudio en sesiones individuales lo que dificulta que la muestra sea más grande. Es preciso reiterar que se grabaron en audio un total 20 protocolos con una duración media de 38 minutos, computándose 760 minutos de grabación (13 horas). Cada hora de grabación supuso 3 horas de transcripción y cada transcripción contabilizó una media de 4 horas de evaluación por cada uno de los dos evaluadores. La media en minutos por registro fue de 33.42 y la $DT = 4.80$. En cada diálogo se registró la intervención de los distintos alumnos (10 en total). El total de registros fue de 499, la media de actividades analizadas por protocolo de 31.81 y la $DT = 19.81$. Otra limitación, es el hecho de que todos los participantes procedían del mismo centro, un centro Privado Concertado que escolariza a alumnos de clase media-alta. Si bien, es el centro en el que el doctorando es profesor de física. Esta limitación podría haber afectado a la generalización de los resultados. Si bien, como se ha señalado anteriormente existen grandes dificultades para el trabajo en los centros educativos y la aplicación longitudinal de programas de intervención autorregulada es difícil si no se dan las circunstancias anteriormente descritas.

11.2.4. RESPECTO DEL ENTRENAMIENTO

También hemos de señalar que se ha hecho un esfuerzo grande de trabajo a lo largo de tres años tanto en la fase de elaboración del material, que es uno de los puntos fuertes de este trabajo de investigación como en la intervención a lo largo de un curso académico completo. Por lo que se reitera de nuevo el agradecimiento a la dirección del Centro educativo, ya que demuestra una sensibilización significativa

hacia la innovación desde metodologías metacognitivas basadas en la autorregulación en el trabajo curricular ordinario.

11.2.5. RESPECTO DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

En este apartado es preciso señalar que la realización de un trabajo de campo en entornos educativos implica el desarrollo de la aplicación de presupuestos teóricos, lo que puede en ocasiones hacer que la aplicación rigurosa de los presupuestos experimentales sea difícil. Asimismo, hay que reiterar que en la actualidad los centros educativos son cada vez más reticentes a la realización de experiencias de innovación ya que la ley de protección de datos y la necesidad de autorización de los tutores legales de los alumnos y alumnas hace que el proceso de investigación sea arduo y entrañe una gran dificultad para llegar a efectuarse. Cuando la investigación queda reducida a datos y a los análisis estadísticos a simple vista no permite hacer explícito todo el trabajo que ha habido hasta llegar a la obtención de los resultados.

De otro lado señalar que los análisis estadísticos empleados, a pesar de que el número de la muestra ha sido sólo de 10 sujetos han seguido un alto rigor de metodología estadística. Aplicándose en los casos necesarios pruebas de estadística no paramétrica. Si bien, en futuras investigaciones se intentará incrementar el tamaño de la muestra con el fin de ampliar la generalización de los resultados.

11.3. SUGERENCIAS PARA EL PERFECCIONAMIENTO DE FUTUROS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Como síntesis a la reflexión sobre la experiencia en investigación nos parece oportuno señalar una serie de puntos que pueden mejorar futuros trabajos de investigación que darán continuidad a la ya iniciada:

1. Aumentar el tamaño de la muestra con el fin de incrementar la potencia de los resultados. Esto permitirá una mayor generalización de las conclusiones.
2. Realizar un proceso de validación de la Escala de auto-evaluación del

conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) en muestras poblacionales más altas.

3. Realizar un proceso de validación del Protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas de Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014) en muestras poblacionales más altas.
4. Aplicar el Programa de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos para alumnos de 4º de ESO a muestras más amplias, en distintos centros y países.
5. Realizar estudios sobre el ajuste de los modelos planteados cuando se incremente el tamaño muestral.

11.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS CONOCIMIENTOS DISPONIBLES SOBRE EL TEMA

Este estudio se ha centrado en el análisis de protocolos de pensar en voz alta en tareas normalizadas de aula en el aprendizaje de conocimientos físicos en Secundaria. Dicha investigación sigue la línea de investigación de los estudios de Marcel Veenman, Manita van der Stel y colaboradores. Si bien, los aspectos diferenciadores respecto de estudios anteriores han sido el trabajo longitudinal a lo largo de un curso académico en contextos de aula normalizados y la elaboración de materiales para el aprendizaje de la física en ESO basados en la autorregulación en resolución de problemas de física. Se ha hecho un especial hincapié en el trabajo desde las auto-preguntas en el aula y en la secuenciación metacognitiva de los pasos de resolución en las sesiones de intervención.

Por todo ello esta investigación tiene el valor de los estudios de microanálisis que no permiten una generalización excesiva de los resultados.

CAPITULO 12
CONCLUSIONES RELEVANTES

12. CONCLUSIONES RELEVANTES

En este capítulo se presentarán primeramente otras propuestas de investigación para futuros trabajos. En segundo término, se expondrán algunas conclusiones dirigidas a los profesionales de la enseñanza y en último se analizarán las aportaciones más relevantes de este estudio.

12.1. REFERIDAS A OTRAS PROPUESTAS DE TRABAJO

Las propuestas para investigaciones semejantes son producto de la reflexión sobre los resultados encontrados en la investigación desarrollada.

12.2. PROPUESTAS PARA INVESTIGACIONES SEMEJANTES

Como ya se ha ido indicando a lo largo los apartados anteriores, sería relevante:

1. Facilitar la formación del profesorado de ESO en la metodología metacognitiva basada en la autorregulación del aprendizaje en el campo de la física.
2. Realizar un proceso de validación de la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) en muestras poblacionales más amplias.
3. Efectuar un procedimiento de validación del Protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas de Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014).
4. Aplicar el Programa de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos para alumnos de 4º de ESO a muestras más amplias y en distintos centros.
5. Trabajar desde la metodología metacognitiva basada en la autorregulación del aprendizaje a lo largo de toda la ESO y también el Bachillerato. Todo lo cual, permitirá el desarrollo de estudios comparativos atendiendo a la variable tipo de materia.

12.3. CONCLUSIONES PARA EL TRABAJO DE LOS PROFESIONALES DE LA ENSEÑANZA

A pesar de las dificultades encontradas y de la prudencia en la interpretación de los resultados debido al tamaño de la muestra. Se puede señalar que:

1. La intervención metacognitiva basada en una metodología autorregulatoria produce en los alumnos de 4º de ESO un incremento en la auto-percepción que éstos tienen sobre su conocimiento en los distintos conceptos de física trabajados en las distintas unidades del programa y que abarcan parte de los contenidos curriculares marcados por el currículo de ESO (ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo). La mayoría de estudiosos de la didáctica de la física coinciden en que, un paso imprescindible para mejorar el rendimiento en el aprendizaje de la ciencia y para aumentar el número de alumnos en titulaciones científicas, es un cambio en las metodologías y escenarios en los que se imparte esta materia, en relación a la denominada metodología tradicional. Algunas de estas metodologías de enseñanza-aprendizaje constructivista, que han demostrado su eficacia en las escuelas y universidades que las han implementado, han sido citadas en este documento. Aún con matices (enfoque, temporalidad, número de alumnos por grupo, etc.) todas ellas coinciden en que la metodología metacognitiva basada en la autorregulación del aprendizaje facilita el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Otro aspecto a destacar sería el de la personalización de la enseñanza a cada alumno. Es por lo que, además de lograr implementar en el aula metodologías activas, el docente debe comprender el proceso de resolución de problemas, por lo que es importante que se dé una prioridad en el currículo a aquellos aspectos relativos al desarrollo de estrategias metacognitivas que incrementen la motivación del alumno en su proceso de aprendizaje.
2. La calidad de las estrategias metacognitivas empleadas en la construcción del aprendizaje de los distintos conceptos físicos parece depender de la complejidad del aprendizaje de los distintos contenidos (conceptuales y procedimentales) en relación al uso de la calidad de las estrategias más complejas como son las de Evaluación y Elaboración y no así en las estrategias más sencillas (Orientación y Planificación).

3. La calidad de las respuestas metacognitivas parece que no está influida por las variables conocimientos previos del sujeto sobre la materia y motivación de logro (intrínseca y extrínseca). Pero sí, por la percepción que este tenga sobre sus habilidades de auto-conocimiento en relación a la calidad de las estrategias metacognitivas de Evaluación. Asimismo, está condicionada por la percepción que dicho sujeto tiene del uso de sus estrategias de Planificación sobre la calidad de las estrategias metacognitivas de Orientación y de Planificación.
4. El tipo de conceptos físicos parece ser que están relacionados con la calidad de las estrategias metacognitivas que el sujeto emplea, especialmente en las de Evaluación y de Elaboración. Si bien esta diferencia se sitúa entre las primeras unidades y las últimas. Todo lo cual puede ser debido al proceso de maduración cognitiva y metacognitiva que se produce en el aprendiz a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta es una hipótesis a contrastar en futuras investigaciones.
5. En la relación entre las respuestas metacognitivas medidas con métodos *on-line* y *off-line*, los resultados apoyan las investigaciones de Veenman y colaboradores señaladas en la justificación. Las correlaciones entre ambos tipos de medición son pequeñas y escasamente significativas, sólo se ha encontrado una pequeña correlación entre las estrategias metacognitivas de auto-evaluación medidas con métodos *off-line* y las estrategias metacognitivas de Orientación y Planificación medidas con métodos *online*.
6. Se han hallado correlaciones significativas entre la percepción que el sujeto tiene de sus conocimientos sobre algunos conceptos físicos y el percentil en las escalas metacognitivas medidas con ACRA. Pero no con las puntuaciones extraídas con métodos *on-line* en la calidad de las estrategias metacognitivas. Esta conclusión abre otra línea de continuidad en la investigación relacionada con la percepción que el sujeto tiene del uso de las estrategias metacognitivas y las que realmente utiliza en los procesos de aprendizaje en tiempo real. Es decir, quizás el sujeto distorsiona su percepción del uso de las estrategias metacognitivas en los procesos de construcción conceptual y procedimental.

7. El modelo que mejor se ha ajustado ha sido el que incluye las estrategias metacognitivas medidas con métodos *on-line*, la percepción de los conocimientos previos por parte del sujeto y el tipo de sujeto. Este resultado plantea la disyuntiva sobre la idea que el sujeto tiene sobre su conocimiento al inicio del aprendizaje de una materia específica, el uso real que hace durante el proceso de aprendizaje de las estrategias metacognitivas y las características individuales del sujeto que aprende. Esta conclusión conlleva un planteamiento específico del proceso de enseñanza para cada estudiante. Es decir, la individualidad del proceso de enseñanza-aprendizaje. Lo cual puede parecer en ocasiones de difícil consecución. No obstante, si se utilizan las nuevas tecnologías se podrían llevar a efecto programas adaptados a las características de cada uno de los alumnos. Este es otro reto de continuidad: desarrollar aplicaciones informáticas en las que se analice la forma de aprender de los estudiantes, los conocimientos previos sobre la materia y el tipo de estrategias metacognitivas que emplean y con esta información se diseñarían programas que facilitasen la adquisición de conocimientos a cada tipo de alumnos.

8. El análisis del error es un factor esencial en el conocimiento de cómo el sujeto procesa información. En este estudio se ha encontrado que los porcentajes más altos en el tipo de error (30.3%) se relacionan con una comprensión ambigua del conocimiento por parte del aprendiz. Este es un hecho relevante ya que el aprendiz novel se enfrenta a la construcción de conocimientos, que en la materia de física están vinculados a altos niveles de abstracción. Lo que se refleja en una ausencia de vocabulario adecuado para expresar con rigor los conceptos (24.4%) y la realización de errores conceptuales (18.18%). Los porcentajes de todas estas variables referencian el 90.94% del tipo de errores y un 72.88% de las sentencias emitidas por los alumnos frente a un 18.24% de respuestas correctas en el total de las sentencias realizadas por los estudiantes. No obstante, hay que considerar que se encontraron diferencias significativas en relación al tipo de unidad trabajada y también a la variable tipo de tema. Lo que lleva a inferir que no todos los conceptos siguen el mismo patrón de construcción ni tienen el mismo gradiente de dificultad. Asimismo, estos resultados parecen independientes de la variable tipo de alumno. Lo que se apoya en otro de los resultados encontrados en este estudio relacionado con que la variable conocimientos previos parece ser que no es tan

determinante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, como se pensaba al inicio de la investigación. Asimismo, la variable que tiene más peso es la construcción del tipo de conocimiento. Lo que previsiblemente esté vinculado al andamiaje en la jerarquización de la conceptualización y la interrelación conceptual. Por todo ello estudios posteriores irán dirigidos al microanálisis de la adquisición de los distintos conocimientos físicos desde el análisis de protocolos en voz alta. Los resultados de esta investigación previsiblemente mejorarán la forma de presentación de la tarea y por ende la comprensión de los conocimientos físicos, tanto conceptuales como procedimentales.

12.4. APORTACIONES DE ESTE TRABAJO

A modo de síntesis y con el fin de no ser reiterativos, ya que las aportaciones de este trabajo de investigación se han ido exponiendo a lo largo de este capítulo; seguidamente se señalarán las aportaciones más significativas.

12.4.1. RESPECTO A MATERIALES

1. La elaboración de un Programa de enseñanza-aprendizaje de conceptos físicos para alumnos de 4º de ESO, que además se encuentran disponibles *on-line* en <http:// analisisprotocolosfisica.com>.
2. La elaboración de la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR).
3. La elaboración del Protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas de Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014).

12.4.2. RESPECTO A LA INTERVENCIÓN

La elaboración de un programa de trabajo de los conceptos físicos dentro del currículo de ESO diseñado desde una perspectiva auto-regulatoria de resolución de problemas. Asimismo, dicho programa incluye un sistema de evaluación por rúbricas

Análisis de Protocolos en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria:
Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura de Física

que puede servir tanto para efectuar un *feedback* del proceso de aprendizaje por parte del docente como para que el aprendiz realice una auto-evaluación de dicho proceso.

Bibliografía

- Aliane, N. (2006). Una experiencia de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura de robótica. Recuperado de <http://abacus.universidadeuropea.es/handle/11268/3426>
- Alonso, C., Gallego, D., & Honey, P. (1994). *Los Estilos de Aprendizaje. Procedimientos de diagnóstico y Mejora*. Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Alonso-Tapia, J., & Panadero, E. (2010). Effects of self-assessment scripts on self-regulation and learning. *Infancia y Aprendizaje*, 33(3), 385-397. doi: 10.1174/021037010792215145
- Arias, B. (2008). Desarrollo de un ejemplo de análisis factorial confirmatorio con LISREL. AMOS y SAS. Seminario de Actualización en Investigación sobre Discapacidad SAID 2008. [Development of an example of confirmatory factor analysis with LISREL. AMOS and SAS. Updated Seminar on Disability Research SAID 2008]. Recuperado de <http://www.benitoarias.com/articulos/afc.pdf>
- Arias, B., Verdugo, M.A., Navas, P., & Gómez, L.E. (2013). Factor structure of the construct of adaptive behavior in children with and without intellectual disability. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 13(2), 155-166. doi: 10.1016/S1697-2600(13)70019-X
- Anderson, J. R., Lee, H. S., & Fincham, J. M. (2014). Discovering the structure of mathematical problem solving. *NeuroImage*, 97, 163-177. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.04.031
- Andrade, H. G. (1997). Understanding rubrics. *Educational leadership*, 54(4), 14-17.
- Andrade, H. G. (2000). Using rubrics to promote thinking and learning. *Educational Leadership*, 57(5), 13-19.
- Andrade, H. G. (2005). Teaching with rubrics: The good, the bad, and the ugly. *College teaching*, 53(1), 27-31. doi:10.3200/CTCH.53.1.27-31
- Andrade, H. L. (2010). Students as the definitive source of formative assessment. *Handbook of formative assessment*, 90-105. New York: Routledge.
- Angelini, M. L., & García-Carbonell, A. (2015). Percepciones sobre la integración de modelos pedagógicos en la formación del profesorado: La simulación y juego y el flipped classroom. *Education in the Knowledge Society (EKS)*,

16(2), 16-30. doi: 10.14201/eks20151621630

- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1976-1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3). México: Trillas.
- Baker, L., & Brown, A. L. (1984). Metacognitive skills and reading. *Handbook of reading research*, 1(353), V394. New York: Longman.
- Bandalos, D. L., & Finney, S. J. (2001). Item parceling issues in structural equation modeling. En G. A. Marcoulides & R. E. Schumacker (Eds.). *New development and techniques in structural equation modeling* (pp. 269-296). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Barlow, D.H., & Hersen, M. (1988). Diseños experimentales de caso único: Estrategias para el estudio del cambio conductual. Barcelona: Martínez Roca.
- Bausela Herreras, E. (2005). Ansiedad ante los exámenes: evaluación e intervención psicopedagógica. *Educere*, 31(9), 553-558. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/20020>
- Bandura, A., & Walters, R. H. (1987). *Aprendizaje social y desarrollo de la personalidad*. Alianza Editorial.
- Beck, S. W., Llosa, L., Black, K., & Trzeszkowski-Giese, A. (2015). Beyond the Rubric. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 58(8), 670-681. doi:10.1002/jaal.423
- Beltrán Llera, J. A. (2003). Estrategias de aprendizaje. *Revista de Educación*, 332, 55-73. Recuperado de <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/d/11443/19/00>
- Benson, L., Cook, M., McGough, C., & Grigg, S. (2012). Work in progress: Audio reflections provide evidence of metacognition during students' problem solving attempts. *Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-2. IEEE. doi: 10.1109/FIE.2012.6462475
- Bernabeu, J. R. R., Sánchez, A. J. G., Carmona, R. M., & Cuerda, R. S. (2007). El Aprendizaje Basado en Proyectos como modelo docente. Experiencia interdisciplinar y herramientas Groupware. *XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/1808>
- Biggs, J. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea.
- Bravo, C. M. (1992). Análisis del modelo de inteligencia de Robert J. Sternberg. *Tabanque: Revista pedagógica*, (8), 21-38.
- Brophy, J. (2000). *Teaching*. Brussels, Belgium: International Academy of Education.

- Bulu, S. T., & Pedersen, S. (2012). Supporting problem-solving performance in a hypermedia learning environment: The role of students' prior knowledge and metacognitive skills. *Computers in Human Behavior*, 28(4), 1162-1169. doi: 10.1016/j.chb.2012.01.026
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and Effectiveness*. Colorado Springs, CO: BSCS. Recuperado de http://bscs.org/sites/default/files/_legacy/BSCS_5E_Instructional_Model-Full_Report.pdf
- Campanario, J. M., & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias?: principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192. Recuperado de <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v17n2/02124521v17n2p179.pdf>
- Campanario, J. M., & Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169. Recuperado de <http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v18n2/02124521v18n2p155.pdf>
- Campos, F. S. (2006). El Aprendizaje Basado en Problemas como propuesta educativa para las disciplinas económicas y sociales apoyadas en el BLearning. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40(2), 3.
- Caprile, M., Palmén, R., Sanz, & Dente, G. (2015). *Encouraging STEM studies for the labour market (Directorate-General for Internal Policies:European Parliament)*. Brussels: European Union. Recuperado de [http://www.europarl.europa.eu/thinktank/es/document.html?reference=IPOL_STU\(2015\)542199](http://www.europarl.europa.eu/thinktank/es/document.html?reference=IPOL_STU(2015)542199)
- Celina, H., & Campo A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista colombiana de psiquiatría*, XXXIV (004), 572-580. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/806/80634409.pdf>
- Dansereau, D. F. (1985). Learning strategy research. *Thinking and learning skills*, 1, 209-239. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Darling-Hammond, L., & McLaughlin, M. W. (2004). Políticas que apoyan el desarrollo profesional en una época de reforma. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 8(2) 1-16. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/15204>

- Desoete, A. (2008). Multi-method assessment of metacognitive skills in elementary school children: How you test is what you get. *Metacognition and Learning*, 3(3), 189-206. doi: 10.1007/s11409-008-9026-0
- Derry, S. J., & Murphy, D. A. (1986). Designing systems that train learning ability: From theory to practice. *Review of educational research*, 56(1), 1-39. doi: 10.3102/00346543056001001
- Dewey, J. (1995). *Democracia y educación: una introducción a la filosofía de la educación* (Trad. L. Luzuriaga). Madrid: Morata (Reimpreso de *Democracy and education: an introduction to the philosophy of education*, por P. Monroe, Ed., 1916, New York: Macmillan).
- Dochy, F., Segers, M., & Dierick, S. (2002). Nuevas vías de aprendizaje y enseñanza y sus consecuencias: una nueva era de evaluación. *Revista de Docencia universitaria*, 2(2). Recuperado de <http://revistas.um.es/redu/article/view/20051/19411>
- Duarte, D. (2003). Ambientes de aprendizaje: una aproximación conceptual. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, (29), 97-113. doi: 10.4067/S0718-07052003000100007
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological review*, 87(3), 215. doi: 10.1037/0033-295X.87.3.215
- Escorcía, D. (2010). Conocimientos metacognitivos y autorregulación: una lectura cualitativa del funcionamiento de los estudiantes universitarios en la producción de textos. *Avances en Psicología latinoamericana*, 28(2), 265-277. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/apl/v28n2/v28n2a10.pdf>
- European Commission. (2004). *Europe needs more scientists* (Report by the High Level Group on Increasing Human Resources on Science and Technology in Europe). Recuperado de https://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/conference_review_en.pdf
- European Commission. (2007). *Science Education NOW: A renewed pedagogy for the future of Europe*. (Report by the High Level Group on Increasing Human Resources on Science and Technology in Europe). Recuperado de http://ec.europa.eu/research/sciencesociety/document_library/pdf_06/report-rocard-on-scienceeducation_en.pdf
- European Roundtable of Industrialists (ERT). (2009). *Mathematics, science and technology education report: The case for a European Coordinating Body*.

- Report prepared by the ERT Societal Changes Working Group, chaired by Leif Johansson. Brussels: European Roundtable of Industrialists. Recuperado de http://ert.eu/sites/ert/files/generated/files/document/mst_report_final.pdf
- Fawcett, L. M., & Garton, A. F. (2005). The effect of peer collaboration on children's problem-solving ability. *British Journal of Educational Psychology*, 75(2), 157-169.
- Fernández, I., Cachapuz, A., Carrascosa, J., Gil, D., & Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 20, pp. 477-488).
- Furió Mas, C., & Guisasola Aranzábal, J. (2001). La enseñanza del concepto de "campo eléctrico" basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), 319-334. Recuperado de <http://ddd.uab.cat/record/1534>
- Gagné, R. (1971). *Las condiciones del aprendizaje*. Madrid: Aguilar
- Gagné, R. M., & Glaser, R. (1987). Foundations in learning research. *Instructional technology: foundations*, 49-83.
- Gardner, H. (1998). *Inteligencias Múltiples. La teoría en la Práctica*. Barcelona: Paidós.
- Gargallo, B., Suárez-Rodríguez, J. M., & Pérez-Pérez, C. (2009). El cuestionario CEVEAPEU. Un instrumento para la evaluación de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios. *RELIEVE*, v. 15, n. 2, p. 1-31. Recuperado de http://www.uv.es/RELIEVE/v15n2/RELIEVEv15n2_5.htm
- Garner, R., & Alexander, P. A. (1989). Metacognition: Answered and unanswered questions. *Educational psychologist*, 24(2), 143-158. doi: 10.1207/s15326985ep2402_2
- González, C. M. (2012). Aplicación del Constructivismo Social en el Aula. Recuperado de http://www.oei.es/formaciondocente/materiales/OEI/2012_GONZALEZ_ALVAREZ.pdf
- Gu, Y. (2012). Learning strategies: Prototypical core and dimensions of variation. *Studies in Self-Access Learning Journal*, 3(4), 330-356. Recuperado de <http://sisaljournal.org/archives/dec12/gu>
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics. *Cognition and Instruction*, 12, 151-183. doi: 10.1207/s1532690xci1202_4

- Hammer, D. (1995) Epistemological Considerations in Teaching Introductory Physics. *Science Education*, 79, 393-413. doi: 10.1002/sce.3730790404
- Harks, B., Rakoczy, K., Hattie, J., Besser, M., & Klieme, E. (2014). The effects of feedback on achievement, interest and self-evaluation: the role of feedback's perceived usefulness. *Educational Psychology*, 34(3), 269-290. doi: 10.1080/01443410.2013.785384
- Harvey, L., & Green, D. (1994) *Quality in Higher Education Project: Employer Satisfaction Summary Report*. Birmingham, UK: University of Central England.
- Hattie, J. (2013). Calibration and confidence: where to next? *Learning and Instruction*, 24, 62-66. doi: 10.1016/j.learninstruc.2012.05.009
- Hattie, J., & Gan, M. J. (2014). Prompting secondary students' use of criteria, feedback specificity and feedback levels during an investigative task. *Instructional Science*, 42(6), 861-878. doi:10.1007/s11251-014-9319-4
- Heckman, J. J., Stixrud, J., & Urzua, S. (2006). The effects of cognitive and noncognitive abilities on labor market outcomes and social behavior. *Journal of Labor Economics*, 24 (3), 411-482. doi: 10.3386/w12006.
- Herr, N., Rivas, M., Foley, B., d'Alessio, M., & Vandergon, V. (2012). Using Cloud-Based Collaborative Documents to Perform Continuous Formative Assessment During Instruction. *World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 612-615.
- Ibarra, M.S., Rodríguez, G. y Gómez, M.A. (2012). La evaluación entre iguales: beneficios y estrategias para su práctica en la universidad. *Revista de Educación*, 359, 206-231. doi: 10-4438/1988-592X-RE-2010-359-092
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa. (2014). *Los resultados españoles en la competencia de resolución de problemas en PISA* (Boletín No. 31). Recuperado de <http://www.mecd.gob.es/dctm/inee/boletines/educainee-31cba-3-3.pdf?documentId=0901e72b8190c336>
- Janssen, G., Meier, V., & Trace, J. (2015). Building a better rubric: Mixed methods rubric revision. *Assessing Writing*, 26, 51-66. doi:10.1016/j.asw.2015.07.002
- Jonsson, A., & Svingby, G. (2007). The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. *Educational research review*, 2(2), 130-144. doi:10.1016/j.edurev.2007.05.002

- Kelley, T. R., Capobianco, B. M., & Kaluf, K. J. (2014). Concurrent think-aloud protocols to assess elementary design students. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-20. doi: 10.1007/s10798-014-9291-y
- Kohn, A. (2006). The trouble with rubrics. *English journal*, 95(4), 12-15.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
- Lajoie, S. P., & Lu, J. (2012). Supporting collaboration with technology: does shared cognition lead to co-regulation in medicine?. *Metacognition and Learning*, 7(1), 45-62. doi:10.1007/s11409-011-9077-5
- Larmer, J., Mergendoller, J., & Boss, S. (2015). *Setting the standard for project based learning: A proven approach to rigorous classroom instruction*. Alexandria, VA: ASCD.
- Lewin C, McNicol S (2014). Creating the future classroom: evidence from the iTEC project. Manchester, UK: Manchester Metropolitan University. Recuperado de <http://bit.ly/1CWxuRb>
- Lu, J., & Zhang, Z. (2013). Assessing and supporting argumentation with online rubrics. *International Education Studies*, 6(7), p66. doi:10.5539/ies.v6n7p66
- Maldonado, M. P. (2008). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. *Revista de Educación Laurus*, 14(28), 158-180. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111716009>
- McCullough, C. A. (2007). *Factors that influence the effectiveness of assessment plans in the improvement and sustainment phase in colleges and universities*. West Virginia: ProQuest.
- Meijer, J., Veenman, M. V., & Van Hout-Wolters, B. H. (2006). Metacognitive activities in text-studying and problem-solving: Development of a taxonomy. *Educational Research and Evaluation*, 12(3), 209-237. doi: 10.1080/13803610500479991
- Meijer, J., Veenman, J.M., & Van Hout-Wolters, B. (2012). Multi-domain, multimethod measures of metacognitive activity: What is all the fuss about metacognition ... indeed? *Research Papers in Education*, 27(5), 597-627. doi: 10.1080/02671522.2010.550011
- Mertler, C. A. (2001). Designing scoring rubrics for your classroom. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 7(25), 1-10. Recuperado de <http://pare>

online.net/getvn.asp?v=7&n=25

- Monereo, C., Cabaní, M. L. P., Muñoz, M. P., i Muntada, M. C., & Badia, M. C. (1999). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje: formación del profesorado y aplicación en la escuela* (Vol. 112). Barcelona: Graó.
- Mui So, W. W., & Hoi Lee, T. T. (2011). Influence of teachers' perceptions of teaching and learning on the implementation of Assessment for Learning in inquiry study. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 18(4), 417-432. doi:10.1080/0969594X.2011.577409
- National Research Council (NCR). (1996). *National science education standards*. National Committee for Science Education Standards and Assessment. Washington, DC: The National Academy Press. doi: 10.17226/4962
- National Research Council. (2011). *Expanding Underrepresented Minority Participation: America's Science and Technology Talent at the Crossroads*. National Committee on Underrepresented Groups and the Expansion of the Science and Engineering Workforce Pipeline. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/12984
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- Novak, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 213-223. Recuperado de www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/51070/92966
- OCDE (2008). *Encouraging Student Interest in Science and Technology Studies*. Global Science Forum. doi: 10.1787/9789264040892-en
- OCDE (2013). PISA 2015. Draft collaborative problem solving framework. Recuperado de [https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft PISA 2015 Collaborative Problem Solving Framework .pdf](https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft_PISA_2015_Collaborative_Problem_Solving_Framework.pdf)
- OCDE (2013). PISA 2015. Draft Science Framework. Recuperado de [http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft PISA 2015 Science Framework .pdf](http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft_PISA_2015_Science_Framework.pdf).
- ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se obliga en la Comunidad de Castilla y León. Boletín Oficial de Castilla y

- León, 86, de 8 de mayo de 2015. Recuperado de: <http://bocyl.jcyl.es/boletines/2015/05/08/pdf/BOCYL-D-08052015-4.pdf>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. London: The Nuffield Foundation.
- Panadero, E., Alonso-Tapia, J., & Huertas, J. A. (2012). Rubrics and selfassessment scripts effects on self-regulation, learning and self-efficacy in secondary education. *Learning and individual differences*, 22(6), 806-813 doi:10.1016/j.lindif.2012.04.007
- Panadero, E., & Alonso-Tapia, J. (2013). Self-assessment: theoretical and practical connotations. When it happens, how is it acquired and what to do to develop it in our students. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 11(2), 551-576. doi: 10.14204/ejrep.30.12200
- Panadero, E., Alonso-Tapia, J., & Reche, E. (2013). Rubrics vs. self-assessment scripts effect on self-regulation, performance and self-efficacy in preservice teachers. *Studies in Educational Evaluation*, 39(3), 125-132. doi:10.1016/j.stueduc.2013.04.001
- Panadero, E., Alonso-Tapia, J., & Huertas, J. A. (2014). Rubrics vs. selfassessment scripts: Effects on first year university students' self-regulation and performance. *Infancia y Aprendizaje: Journal for the Study of Education and Development*, 37(1), 149-183. doi:10.1080/02103702.2014.881655
- Panadero, E., & Jonsson, A. (2013). The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. *Educational Research Review*, 9, 129-144. doi:10.1016/j.edurev.2013.01.002
- Panadero, E., & Alonso-Tapia, J. (2014). ¿Cómo autorregulan nuestros alumnos? Revisión del modelo cíclico de Zimmerman sobre autorregulación del aprendizaje. *Anales de Psicología*, 30(2), 450-462.
- Panadero, E., Romero, M., & Strijbos, J. W. (2013). The impact of a rubric and friendship on construct validity of peer assessment, perceived fairness and comfort, and performance. *Studies in Educational Evaluation*, 39(4), 195-203. doi: 10.1016/j.stueduc.2013.10.005
- Panadero, E., & Romero, M. (2014). To rubric or not to rubric? The effects of self-assessment on self-regulation, performance and self-efficacy. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 21(2), 133-148,

doi: 10.1080/0969594X.2013.877872

- Penagos, H. P. (2011). ¿Cómo desarrollar la metacognición en la educación superior mediante la resolución de problemas? *Ingeniería e investigación*, 31(1), 213-223. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092011000100022&lng=en&tlng=es
- Perales, F. J. P. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 170-178. Recuperado de <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21188>
- Pereda, S (1987). *Psicología Experimental: I. Metodología*. Madrid: Pirámide.
- Pérez, L. L., & Olvera-Lobo, M. D. (2015). Comunicación de la ciencia 2.0 en España: El papel de los centros públicos de investigación y de medios digitales/Corporate names in family businesses in Alicante (Spain). Verbal criteria. *Revista Mediterránea de Comunicación/Mediterranean Journal of Communication*, 6(2), 165-179. doi: 10.14198/MEDCOM2015.6.2.08
- Piaget, J. (1991). Seis estudios de psicología {Trad. Jordi Marfà}. En Editorial Labor, S.A., *El desarrollo mental del niño* (pp. 9-94). Barcelona. (Reimpreso de *Six etudes de psycholoche*, por Editions Gonthier, 1964).
- Pozo, J.I. (2003). *Adquisición de conocimiento*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I. (2006). La nueva cultura del aprendizaje en la sociedad del conocimiento. En Pozo, J. I.; N. Scheuer; Ma. Pérez Echeverría; M. Mateos & M. de la Cruz. *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona: Graó.
- Pozo, J. I., & Crespo, M. Á. G. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata.
- Pozo, J. I., Sanz, A., Crespo, M. G., & Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 083-94. Recuperado de <http://ddd.uab.cat/record/50215>
- Prieto, G. y Delgado, A.R. (2003). Análisis de un test mediante el modelo de Rasch. *Psicothema*, 15, 94-100.
- Prins, F. J., Veenman, M. V., & Elshout, J. J. (2006). The impact of intellectual ability and metacognition on learning: New support for the threshold of problematicity theory. *Learning and instruction*, 16(4), 374-387.
- Queiruga, M A. (2015). Nuevas metodologías, nuevos escenarios. *Innovación en la*

- enseñanza de las ciencias: reflexiones, experiencias y buenas prácticas* (pp. 27-39). A Coruña: Editorial Q.
- Queiruga, M. A. (2016). Cómo convertir el aula en un escenario de aprendizaje significativo. En J. Gómez-Galán, E. López-Meneses & A. H. M. Padilla. *Advances and Innovations in Educational Research* (pp. 101-108). San Juan, PR: UMET Press.
- Queiruga, M. A. (2016). Indagación, trabajo cooperativo y método científico en la enseñanza-aprendizaje de la física en Secundaria Obligatoria. Propuesta y reflexión. En J. Gómez-Galán, E. López-Meneses & L. M. García. *Instructional Strategies in Teacher Training* (pp. 317-329). San Juan, PR: UMET Press.
- Ramírez, J. L., Gil, D., & Torregrosa, J. M. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*. Madrid: CIDE/MEC.
- Reif, F. (2008). *Applying cognitive science to education: thinking and learning in scientific and other complex domains*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Requena, M. (2003). El análisis de protocolo como técnica para la comprensión de los procesos de razonamiento. *Revista de Educación Laurus*, 9(16), 79-96. Recuperado de <http://repositoriodigital.academica.mx/jspui/handle/987654321/402912>
- Rodríguez-Sandoval, E., Vargas-Solano, É. M., & Luna-Cortés, J. (2010). Evaluación de la estrategia “aprendizaje basado en proyectos”. *Educación y Educadores*, 13(1), 143-158. doi: 10.1590/S1414-40772010000100008
- Román, J. M., & S. Gallego. (1994). ACRA: *Escalas de Estrategias de Aprendizaje*. Ed. TEA. Madrid.
- Román, J.M. y Poggioli, L. (2013). ACRA (r): *Escalas de estrategias de aprendizaje*. Caracas: Publicaciones UCAB (Postgrado: Doctorado en Educación).
- Saab, N. (2012). Team regulation, regulation of social activities or co-regulation: Different labels for effective regulation of learning in CSCL. *Metacognition and Learning*, 7(1), 1-6. doi: 10.1007/s11409-011-9085-5
- Sandi-Urena, S., Cooper, M., & Stevens, R. (2012). Effect of cooperative problem-based lab instruction on metacognition and problem-solving skills. *Journal of Chemical Education*, 89(6), 700-706. doi:10.1021/ed1011844
- Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and

- distinctions. *Essential Readings in Problem-Based Learning: Exploring and Extending the Legacy of Howard S. Barrows*, 5. doi: 10.7771/1541-5015.1002.
- Sáiz, M. C. (1996). *Adaptación y validación de un programa de desarrollo sociocognitivo en niños con deprivación socio-ambiental*. (Tesis Doctoral). Valladolid: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valladolid (Autorizada su publicación en el Repositorio de la Universidad de Burgos por parte de la Universidad de Valladolid). Recuperado de <http://riubu.ubu.es/handle/10259/139>
- Sáiz, M.C. (2014). *Qualitative protocol analysis: criteria for assessing the quality of metacognitive skillfulness in physics*. Documento no publicado.
- Sáiz, M. C., & Bol, A. (2014). Aprendizaje basado en la evaluación mediante rúbricas en educación superior. *Suma Psicológica*, 21(1), 28-35.
- Sáiz, M. C., & Bol, A. (2015). Como enseñar y cómo evaluar la resolución de problemas en Física: una reflexión sobre la propia práctica. *Innovación en la enseñanza de las ciencias: reflexiones, experiencias y buenas prácticas* (pp. 129-146). A Coruña: Editorial Q.
- Sáiz, M.C., Cuesta, I., Alegre, J., Barrio, L., & Peña, L. (2015). Evaluación Continua a través de rúbricas en el Grado en Ingeniería Mecánica. En J.Meneses, C. Caballero & M.A Moreira. *VII Encuentro Internacional sobre aprendizaje significativo y V Encuentro Iberoamericano sobre investigación en enseñanza de las ciencias* (pp. 959-966). Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Sáiz, M.C., & Escolar, M.C. (2013). *Observación Sistemática e Investigación en contextos educativos [Systematic observation and research in educational environment]*. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Sáiz, M.C., Queiruga, M.A., Montero, E., & Mateos, M. (2015). Evaluación por rúbricas en educación secundaria: un estudio en ciencias experimentales. En J. Meneses, C. Caballero & M.A Moreira. *VII Encuentro Internacional sobre aprendizaje significativo y V Encuentro Iberoamericano sobre investigación en enseñanza de las ciencias* (pp. 1015-1022). Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Sáiz, M.C., & Marticorena, R. (2016). Metacognition, self-regulation and feedback for Object-Oriented Programming problem-solving (pp.58-86). En J. Benson

- Metacognition: Theory, Performance and Current Research*. New York: Nova.
- Sáiz, M.C., & Montero, E. (2015). Metacognition, Self-regulation and Assessment in Problem-Solving Processes at University. En A. Peña-Ayala (Ed.) *Metacognition: Fundamentals, Applications, and Trends* (Vol. 76 series Intelligent Systems, pp. 107-133). Switzerland: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-11062-2_5
- Sáiz, M.C., & Pérez, M.I. (2016). Autorregulación y mejora del autoconocimiento en resolución de problemas. *Psicología desde el Caribe*, 33(1), 14-30. doi: 10.14482/psdc.33.1.8076
- Sáiz, M.C., & Román, J.M. (2011). Cuatro formas de evaluación en educación superior gestionadas desde la tutoría. *Revista de Psicodidáctica*, 16(1), 145-161. doi: 10.1387/RevPsicodidact.1116.
- Scardamalia, M., Bransford, J., Kozma, B., & Quellmalz, E. (2012). New assessments and environments for knowledge building. *Assessment and teaching of 21st century skills*, 231-300. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-2324-5_5
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional science*, 26(1-2), 113-125. doi: 10.1007/978-94-017-2243-8_1
- Schellings, G. (2011). Applying learning strategy questionnaires: problems and possibilities. *Metacognition and Learning*, 6(2), 91-109. doi: 10.1007/s11409-011-9069-5
- Schellings, G. L., & Broekkamp, H. (2011). Signaling task awareness in thinkaloud protocols from students selecting relevant information from text. *Metacognition and Learning*, 6(1), 65-82. doi: 10.1007/s11409-010-9067-z
- Schellings, G. L., Van Hout-Wolters, B. H., Veenman, M. V., & Meijer, J. (2013). Assessing metacognitive activities: the in-depth comparison of a task-specific questionnaire with think-aloud protocols. *European journal of psychology of education*, 28(3), 963-990. doi: 10.1007/s10212-012-0149-y
- Schunk, D. H. (1997). *Teorías del aprendizaje* (2a ed.). Pearson Educación. México: Pearson
- Schunk, D. H. (2012). *Teorías del aprendizaje: una perspectiva educativa* (6a ed.). México: Pearson.
- Segers, M., Dierick, S., & Dochy, F. (2001). Quality standards for new modes of assessment. An exploratory study of the consequential validity of the OverAll

- Test. *European Journal of Psychology of Education*, 16(4), 569-588. doi:10.1007/BF03173198
- Soler, B. A., de la Rosa, A. L., & Garre, C. M. H. (2015). Estrategias metodológicas y organizativas para la mejora de la escuela inclusiva. *Etic@ net*, 1(15). Recuperado de <http://eticanet.org/revista/index.php/eticanet/article/view/67/62>
- Sternberg, R. J. (2005). The theory of successful intelligence. *Revista interamericana de psicología/Interamerican journal of psychology*, 39(2), 189-202.
- Taasoobshirazi, G., Bailey, M., & Farley, J. (2015). Physics Metacognition Inventory Part II: Confirmatory factor analysis and Rasch analysis. *International Journal of Science Education*, 1-18. doi:10.1080/09500693.2015.1104425
- Tierney, R., & Simon, M. (2004). What's still wrong with rubrics: focusing on the consistency of performance criteria across scale levels. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 9(2), 1-10. Recuperado de <http://PAREonline.net/getvn.asp?v=9&n=2>
- Todhunter, F. (2015). Using concurrent think-aloud and protocol analysis to explore student nurses' social learning information communication technology knowledge and skill development. *Nurse education today*, 35(6), 815-822. doi: 10.1016/j.nedt.2015.01.010
- Urbieto, J. M. E., Garayalde, K. A., & Losada, D. (2011). Diseño de rúbricas en la formación inicial de maestros/as. *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*. Vol, 4(3), 156-169. Recuperado de http://refiedu.webs.uvigo.es/Refiedu/Vol4_3/REFIEDU_4_3_1.pdf
- Ugartetxea, J. (2002). La metacognición, el desarrollo de la autoeficacia y la motivación escolar. *Revista de psicodidáctica*, 13, 49-73. Recuperado de <http://www.ehu.eus/ojs/index.php/psicodidactica/article/download/131/127>
- UNESCO (2005). *Guidelines for inclusion Ensuring access to education for all*. París, Francia: UNESCO. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001402/140224e.pdf>
- Uribe, Á. C., & Martínez, C. H. (2010). Jerome Bruner: dos teorías cognitivas, dos formas de significar, dos enfoques para la enseñanza de la ciencia. *Revista psicogente*, 13(24).
- Urquijo, S., Vivas, J. R., & González, G. (1998). *Introducción a las Teorías del*

- Aprendizaje*. Material de Cátedra de Teorías del Aprendizaje de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Recuperado de [http://www2.mdp.edu.ar/psicologia/psico/secacademica/asignaturas/aprendizaje/Introduccion a las teorias del aprendizaje.rtf](http://www2.mdp.edu.ar/psicologia/psico/secacademica/asignaturas/aprendizaje/Introduccion%20a%20las%20teorias%20del%20aprendizaje.rtf)
- Valle, A., Barca, A., González, R., & Núñez, J. C. (1999). Las estrategias de aprendizaje. Revisión teórica y conceptual. *Revista latinoamericana de Psicología*, 31(3), 425-461.
- Valle, A., González, R., Cuevas, L. M., & Fernández, S. A. P. (1998). Las estrategias de aprendizaje: características básicas y su relevancia en el contexto escolar. *Revista de psicodidáctica*, 6, 53-68.
- Vandavelde, S., Van Keer, H., Schellings, G., & Van Hout-Wolters, B. (2015). Using think-aloud protocol analysis to gain in-depth insights into upper primary school children's self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 43, 11-30. doi:10.1016/j.lindif.2015.08.027
- Van der Stel (2011). *Development of metacognitive skills in young adolescents. A bumpy ride to the high road*. Dissertation, Leiden: University of Leiden.
- Van der Stel, M., & Veenman, M. V. (2008). Relation between intellectual ability and metacognitive skillfulness as predictors of learning performance of young students performing tasks in different domains. *Learning and Individual Differences*, 18(1), 128-134. doi:10.1016/j.lindif.2007.08.003
- Van der Stel, M., & Veenman, M. V. (2010). Development of metacognitive skillfulness: A longitudinal study. *Learning and individual differences*, 20(3), 220-224. doi:10.1016/j.lindif.2009.11.005
- Van der Stel, M., & Veenman, M. V. J. (2014). Metacognitive skills and intellectual ability of young adolescents: a longitudinal study from a developmental perspective. *Eur J Psychol Educ*, 29, 117–137. doi: 10.1007/s10212-013-0190-5
- Van der Stel, M., Veenman, M. V., Deelen, K., & Haenen, J. (2010). The increasing role of metacognitive skills in math: a cross-sectional study from a developmental perspective. *ZDM*, 42(2), 219-229. doi:10.1007/s11858-009-0224-2
- Veenman, M. V., Wilhelm, P., & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective.

- Learning and Instruction*, 14(1), 89-109. doi:10.1016/j.learninstruc.2003.10.004
- Veenman, M. V., & Spaans, M. A. (2005). Relation between intellectual and metacognitive skills: Age and task differences. *Learning and Individual Differences*, 15(2), 159-176. doi:10.1016/j.lindif.2004.12.001
- Veenman, M. V., Kok, R., & Blöte, A. W. (2005). The relation between intellectual and metacognitive skills in early adolescence. *Instructional Science*, 33(3), 193-211. doi:10.1007/s11251-004-2274-8
- Veenman, M. V., Van Hout-Wolters, B. H., & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1(1), 3-14. doi: 10.1007/s11409-006-6893-0
- Veenman, M. V. (2011). Alternative assessment of strategy use with self-report instruments: a discussion. *Metacognition and Learning*, 6(2), 205-211. doi:10.1007/s11409-011-9080-x
- Veenman, M. V. (2007). The assessment and instruction of self-regulation in computer-based environments: a discussion. *Metacognition and Learning*, 2(2), 177-183. doi:10.1007/s11409-007-9017-6
- Veenman, M. V., Bavelaar, L., De Wolf, L., & Van Haaren, M. G. (2014). The on-line assessment of metacognitive skills in a computerized learning environment. *Learning and Individual Differences*, 29, 123-130. doi:10.1016/j.lindif.2013.01.003
- Vygotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. M. Cole (Ed.). Barcelona: Crítica.
- Weinstein, C. E., & Mayer, R. E. (1983). The teaching of learning strategies. *Innovation Abstracts*, 5(32). Recuperado de <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED237180.pdf>
- Zimmerman, B. J. (2000). Self-efficacy: An essential motive to learn. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 82-91. doi:10.1006/ceps.1999.1016
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into practice*, 41(2), 64-70. doi: 10.1207/s15430421tip4102_2
- Zimmerman, B. J. (2013). From cognitive modeling to self-regulation: A social cognitive career path. *Educational Psychologist*, 48(3), 135-147. doi: 10.1080/00461520.2013.794676
- Zimmerman, B. J., & Kitsantas, A. (2014). Comparing students' self-discipline and

Análisis de Protocolos en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria:
Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura de Física

self-regulation measures and their prediction of academic achievement.
Contemporary Educational Psychology, 39(2), 145-155. doi:10.1016/j.
cedpsych.2014.03.004

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Clasificación de las estrategias de aprendizaje..... | 45 |
| Tabla 2. Ejemplo de rúbrica holística..... | 88 |
| Tabla 3. Rúbrica analítica..... | 89 |
| Tabla 4. Rúbrica con puntuación numérica..... | 89 |
| Tabla 5. Estructura de la dimensión de procesos cognitivos de la Taxonomía revisada.... | 93 |
| Tabla 6. Rúbrica. Cuestionario de evaluación..... | 94 |
| Tabla 7. Rúbrica. Criterios de evaluación..... | 95 |
| Tabla 8. Relación entre los distintos aspectos de metacognición y los diferentes métodos de evaluación..... | 98 |
| Tabla 9. Indicadores de evaluación de las habilidades metacognitivas en los métodos de evaluación on-line..... | 99 |
| Tabla 10. Competencias del siglo 21..... | 105 |
| Tabla 11. Relación de contenidos por unidad y tema en del Programa de instrucción en conceptos físicos..... | 125 |
| Tabla 12. Número de intervenciones registradas en los diálogos por sujeto y por unidad de trabajo..... | 128 |
| Tabla 13. Número de intervenciones registradas por unidad y por tema..... | 128 |
| Tabla 14. Diseño pre-experimental pretest-postest de un solo grupo..... | 130 |
| Tabla 15. Indicadores de Asimetría y de curtosis de la Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR) y de la Escala de Estrategias Metacognitivas y de estrategias de motivación antes de la intervención..... | 142 |
| Tabla 16. Estadísticos descriptivos en la EAECFR en física antes-después de la intervención..... | 156 |
| Tabla 17. Fiabilidad interna de cada uno de los ítems de la EAECFR..... | 157 |
| Tabla 18. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 1 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 168 |
| Tabla 19. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 2 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 169 |
| Tabla 20. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 3 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 170 |
| Tabla 21. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la | |

| | |
|--|-----|
| intervención en la EAECFR Unidad 4 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 171 |
| Tabla 22. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 5 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 172 |
| Tabla 23. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 6 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 173 |
| Tabla 24. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 7 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 174 |
| Tabla 25. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 8 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 175 |
| Tabla 26. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 9 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 176 |
| Tabla 27. Prueba de Wilcoxon para muestras dependientes análisis antes-después de la intervención en la EAECFR Unidad 10 y valor del efecto (d de Cohen)..... | 177 |
| Tabla 28. Relación de respuestas en los diálogos por cada unidad de trabajo..... | 178 |
| Tabla 29. Indicadores de Asimetría y de curtosis de la los cuatro indicadores de calidad en las respuestas metacognitivas (Orientación, Planificación, Evaluación y Elaboración). | 179 |
| Tabla 30. Frecuencia de utilización de la calidad de las estrategias metacognitivas en los cinco criterios de evaluación..... | 182 |
| Tabla 31. Estadísticos descriptivos en la calidad de las estrategias metacognitivas en los protocolos de pensar en voz alta..... | 182 |
| Tabla 32. ANOVA de un factor de efectos fijos (calidad de las Estrategias Metacognitivas) y valor del efecto en las respuestas de los sujetos en las distintas unidades..... | 189 |
| Tabla 33. Análisis de Regresión Múltiple de las variables Conocimientos previos, Motivación de logro, Estrategias Metacognitivas de ACRA sobre la calidad de las respuestas Metacognitivas de Orientación..... | 191 |
| Tabla 34. Análisis de Regresión Múltiple de las variables Conocimientos previos, Motivación de logro, Estrategias Metacognitivas de ACRA sobre la calidad de las respuestas Metacognitivas de Planificación..... | 192 |
| Tabla 35. Análisis de Regresión Múltiple de las variables Conocimientos previos, Motivación de logro, Estrategias Metacognitivas de ACRA sobre la calidad de las respuestas Metacognitivas de Evaluación..... | 193 |
| Tabla 36. Análisis de Regresión Múltiple de las variables Conocimientos previos, Motivación de logro, Estrategias Metacognitivas de ACRA sobre la calidad de las | |

| | |
|---|-----|
| respuestas Metacognitivas de Elaboración..... | 194 |
| Tabla 37. Correlaciones de ρ y τ entre la calidad de las respuestas metacognitivas de Orientación y de Planificación, Evaluación y Elaboración medidas con métodos on-line con las Estrategias Metacognitivas y de Motivación medidas con métodos off-line (ACRA) | 196 |
| Tabla 38. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 1, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación de logro..... | 231 |
| Tabla 39. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 2, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación..... | 233 |
| Tabla 40. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 3, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación..... | 234 |
| Tabla 41. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 4, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación..... | 236 |
| Tabla 42. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la unidad 5, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación de logro..... | 238 |
| Tabla 43. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 6, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación de logro..... | 240 |
| Tabla 44. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 7, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación..... | 242 |
| Tabla 45. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 8, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación..... | 243 |
| Tabla 46. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la Unidad 9, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación de logro..... | 245 |
| Tabla 47. Correlaciones entre las puntuaciones totales en la unidad 10, las ACRA, las estrategias metacognitivas y las estrategias de motivación de logro..... | 247 |
| Tabla 48. Goodness of fit indices..... | 251 |
| Tabla 49. Análisis de frecuencias y porcentajes en los errores detectados en cada una de las unidades del programa de intervención..... | 253 |
| Tabla 50. Porcentajes totales de los errores detectados..... | 254 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Resultados OCDE en resolución de problemas. | 10 |
| Figura 2. Teoría de Piaget. | 26 |
| Figura 3. Perspectivas constructivistas. | 29 |
| Figura 4. Teoría de Vygotsky. | 31 |
| Figura 5. Condición para el aprendizaje significativo. | 33 |
| Figura 6. Relación entre inteligencia, metacognición y aprendizaje. | 52 |
| Figura 7. Modelo de aprendizaje autorregulado (fases y subprocesos de autorregulación). | 55 |
| Figura 8. Autorregulación, autoeficacia y aprendizaje. | 60 |
| Figura 9. Estrategia básica de resolución de problemas. | 67 |
| Figura 10. Secuencia de fases Gold Standard PBL. | 69 |
| Figura 11. Aprendizaje tradicional vs. PBL. | 71 |
| Figura 12. Etapas de un proceso de investigación dirigida. | 72 |
| Figura 13. Representación de los estados del modelo 5E de aprendizaje por indagación. | 75 |
| Figura 14. Ejemplo de secuencia sugerida para la realización de una determinada tarea. | 82 |
| Figura 15. How People Learn Framework. | 106 |
| Figura 16. Zonas de aprendizaje en Future Classroom Lab. Crédito: EUN/FCL. | 109 |
| Figura 17. Análisis de frecuencias y curva normal en Método Científico Total antes de la intervención. | 143 |
| Figura 18. Análisis de frecuencias y curva normal en Conocimientos Previos, sobre incidencia y reflexión, Total, antes de la intervención. | 143 |
| Figura 19. Análisis de frecuencias y curva normal en Medición Total antes de la intervención. | 144 |
| Figura 20. Análisis de frecuencias y curva normal en Magnitud física Total antes de la intervención. | 144 |
| Figura 21. Análisis de frecuencias y curva normal en Movimiento Total antes de la intervención. | 145 |
| Figura 22. Análisis de frecuencias y curva normal en Velocidad Total antes de la intervención. | 145 |
| Figura 23. Análisis de frecuencias y curva normal en Relación Movimiento y Aceleración Total antes de la intervención. | 146 |
| Figura 24. Análisis de frecuencias y curva normal en Interacciones entre cuerpos Total antes de la intervención. .. | 146 |
| Figura 25. Análisis de frecuencias y curva normal en Fuerzas y Movimiento Total antes de la intervención. | 147 |
| Figura 26. Análisis de frecuencias y curva normal en Partículas Total antes de la intervención. | 147 |
| Figura 27. Análisis de frecuencias y curva normal en Fuerzas y posición Total antes de la intervención. | 148 |
| Figura 28. Análisis de frecuencias y curva normal en Presión Total antes de la intervención. | 148 |
| Figura 29. Análisis de frecuencias y curva normal en Atmósfera Total antes de la intervención. | 149 |

| | |
|--|-----|
| Figura 30. Análisis de frecuencias y curva normal en Energía Total antes de la intervención. | 149 |
| Figura 31. Análisis de frecuencias y curva normal en Trabajo Total antes de la intervención. | 150 |
| Figura 32. Análisis de frecuencias y curva normal en Calor Total antes de la intervención. | 150 |
| Figura 33. Análisis de frecuencias y curva normal en Movimiento y Fenómenos ondulatorios Total antes de la intervención. | 151 |
| Figura 34. Análisis de frecuencias y curva normal en Sonidos Total antes de la intervención. | 151 |
| Figura 35. Análisis de frecuencias y curva normal en Luz Total antes de la intervención. | 152 |
| Figura 36. Análisis de frecuencias y curva normal en Color Total antes de la intervención. | 152 |
| Figura 37. Análisis de frecuencias y curva normal en la Escala IV de Estrategias Metacognitivas y de Apoyo al Procesamiento de la Información de ACRA. | 153 |
| Figura 38. Análisis de frecuencias y curva normal en la Escala de Estrategias de Auto-Conocimiento dentro de la Escala de Metacognitivas de ACRA. | 153 |
| Figura 39. Análisis de frecuencias y curva normal en la Escala de Estrategias de Auto-Planificación dentro de la Escala de Metacognitivas de ACRA. | 154 |
| Figura 40. Análisis de frecuencias y curva normal en la Escala de Estrategias de Auto-Evaluación dentro de la Escala de Metacognitivas de ACRA. | 154 |
| Figura 41. Análisis de frecuencias y curva normal en la Escala de Estrategias de Motivación de Logro (intrínsecas y extrínsecas) dentro de la Escala de Apoyo al Procesamiento de la Información de ACRA. | 155 |
| Figura 42. Distribución de las respuestas de los sujetos atendiendo a la calidad de las respuestas metacognitivas de Orientación. | 179 |
| Figura 43. Distribución de las respuestas de los sujetos atendiendo a la calidad de las respuestas metacognitivas de Planificación. | 180 |
| Figura 44. Distribución de las respuestas de los sujetos atendiendo a la calidad de las respuestas metacognitivas de Evaluación. | 180 |
| Figura 45. Distribución de las respuestas de los sujetos atendiendo a la calidad de las respuestas metacognitivas de Elaboración. | 181 |
| Figura 46. Distribución de la calidad de las respuestas atendiendo a la variable sujeto. | 181 |
| Figura 47. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 1. | 198 |
| Figura 48. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 1. | 198 |
| Figura 49. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 2. | 199 |
| Figura 50. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 2. | 199 |
| Figura 51. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 3. | 200 |
| Figura 52. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 3. | 200 |

| | |
|---|-----|
| Figura 53. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 4. | 201 |
| Figura 54. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 4. | 201 |
| Figura 55. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 5. | 202 |
| Figura 56. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 5. | 202 |
| Figura 57. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 6. | 203 |
| Figura 58. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 6. | 203 |
| Figura 59. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 7. | 204 |
| Figura 60. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 7. | 204 |
| Figura 61. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 8. | 205 |
| Figura 62. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 8. | 205 |
| Figura 63. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 9. | 206 |
| Figura 64. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 9. | 206 |
| Figura 65. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 10. | 207 |
| Figura 66. Análisis de linealidad de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en la Unidad 10. | 207 |
| Figura 67. Diagrama de cajas de la distribución de los sujetos en las unidades de trabajo del programa. | 208 |
| Figura 68. Diagrama de cajas en la evaluación de la calidad de las respuestas metacognitivas de Orientación. | 208 |
| Figura 69. Diagrama de cajas en la evaluación de la calidad de las respuestas metacognitivas de Planificación. | 209 |
| Figura 70. Diagrama de cajas en la evaluación de la calidad de las respuestas metacognitivas de Evaluación. | 209 |
| Figura 71. Diagrama de cajas en la evaluación de la calidad de las respuestas metacognitivas de Elaboración. | 210 |
| Figura 72. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 1. | 211 |
| Figura 73. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 2. | 211 |
| Figura 74. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 3. | 212 |
| Figura 75. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 4. | 212 |
| Figura 76. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 5. | 213 |
| Figura 77. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 6. | 213 |
| Figura 78. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 7. | 214 |
| Figura 79. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 8. | 214 |
| Figura 80. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 9. | 215 |
| Figura 81. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Orientación en el sujeto 10. | 215 |
| Figura 82. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 1. | 216 |
| Figura 83. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 2. | 216 |
| Figura 84. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 3. | 217 |
| Figura 85. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 4. | 217 |

| | |
|--|-----|
| Figura 86. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 5. | 218 |
| Figura 87. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 6. | 218 |
| Figura 88. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 7. | 219 |
| Figura 89. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 8. | 219 |
| Figura 90. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 9. | 220 |
| Figura 91. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Planificación en el sujeto 10. | 220 |
| Figura 92. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 1. | 221 |
| Figura 93. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 2. | 221 |
| Figura 94. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 3. | 222 |
| Figura 95. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 4. | 222 |
| Figura 96. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 5. | 223 |
| Figura 97. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 6. | 223 |
| Figura 98. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 7. | 224 |
| Figura 99. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 8. | 224 |
| Figura 100. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 9. | 225 |
| Figura 101. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Evaluación en el sujeto 10. | 225 |
| Figura 102. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 1. | 226 |
| Figura 103. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 2. | 226 |
| Figura 104. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 3. | 227 |
| Figura 105. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 4. | 227 |
| Figura 106. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 5. | 228 |
| Figura 107. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 6. | 228 |
| Figura 108. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 8. | 229 |
| Figura 109. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 9. | 229 |
| Figura 110. Distribución de las puntuaciones de la calidad de la metacognición en Elaboración en el sujeto 10. | 230 |
| Figura 111. Modelo 1. | 251 |
| Figura 112. Modelo 2. | 252 |
| Figura 113. Modelo 3. | 252 |

Abreviaturas

ABP: Aprendizaje Basado en Problemas/Aprendizaje Basado en Proyectos.

ABPr: Aprendizaje Basado en Proyectos.

ACRA: Adquisición, Codificación, Recuperación y Apoyo al procesamiento.

ACRAR: Escalas de Estrategias de aprendizaje, ACRA, revisadas.

AFC: Análisis Factorial Confirmatorio.

ANCOVA: Análisis de la Covarianza.

ANOVA: Análisis de la Varianza.

ASCD: Association for Supervision and Curriculum Development (Asociación para la Supervisión y Desarrollo Curricular).

BIE: Buck Institute for Education (Instituto para la Educación Buck).

CPS: Collaborative Problem Solving (Resolución de Problemas Colaborativa).

DeSeCo: Defining and Selecting Key Competencies (Definición y Selección de Competencias clave).

DT: Desviación Típica.

EAECFR: Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por Rúbricas.

ERT: European Round Table of Industrialists (Mesa Redonda de Industriales Europeos).

IBL: Inquiry Based Learning.

M: Media.

MANOVA: Multivariate Analysis of Variance (Análisis Multivariante de la Varianza).

NSES: National Science Education Standards (Estándares Nacionales de Educación Científica).

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

PBL: Problem-based learning/Project-based learning (aprendizaje basado en problemas/
aprendizaje basado en proyectos).

PISA: Programme for International Student Assessment (Programa para la Evaluación
Internacional de Alumnos).

SRL: Self-regulated learning (Aprendizaje Auto-regulatorio).

STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics (Ciencia, Tecnología,
Ingeniería y Matemáticas).

T: Tolerancia.

VIF: Variance Inflation Factor (factor de inflación de la varianza).

APÉNDICE 1. PROGRAMA DE INTERVENCIÓN EN CONOCIMIENTOS DE FÍSICA PARA ALUMNOS DE 4º DE ESO

Estructura de cada unidad

En cada unidad se encuentra la siguiente estructura de contenidos:

Conceptos previos. Aquellos conceptos que debe conocer el alumno antes de comenzar el desarrollo de la unidad.

Objetivos. Las metas que se pretende que alcance el alumno tras la instrucción.

Criterios de Evaluación. La rúbrica empleada para medir el grado de consecución de los objetivos.

Materiales. Listado de materiales utilizados durante la instrucción. Se ha pretendido en todo momento que sean materiales cotidianos, por lo que el lector podrá fácilmente sustituir algunos de ellos por otros que considere más accesibles o más cercanos al alumno.

Explicación. Desarrollo de la secuencia de contenidos. Se sigue un modelo constructivista en el que, cuando ha sido posible, se ha definido un concepto solamente cuando se ha llegado a un punto en el que es necesario la introducción de ese concepto.

Actividades de generalización. Las propuestas en este apartado se refieren a actividades que favorezcan la metacognición y la autorregulación a través del diálogo y la reflexión.

Introducción

La física pretende dar una explicación a todo lo que ocurre a nuestro alrededor. Busca un porqué a todos los sucesos y eventos que se manifiestan en nuestro entorno, desde las interacciones entre las partículas que forman la materia, hasta lo que ocurre en las estrellas más lejanas a nuestro maravilloso planeta Tierra.

Desde el principio de los tiempos hemos observado. Buscamos una explicación a todos estos fenómenos que nos rodean, reproduciéndolos dentro de nuestras posibilidades, e intentando representarlos mediante modelos sencillos que permitan visualizar y simplificar su esencia misma.

El avance de la física en los últimos siglos ha sido vertiginoso. Fruto, sin duda, del trabajo de muchas personas que dedican parte de su vida a extraer los secretos que rigen las leyes de la Naturaleza. Son personas capaces de formularse las preguntas adecuadas y de recrear muchas veces las condiciones experimentales en las que esas preguntas encuentran respuesta. Personas que comparten sus resultados, de forma que el siguiente investigador toma el relevo y da un pasito más. La suma de esos pasitos forma el gran conocimiento actual.

Pero... ¿cuál puede ser el punto de partida hacia este conocimiento científico?

Quizá sería un buen inicio el conocer y comprender los principios fundamentales de la física que nos sirven como pilares para comenzar la construcción de nuestro conocimiento.

Al mismo tiempo necesitamos reflexionar y verificar la validez de dichos principios y modelos. Buscar modelos sencillos que nos ayuden a entender la generalidad, y a partir de los cuales construir modelos más complejos y precisos.

Más adelante necesitaremos también una base matemática que nos permita representar de una forma más cómoda y eficaz estos principios, y nos facilite la obtención de conclusiones a través de la interpretación de los resultados. La intención

de este documento que tienes en tus manos es llevarte a través de los aspectos fundamentales de la física de un modo gráfico, utilizando objetos y analizando situaciones que nos resulten cotidianas o familiares.

Dejamos a un lado los formulismos matemáticos. El objetivo es, insisto, conocer y analizar detenidamente los conceptos fundamentales, para que nos sirvan como punto de partida en nuestro navegar a través de la física... por medio de la observación y la reflexión.

Más adelante, como ya he indicado, y con una pequeña base matemática, podrás seguir profundizando en el apasionante mundo de la física.

¡Llegó el momento!... ¡Soltad amarras!

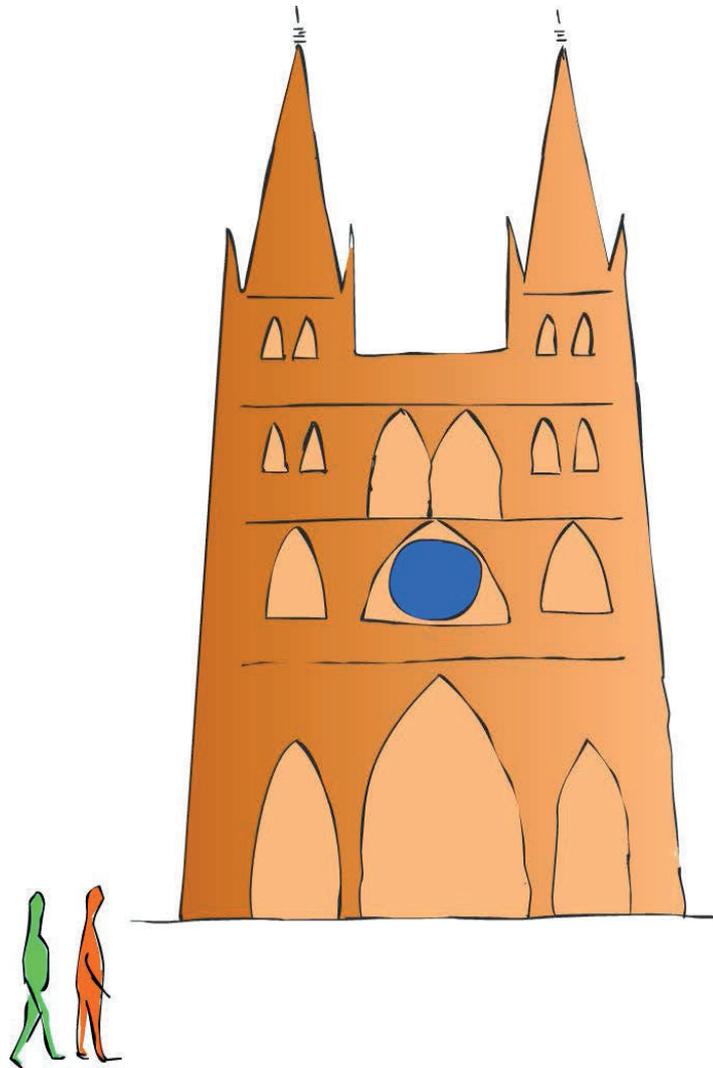
Colaboradores: María Consuelo Sáiz Manzanares, Berta Maestro Santamaría (ilustraciones), Juan Manuel Ramos Casado, Jesús Garoz Ruiz y Trinidad Ruiz López.

Estos contenidos están basados en el libro: Queiruga, M. A. (2009). *¡Física sí! La Física está en lo cotidiano*. A Coruña: Editorial Q.

UNIDAD 1. Método científico. Magnitudes físicas

“Mide lo que sea medible y haz medible lo que no lo sea”

Galileo Galilei



1.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Observación de un suceso.
2. Concepto de medida.
3. Concepto de rayo.

1.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca los fundamentos básicos del método científico.
2. Que el/la alumno/a conozca el concepto de rayo y tipos de rayo (incidente y reflejado).
3. Que el/la alumno/a explique el concepto de magnitud física y su unidad de medida.
4. Que el/la alumno/a explique el concepto de magnitud escalar.
5. Que el/la alumno/a explique el concepto de magnitud vectorial.
6. Que el/la alumno/a explique el concepto de error de medida.

1.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 1. Método científico. Magnitudes físicas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. El método científico | | | | | |
| 1. Puedo explicar los componentes básicos de un procedimiento científico de observación. | | | | | |
| 2. Puedo aplicar las pautas del método científico a situaciones cotidianas/concretas | | | | | |
| Tema I. Conceptos previos | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de imagen. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de rayo y puedo efectuar una | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| representación del mismo de forma gráfica. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de rayo incidente. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de rayo reflejado. | | | | | |
| 5. Puedo explicar que es la línea normal. | | | | | |
| 6. Puedo explicar que es un rayo de incidencia. | | | | | |
| 7. Puedo explicar que es un rayo de reflexión. | | | | | |
| Tema II. La medición | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de magnitud (longitud). | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de metro. | | | | | |
| 3. Puedo definir el concepto de unidad de medida. | | | | | |
| 4. Puedo explicar la acción de medir. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es el Sistema Internacional de Unidades. | | | | | |
| Tema III. Las magnitudes físicas | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de magnitud física. | | | | | |
| 2. Puedo enumerar las distintas magnitudes físicas. | | | | | |
| 3. Puedo explicar qué es una magnitud vectorial. | | | | | |
| 4. Puedo explicar qué es el concepto de error de medida. | | | | | |

1.4. MATERIALES

Puntero láser, espejo, láminas de cartón, metro, cinta métrica, regla, termómetro, mapa, fotografías de paisajes, calendario, cronómetro, cuerda o listones, tijeras, papel. Acceso a Google Maps.

1.5. EXPLICACIÓN

¿CÓMO OBSERVO MI ENTORNO?

Podríamos decir que cada disciplina científica presenta una “forma de hacer” similar.

A la hora de analizar un fenómeno debemos ser cuidadosos con nuestras observaciones, escapar muchas veces de prejuicios que puedan influir en nuestras conclusiones. También debemos revisar cuidadosamente las relaciones que ligan aparentemente los sucesos.

Para obtener conclusiones científicas podríamos pensar en una serie de pautas:

- Observación del suceso en repetidas ocasiones.
- Realización de medidas y toma de datos.
- Elaboración de modelos o formas simplificadas que ayuden a su comprensión.
- Formulación de leyes capaces de explicar todos los problemas similares al anterior.

Veamos un pequeño y sencillo ejemplo:

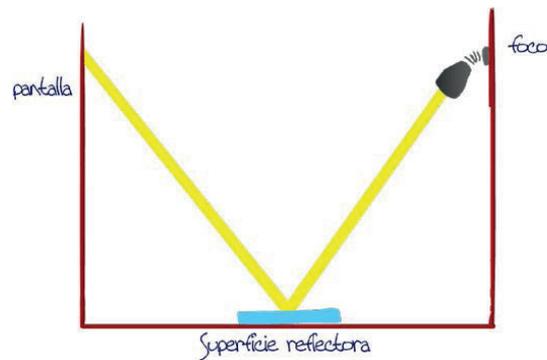
Imaginemos una tarde de verano. Mientras tomamos el sol (con la adecuada protección) jugamos con el reflejo que la esfera de nuestro reloj produce sobre una pared. Sentimos curiosidad por dicho fenómeno. Este fenómeno no nos resulta extraño, lo hemos observado cientos de veces, pero ahora vamos a analizarlo con curiosidad científica.

Observamos que balanceando el reloj, la silueta del reflejo también cambia su posición. Si me sitúo en una sombra, o con mi mano tapo la luz del sol que llega a mi reloj, este reflejo desaparece.

Estas pequeñas observaciones me permiten elaborar una hipótesis: la luz del Sol incide sobre la esfera del reloj, “rebota” en ella y se dirige a la pared.

Si deseo investigar científicamente este fenómeno, necesitaré un lugar (laboratorio) en el que recrear, ya que es posible, esta situación.

Contando con distintas fuentes de luz y con distintas superficies reflectoras (un espejo, distintos vidrios), y por ejemplo un montaje como el que se ilustra a continuación, podemos estudiar científicamente el fenómeno que nos ha provocado curiosidad.



La luz del foco incide en la pantalla tras rebotar en la superficie reflectora.

La superficie reflectora la situamos equidistante del soporte del foco y la pantalla.

En lugar de mover la superficie reflectora (como hacía con la esfera del reloj), modifiqué la altura a la que se encuentra el foco, y siempre dirigiendo el haz de luz hacia el centro de la mencionada superficie.

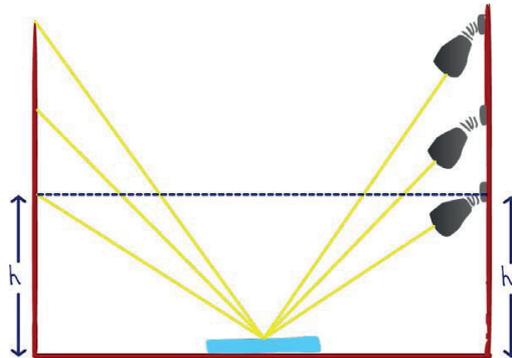
El resultado que obtengo es que el reflejo se proyecta sobre la pantalla, generando una imagen exactamente a la misma altura que a la que se encuentra el foco.

Cada vez que realizo el experimento, obtengo el mismo resultado. También sería interesante intercambiar mis resultados con otras personas, que puedan darme sus puntos de vista y expresarme sus opiniones. ¿Quizá se me están pasando cosas por alto en mi investigación?

Para precisar los resultados recurro al siguiente modelo: voy a imaginarme

que la luz se está propagando como una línea muy muy fina.

Llamo rayo a este concepto, y me permite representar gráficamente el recorrido de la luz desde el foco hasta la pantalla.



Haciendo incidir el haz en el centro del espejo, veré que la imagen formada y el foco se encuentran a la misma altura.

Debemos definir los elementos que van apareciendo. Esto facilitará la comunicación con otras personas.

Llamamos **rayo incidente** al que choca contra la superficie reflectora y **rayo reflejado** al que emerge de dicha superficie.

Si llamamos **normal** a la línea perpendicular a la superficie reflectora en el punto en que incide la luz, la conclusión de que el reflejo se forma a la misma altura que la del foco, podríamos expresarla en términos de los ángulos que forman el rayo incidente con la normal, y el rayo reflejado con la normal, diciendo que estos ángulos son iguales (observemos que los dos triángulos que forman los rayos con la superficie reflectora y respectivamente con el soporte y la pantalla son simétricos).

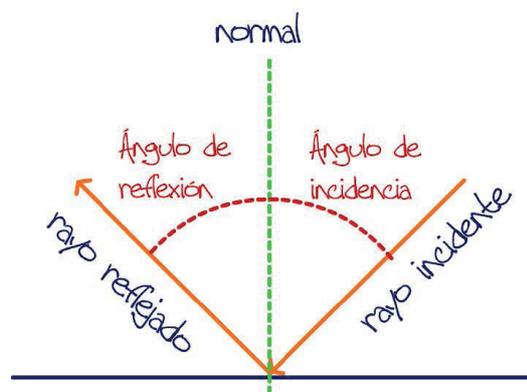
Hemos obtenido entonces una ley para la reflexión diciendo que *el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión*.

Podríamos sacar otras conclusiones como resultado de nuestra investigación,

pero de momento nos conformamos con esta.

Esta teoría que hemos elaborado tendría validez mientras no se encuentre alguna situación que la contradiga, o mientras no se encuentre otra de carácter más general.

Con esta investigación tan sencilla hemos ilustrado las fases que sigue el método científico para obtener sus conclusiones.



*Hemos obtenido experimentalmente una ley física.
Además hemos puesto nombre a algunos elementos que entran en juego.
¿Te atreves a realizar la experiencia y formular otras leyes?*

¡TOMEMOS MEDIDAS!

Hemos mencionado que una de las labores más importantes de un científico es la de medir y tomar datos. Tan importante es el hecho de medir, que muchas conclusiones erróneas que se obtienen son debidas a errores en las mediciones y al uso inadecuado de unidades de medida.

¡Vamos pues a tomar medidas!

Si queremos medir una propiedad de una mesa, como puede ser su longitud (**magnitud**), tomamos una cinta métrica y la colocamos sobre esta. Lo que estamos haciendo es comparar cuántas veces está contenida la cinta métrica en la mesa. La cinta métrica la estamos usando como referencia o patrón.

A la longitud de la cinta métrica la hemos llamado **metro** (m). Esta sería la unidad de medida. De forma que si la longitud de la mesa fuera doble que la de la cinta métrica, diríamos que la longitud de la mesa es de dos metros.



Medir es comparar ...

Si utilizáramos otro patrón (**unidad**) para comparar con la longitud de la mesa (**medir**), la relación sería distinta. Podríamos utilizar una goma de borrar como unidad de medida, y el proceso de medir sería simplemente determinar cuántas gomas de borrar caben alineadas sobre la mesa.



Cada uno de vosotros puede crear su propia unidad de medida... y múltiplos y submúltiplos de esta

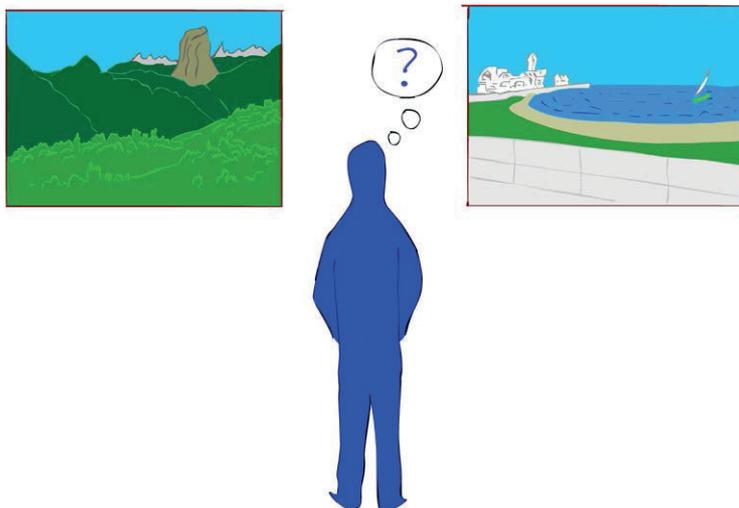
¡Pero no nos compliquemos innecesariamente! Conviene utilizar unidades estándar, es decir, definidas, conocidas y utilizadas por el mayor número de personas posible. Esto nos permitirá que el intercambio de información sea más fluido.

Por eso utilizamos el metro, y múltiplos y submúltiplos suyos (kilómetro, centímetro, decímetro, milímetro) para expresar longitudes, ya que el metro es la unidad de medida de la magnitud longitud en el Sistema Internacional de Unidades.

Para otras magnitudes, sus correspondientes unidades en el **Sistema Internacional** son: para la masa, el kilogramo (kg) y para el tiempo, el segundo (s).

PERO... ¿QUÉ SON LAS MAGNITUDES FÍSICAS?

Vamos a observar las dos imágenes siguientes:

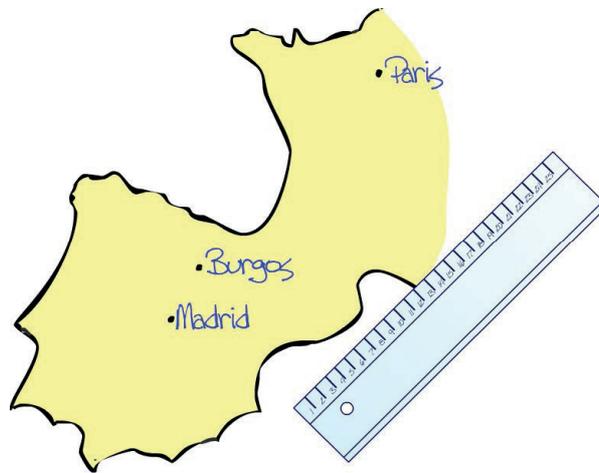


*¿Cuál de las imágenes es más bella?
¡Intenta dar una respuesta científica!*

Si preguntáramos cuál es la más bella, seguramente no encontraríamos una única respuesta. Unos nos decantaríamos por el paisaje marítimo, y otros por la montaña. La belleza es una cualidad subjetiva.

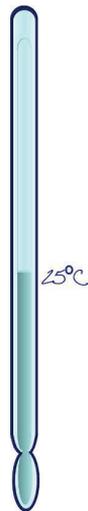
Pero si mirando un mapa, nos preguntáramos, ¿qué está a mayor distancia de Burgos, Madrid o París? La respuesta a esta pregunta sería única. Bastaría disponer

de una pequeña regla para ver cuál de las ciudades se encuentra a mayor distancia.



¿Burgos está más lejos de Madrid o de Paris?

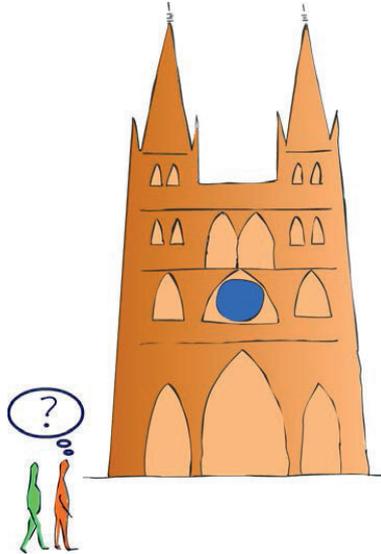
Teniendo en cuenta esto, vamos a llamar **magnitud física** a todo aquello que se puede medir objetivamente. Por tanto, son ejemplos de magnitudes físicas: la longitud, la masa, el tiempo, la temperatura, etc.



*La temperatura es una magnitud física.
¿Serías capaz de enumerar otras magnitudes físicas?*

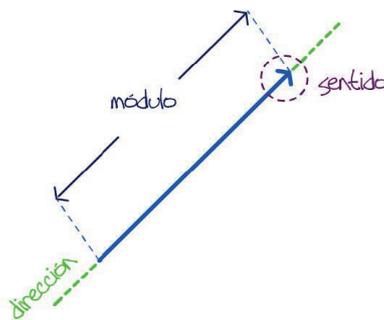
Para expresar una medida de la temperatura, nos basta un número y unas unidades: en la imagen observamos que la temperatura es de 25° C. A esta magnitud se la llama magnitud escalar.

Sin embargo, otras magnitudes requieren de mayor información para expresarlas.



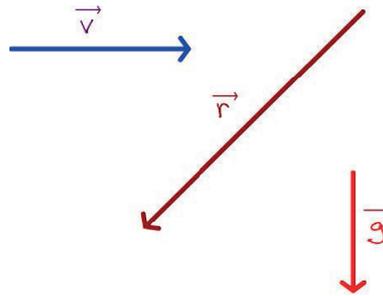
¿Cómo indicamos a un amigo cómo ir a un determinado lugar?

No es suficiente indicación a la pregunta “¿dónde está la catedral?” responder “a 100 metros”, sino que debo indicar además la dirección y sentido. A este otro tipo de magnitudes se llaman magnitudes vectoriales. Para determinarlas necesito indicar, además de una cantidad (módulo) seguida de unas unidades, una dirección y un sentido.



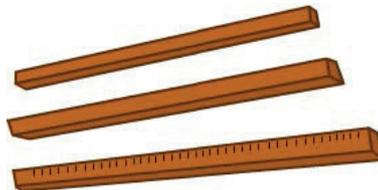
El módulo, la dirección y el sentido, son características de un vector.

Por ello, en su representación se utilizan flechas (vectores), cuya longitud nos representa la cantidad y su orientación nos indica la dirección y sentido. Se denotan habitualmente mediante una letra con una flechita encima:



¡Busca magnitudes vectoriales a tu alrededor!

EL PROBLEMA DE MEDIR



*Si cortamos una serie de listones utilizando el mismo patrón,
¿crees que serán exactamente iguales?*

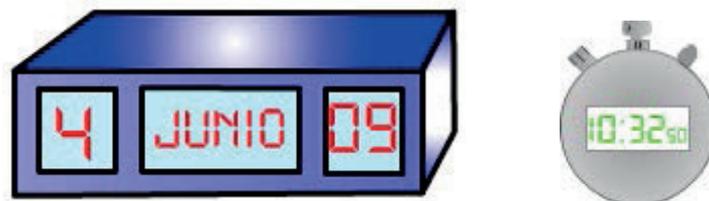
Si utilizamos un listón de madera como referencia para cortar otro que mida lo mismo, realmente no serían exactamente de la misma longitud. Una regla de gran precisión nos mostraría claramente este detalle. Habría una ligera diferencia entre ambas longitudes, un pequeño error. Si este último listón lo utilizáramos a su vez como patrón para cortar un tercero, ocurriría lo mismo. Si repitiéramos este proceso miles o millones de veces, es probable que la longitud del último listón y la del primero no tuvieran nada que ver.

Cometeríamos entonces un gran error si utilizamos el último como unidad de

medida. Para minimizar este error, deberíamos utilizar siempre el mismo listón como referencia. Ahora bien, aun usando el mismo listón como referencia, como hemos dicho, dos listones no serían exactamente de la misma longitud.

Este error que hemos cometido está relacionado con la precisión de la regla que hemos utilizado. Una regla dividida en milímetros nos dará más precisión que una dividida en centímetros, y por tanto menos error en la medida. El error que cometemos en una medida, y por tanto la precisión, depende del instrumento de medida.

No obstante no siempre es necesaria una gran precisión en la medida. Es decir, para expresar la duración de la migración de los patos, nos basta decir que es de dos meses, por ejemplo, y no es necesario decir que es de 5.184.000 segundos. En definitiva, para obtener esta información, nos resultaría más interesante utilizar un calendario para medir y no un cronómetro.



Dependiendo de la situación, un instrumento de medida u otro puede ser más adecuado.

1.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Así mismo, generarán sus propios ejemplos en los que aparezcan los conceptos: pautas del método científico, magnitudes físicas (vectoriales y escalares) y se inventarán su propio sistema de unidades para medir longitudes.

Buscar las coordenadas de la Catedral de Burgos y del colegio en Google Maps.

UNIDAD 2. El movimiento

“El movimiento no existe fuera de las cosas, pues todo lo que cambia, o cambia en el orden de la sustancia o en la cantidad, o en la calidad, o en el lugar”

Aristóteles



2.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Posición de un cuerpo.
2. Los objetos cambian su posición con el tiempo.
3. Magnitudes escalares y vectoriales.
4. La medida.

2.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de movimiento.
2. Que el/la alumno/a comprenda la relatividad del movimiento.
3. Que el/la alumno/a conozca el concepto de trayectoria.
4. Que el/la alumno/a conozca los distintos tipos de movimientos y las magnitudes involucradas (espacio, tiempo, velocidad, aceleración).
5. Que el/la alumno/a explique el concepto de velocidad/aceleración y su unidad de medida.
6. Que el/la alumno/a explique el sentido del vector velocidad y aceleración en distintas situaciones de movimientos.
7. Que el/la alumno/a explique el concepto de aceleración de la gravedad.

2.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

2.3. Criterios de Evaluación

| UNIDAD 2. El movimiento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Tema I. Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto cambio de posición de un cuerpo u objeto. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto movimiento. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto sistema de referencia. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de trayectoria. | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 5. Puedo explicar qué es un movimiento rectilíneo. | | | | | |
| 6. Puedo explicar qué es un movimiento curvilíneo. | | | | | |
| 7. Puedo explicar la relatividad de un movimiento. | | | | | |
| Tema II. Velocidad | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de velocidad. | | | | | |
| 2. Puedo explicar las unidades de medida de la velocidad en el SIU. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de magnitud vectorial. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de movimiento uniforme. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el concepto de aceleración. | | | | | |
| Tema III. Relación entre el movimiento y la aceleración | | | | | |
| 1. Puedo explicar el movimiento circular. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de aceleración normal. | | | | | |
| 3. Puedo explicar la relación entre movimiento, aceleración y velocidad. | | | | | |

2.4. MATERIALES

Objetos cotidianos que sirvan para representar distintos movimientos: canica, tiza, bolígrafo, bola de papel, pelota, objeto atado a una cuerda, CD-ROM.

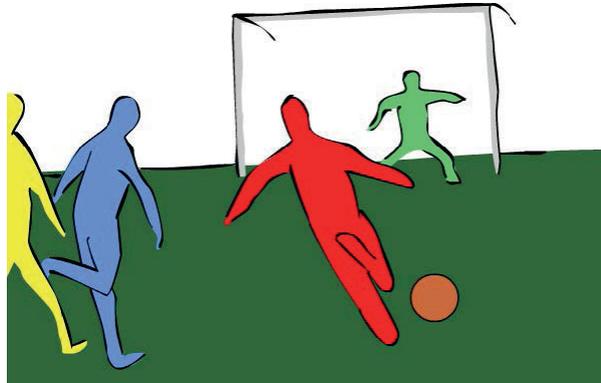
Representaciones (imágenes, fotografías) de vehículos, trenes, aviones, etc.

2.5. EXPLICACIÓN

¿El movimiento se demuestra andando?

El concepto de movimiento nos resulta muy intuitivo.

En un partido de fútbol, observamos cómo se mueve el balón, y tras él, los jugadores; y nos fijamos en el portero, que parece quieto, en reposo, observando...



A nuestro alrededor observamos continuamente cuerpos en movimiento.

Por tanto, definir el movimiento como el cambio en la posición que experimenta un cuerpo o un objeto no nos produce ninguna intranquilidad.

Pero... ¿a qué llamamos entonces posición? Simplemente a dónde se encuentra un cuerpo. Matemáticamente, la posición se puede expresar mediante unas coordenadas respecto a un punto que tomamos como referencia.

Cuando digo, por ejemplo, que la puerta se encuentra a dos pasitos a mi izquierda y un pasito hacia delante, estoy expresando así las coordenadas de su posición. Para cada uno de nosotros la posición de la puerta sería distinta: cada uno tendría que dar una cantidad de pasitos distinta para dirigirse hacia ella. ¡Respecto a cada observador, la posición de un objeto es distinta! En resumen, diremos que un cuerpo se mueve cuando cambia su posición en el tiempo. Por tanto, para el estudio de un movimiento, será importante definir un punto que tomaremos como sistema de referencia, y disponer de instrumentos que nos permitan medir posiciones y tiempos.

Ahora bien. Observamos que no todos los cuerpos se mueven igual. Me refiero a que, cuando veo a mis compañeros andar por el pasillo, observo que se mueven en línea recta. Si lanzo una bola de papel, intentando “encestar” en la papelera, esta se mueve describiendo una curva.

El parque de atracciones puede mostrar también muchos ejemplos de movimientos: los viajeros de las atracciones se mueven describiendo todo tipo de curvas.

Pues bien, al camino, a la línea que describe un móvil, vamos a llamarla **trayectoria**.

Teniendo en cuenta la trayectoria descrita por un móvil en su movimiento, podemos clasificar los movimientos en:

- **Rectilíneos**, si la trayectoria descrita por el móvil es una línea recta.



¿Cómo es el movimiento que realiza un automóvil que se desplaza por una recta de la carretera?

- **Curvilíneos**, si la trayectoria descrita por el móvil es una curva. Dentro de éstos, destacaríamos el movimiento circular, que es el de un móvil cuya trayectoria es una circunferencia: el tambor de una lavadora centrifugando, la rueda de un coche que se mueve, una noria girando... efectúan movimientos circulares.



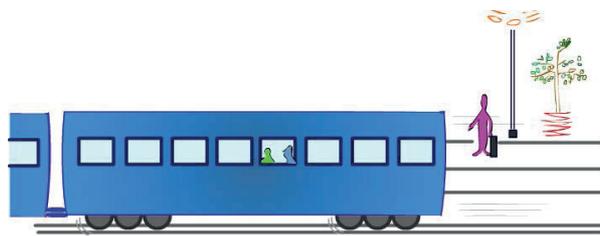
¿Y el movimiento de los caballitos del tiovivo?

TODO ES RELATIVO...

Vamos a subirnos al tren para reflexionar sobre el movimiento.

El tren sale de la estación, y los pasajeros ya se han acomodado en sus asientos. En el interior del vagón veo un sinnúmero de objetos que están en reposo: los asientos, los pasajeros, las ventanas. Todos esos objetos se encuentran siempre en la misma posición. Sobre la mesita tengo mi portátil y mis apuntes. Los veo siempre en el mismo sitio, ni más adelante ni más atrás, ni a un lado ni a otro. Están siempre en el mismo sitio. Están en reposo. Pero ahora dirijo la vista hacia la ventana... ¡y veo árboles pasar!, y ahora... ¡un poste de teléfono! Pego mi nariz a la ventana y mirando hacia adelante veo una casa, cada vez más cerca, y más cerca, pasa a la altura del tren y luego más atrás y más atrás...

¿Qué es lo que está ocurriendo?



¿Se está moviendo el tren o se mueve la estación?

Si estoy sentado en un banco de la estación, y veo salir al tren, me parecerá evidente que se está moviendo: su posición está cambiando, cada vez lo veo más lejos, al igual que a sus ocupantes.

Del mismo modo, lo que observo cuando yo estoy en el tren es que la casa, el árbol o el poste, no se encuentran siempre a la misma distancia de mí, no los veo siempre en la misma posición. Si recordamos esa definición de movimiento que nos parecía tan obvia hace escasos renglones (cuando veo que un objeto no está siempre en la misma posición, ¿respecto a mí?, se mueve), puedo afirmar que todos esos objetos están en movimiento.

Entonces, teniendo en cuenta todo esto, podemos decir que el movimiento depende del observador: ¡el movimiento es relativo!

Tras esta conclusión, no podemos afirmar absolutamente que tal objeto está en reposo o está en movimiento. Para ser precisos debemos decir que un cuerpo está en reposo o en movimiento con respecto a un determinado observador, con respecto a un determinado sistema de referencia.

¿Y qué podríamos decir con respecto a la trayectoria?

Nos resultaría sencillo encontrar múltiples ejemplos en la vida cotidiana en los que veríamos claramente que también la trayectoria es relativa.



¿Qué opina cada uno de los observadores del movimiento y trayectoria de la moneda?

Imaginemos que estoy subiendo en ascensor y veo una moneda en el suelo. Antes de agacharme a recogerla, observo que la moneda está en reposo, no varía su posición. Pensaría en su trayectoria como un punto. Pero, ¿cómo la vería alguien que estuviera fuera del ascensor si este fuera de vidrio transparente? Estamos de acuerdo en que en este caso vería que la trayectoria de la moneda es una línea recta.

También podríamos intentar reproducir la siguiente situación: si vamos corriendo con un balón en las manos y consiguiéramos lanzarlo verticalmente hacia arriba, sin variar nuestro ritmo de movimiento, al caer lo recogeríamos nuevamente. También sería interesante pensar cómo describiría la trayectoria del balón alguien que nos estuviera observando... ¡intenta dibujarlo!

¡RAPIDEZ!

Hasta ahora hemos hablado del concepto de movimiento y trayectoria. Vamos a hablar ahora de un concepto que hace referencia a lo rápido o lento que se desplaza un móvil: **la velocidad**.

Si comienzo a andar dando un paso cada segundo, puedo expresar la rapidez de mi desplazamiento precisamente así: un paso por segundo. Si aumento el ritmo a dos pasos por segundo, ahora me desplazo más rápido. ¿El doble de rápido?

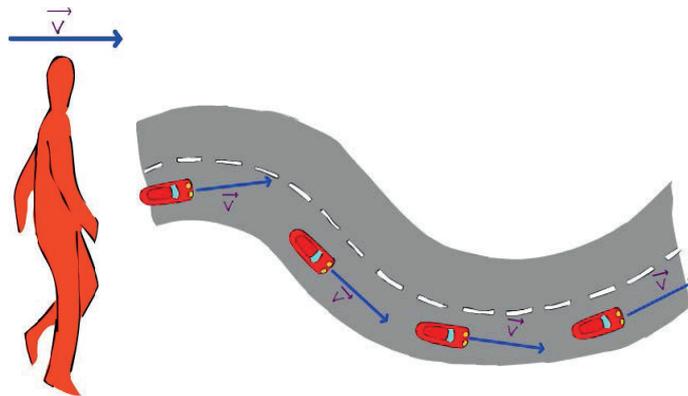
Vamos entonces a utilizar la velocidad para dar una medida de lo rápido que se realiza un movimiento. Entonces diré que en los casos anteriores, mi velocidad era de un paso por segundo y después era de dos pasos por segundo.

En el Sistema Internacional de Unidades, la longitud se expresa en metros y el tiempo en segundos. Por tanto, la velocidad de un móvil se expresará como los metros que recorre en un segundo (m/s). También se utilizan otras unidades para expresar la velocidad; en el velocímetro de los vehículos podemos ver que la velocidad a la que se desplaza está expresada en kilómetros por hora.

Pero, para expresar la velocidad, ¿es suficiente con indicar la “cantidad”

seguida de unas unidades?

Para que esta magnitud quede totalmente determinada, además de la cantidad debo indicar en qué dirección y sentido se está desplazando el móvil; es por tanto una magnitud vectorial. Suele denotarse con el símbolo \vec{v} .



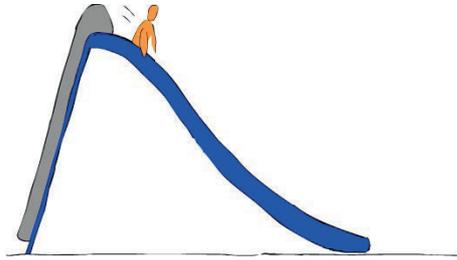
*Indicamos la dirección y el sentido de movimiento de un cuerpo con el vector velocidad.
¿Nos da alguna otra información?*

La velocidad en cada instante nos indica hacia dónde se mueve el vehículo. Es por tanto un vector tangente a la trayectoria.

Un movimiento en el que la velocidad no varía, se llama movimiento uniforme.

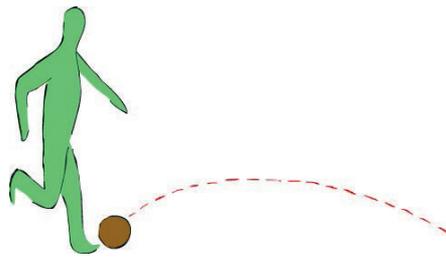
PARA SER CONDUCTOR DE PRIMERA... ¡ACELERA!...Y TAMBIÉN FRENA

La mayoría de los movimientos que observamos en nuestra vida cotidiana, no se producen a velocidad constante, es decir, no son uniformes.

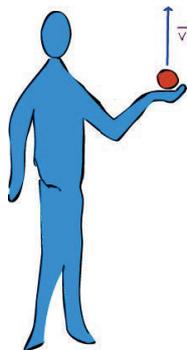


Si nos lanzamos por el tobogán, iremos cada vez más rápido.

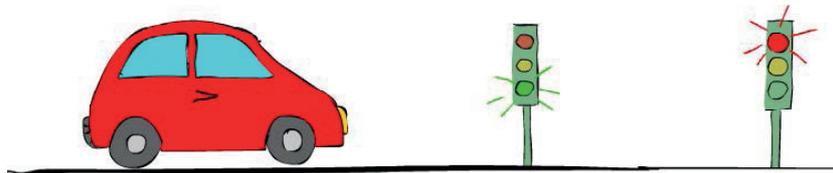
Si golpeamos el balón asciende cada vez más despacio, y baja cada vez más rápido.



Lo mismo sucede si lanzamos la pelota hacia arriba.



Cuando el semáforo se pone verde, los coches pasan de estar en reposo a estar en movimiento. Después se detienen en el siguiente semáforo. Frenarán.

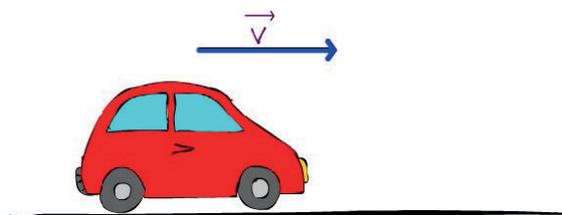


El vehículo arranca cuando el semáforo se pone verde, pero tendrá que detenerse en el siguiente. ¿Cómo será su movimiento?

En estos ejemplos, vemos que la velocidad de los móviles es variable. Hay una magnitud que nos da información sobre lo rápido que cambia la velocidad: la aceleración.

Si comienzo a pasear, y durante el primer segundo doy un paso, durante el siguiente segundo doy dos pasos, durante el siguiente doy tres, y así sucesivamente... ¡cada vez iré más rápido! Sí, pero no es esa la conclusión a la que quiero llegar... sino que mi velocidad está aumentando en un paso por segundo cada segundo. Diré entonces que mi aceleración es, por tanto, de un paso por segundo cada segundo. Como ya sabemos, en el Sistema Internacional, la unidad para la longitud y para la distancia recorrida, es el metro, por tanto, un vehículo que aumente su velocidad en dos metros por segundo (2 m/s) cada segundo, diremos que está animado de una aceleración de 2 m/s^2 (dos metros por segundo al cuadrado). Un razonamiento similar podría hacer si voy disminuyendo mi velocidad en un paso por segundo cada segundo.

Analicemos la siguiente situación: un vehículo se mueve por una carretera con una velocidad de diez metros por segundo...

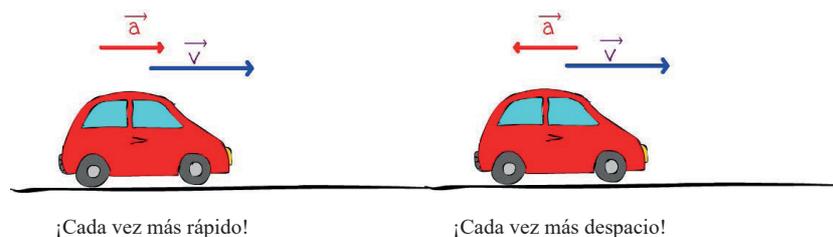


A la vista del dibujo, interpretamos que el vehículo se mueve hacia la derecha con una determinada velocidad.

Si digo “está animado de una aceleración de 2 m/s²”, ¿es suficiente información?, ¿debería decir quizá si el vehículo va cada vez más rápido o por el contrario cada vez más despacio?, ¿decir si está aumentando o disminuyendo su velocidad?

Parece ser que la aceleración es también una magnitud vectorial. Por tanto, mientras que el sentido del vector velocidad nos indica hacia dónde se dirige el móvil (por lo que resulta muy intuitivo representarlo), el vector aceleración tendrá el mismo sentido que la velocidad cuando esta esté aumentando, y sentido contrario a la velocidad cuando esta disminuye.

Denotaremos a la aceleración con el símbolo \vec{a} .



Viendo estas ilustraciones, pensaríamos que “es como si” el vector aceleración estuviera “tirando” del vector velocidad; haciendo que cada vez sea mayor, o por el contrario reduciéndola.

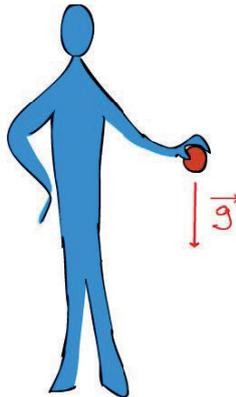
¿ES GRAVE?

Dedicamos una sección especial a la aceleración responsable de mantenernos con los pies en el suelo: **la aceleración de la gravedad**.

En cierto modo ya hemos hablado de ella en el apartado anterior.

Si sujetamos un objeto en nuestra mano, inicialmente está en reposo.

Al soltarlo comienza a caer hacia el suelo. La aceleración de ese cuerpo, la gravedad, es debida a la atracción que ejerce la Tierra sobre todos los cuerpos debido a su masa. Esta aceleración se suele denotar con el símbolo \vec{g} .

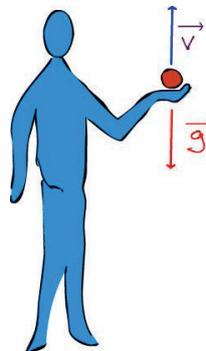


¿Quién descubrió que todos los cuerpos caen con la misma aceleración independientemente de su masa?

La experiencia que acabo de hacer de soltar un objeto demuestra que la aceleración está dirigida hacia abajo.

Es importante tener claro el sentido de la aceleración: como ya hemos dicho, esta no guarda relación directa con “hacia dónde va”, más adecuado sería pensar que está relacionada con “hacia dónde acabaría yendo”.

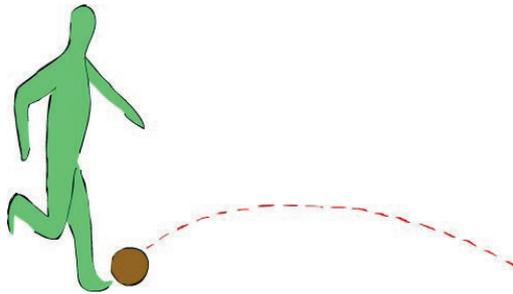
Lanzo una pelota hacia arriba:



Aunque lancemos un cuerpo hacia arriba, ¿hacia dónde está dirigida su aceleración?

A pesar de ir hacia arriba, cada vez va más despacio... y acabará cayendo al suelo.

Golpeo la pelota con el pie:



¿Serías capaz de representar el vector aceleración en cada punto de la trayectoria de la pelota?

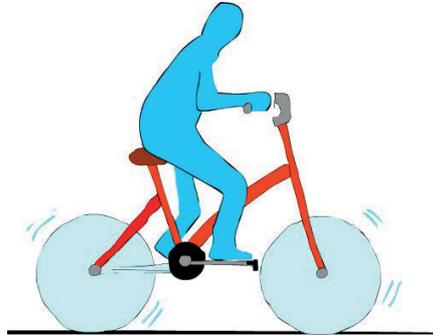
La gravedad “va tirando” de la pelota, de forma que acaba cayendo sobre el suelo.

¡GIRA EL MUNDO GIRA!

El movimiento circular, aquél cuya trayectoria es una circunferencia, también nos resulta cotidiano: una rueda girando, una noria, un tiovivo. En realidad, cada tramo curvo que describimos en una carretera podemos considerarlo como una porción de movimiento circular.

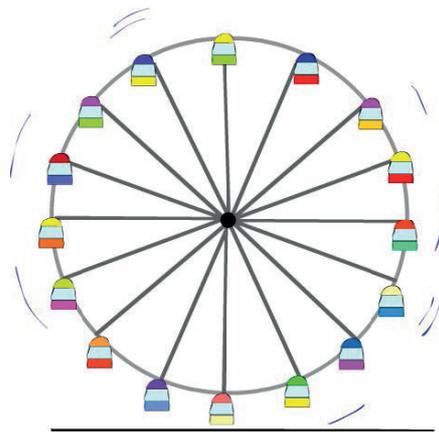
Vamos a analizar el movimiento circular uniforme.

Cuando vamos en coche y tomamos una curva, si miramos el velocímetro y vemos que la velocidad no varía, el movimiento que estaremos analizando será un movimiento circular uniforme, durante el tramo que dura la curva. También, si paseamos en bicicleta con movimiento uniforme, el de las ruedas será un movimiento circular uniforme.



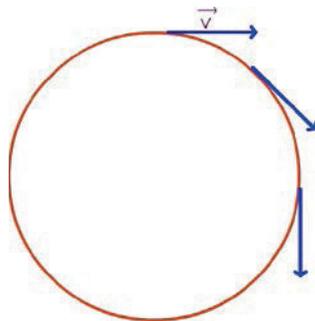
*¿Cómo es la trayectoria de las ruedas observado por el ciclista?
¿Y si la observara un peatón que estuviera en reposo?*

Los viajeros de una noria realizan también un movimiento circular uniforme, salvo en el momento de arrancar y cuando se comienza a detener, en esos momentos no es uniforme.



El movimiento circular nos resulta especialmente divertido en ocasiones.

Si tuviéramos que representar el vector velocidad asociado a un móvil que describe un movimiento circular, esta representación sería algo como:

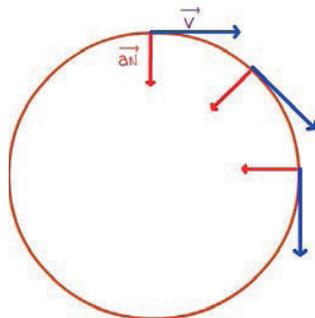


¡Ya advertíamos que la velocidad es un vector tangente a la trayectoria en cada punto!

Como ya hemos dicho, el vector velocidad se representa como un vector tangente a la trayectoria en cada punto.

Tras esa representación, es posible que lo primero que observemos es que el vector velocidad, en realidad, está cambiando... está cambiando su dirección. Y es que decíamos que la velocidad es una magnitud vectorial, y por lo tanto puede cambiar en módulo, en cantidad, pero también puede cambiar en dirección y sentido. Asociada a ese cambio en la dirección de la velocidad, nos encontramos una aceleración que provoca dicho cambio, y es que parecería que estuvieran “tirando” del vector velocidad hacia el centro de la circunferencia que describe el móvil.

Esta aceleración se denomina aceleración normal (sinónimo de perpendicular) o centrípeta. Podemos denotarla como \vec{a}_N .



Siempre que la trayectoria no sea recta, hay aceleración.

Esta aceleración normal depende de la velocidad. Cuanto mayor sea la velocidad del móvil que describe un movimiento circular, mayor debe ser la aceleración para conseguir ese cambio en la velocidad.

2.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

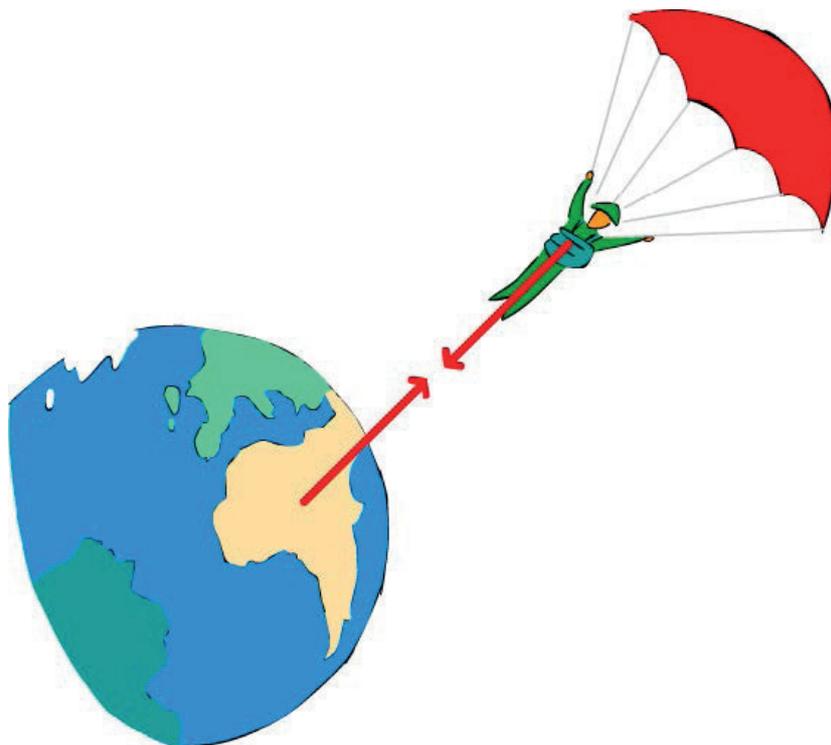
Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Así mismo, generarán sus propios ejemplos en los que aparezcan los conceptos: relatividad del movimiento, vector velocidad, vector aceleración, trayectoria rectilínea, trayectoria circular. Los alumnos que lo deseen pueden grabar su exposición en vídeo.

UNIDAD 3. Las fuerzas

“Un estudioso de la dinámica creará, por tradición, que escribir las ecuaciones de un sistema equivale a entenderlo”

James Gleick



3.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Gravedad, como aceleración que actúa sobre todos los cuerpos.
2. En la naturaleza se producen distintas interacciones entre los cuerpos.
3. Los conceptos definidos en las unidades anteriores: magnitudes físicas, posición, velocidad, aceleración.

3.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de fuerza y sus efectos sobre los cuerpos.
2. Que el/la alumno/a comprenda las leyes de la dinámica de Newton.
3. Que el/la alumno/a reconozca las fuerzas que intervienen en un movimiento circular.
4. Que el/la alumno/a identifique, represente y ponga nombre a las fuerzas que interaccionan sobre un cuerpo en distintas situaciones.
5. Que el/la alumno/a explique las fuerzas que actúan sobre él mismo en distintas situaciones.
6. Que el/la alumno/a explique la relación entre fuerza de rozamiento y movimiento.

3.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 3. Las fuerzas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Interacciones entre cuerpos | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de magnitud fuerza. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de cuerpo elástico. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de cuerpo plástico. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de cuerpo rígido. | | | | | |
| 5. Puedo explicar la ley de Hooke. | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 6. Puedo explicar el concepto de constante elástica del muelle. | | | | | |
| Tema II. Fuerzas y Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo explicar las leyes de Newton | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de fuerza de rozamiento | | | | | |
| 3. Puedo explicar qué son las fuerzas en el movimiento circular. | | | | | |
| 4. Puedo explicar qué es una fuerza normal y dibujarla. | | | | | |
| 5. Puedo explicar la relación entre peso y fuerza normal. | | | | | |
| 6. Puedo explicar qué es la tensión y dibujarla. | | | | | |
| 6. Puedo dibujar y explicar un diagrama de fuerzas. | | | | | |

3.4. MATERIALES

Distintos cuerpos con distinto grado de elasticidad: regla flexible, muelle, palo de chupa-chups, plastilina, tarjeta de plástico. Canica, trozo de tiza, folio, carpeta, libro, bolígrafos, cuerda. Dinamómetro.

3.5. EXPLICACIÓN

LAS FUERZAS

INTERACCIONES

Observamos en la naturaleza cómo se producen continuas interacciones entre cuerpos.

La lluvia cae debido a la interacción gravitatoria. Al caminar, dejamos huellas sobre la arena de la playa.

Podemos recrear otras situaciones fácilmente: un imán atrae a un trozo de hierro, un muelle se deforma cuando tiramos de él, una canica rodando acaba deteniéndose...

Rompemos un trozo de papel con suma facilidad, o lo arrugamos y convertimos en una bola.

Vemos además que el efecto que producen estas interacciones depende de su intensidad, así como de las características de cada cuerpo.

Precisamente, vamos a definir la magnitud fuerza como una medida de la interacción entre dos cuerpos.

Pero vamos a analizar con mayor detalle cuáles son los efectos de aplicar una fuerza.

Observamos un objeto que se encuentra sobre nuestra mesa de trabajo.

Este objeto se encuentra en reposo (¿relativamente?). Aproximo mi mano hacia él y le doy un pequeño empujón. Observo que se desplaza y, aunque termina por pararse, vemos que el efecto de aplicar una fuerza sobre ese cuerpo es que se ha producido un cambio en su estado de movimiento. Y además, cuanto “más fuerte lo empuje”, cuanto mayor sea la intensidad de la fuerza aplicada, mayor será este cambio producido.

Sobre otros cuerpos el efecto de la fuerza aplicada puede ser distinto. Si cojo un trozo de plastilina y lo aprieto entre mis dedos, veo que la fuerza aplicada produce una deformación sobre la plastilina. También sobre el pequeño muelle de un bolígrafo, que estiro o comprimo con facilidad.

Por lo tanto, vamos a sintetizar así los efectos de las fuerzas, diciendo que las fuerzas producen sobre los cuerpos: cambios en su estado de movimiento o deformaciones.

Esto es un intento de clasificar, de simplificar y de priorizar uno de los efectos sobre el otro. Esta forma de “resumir” la realidad y de crear modelos sencillos es muy adecuada en física, ya que facilita el estudio de los fenómenos naturales.

FUERZAS Y DEFORMACIONES

Desde el punto de vista que estamos tratando, teniendo en cuenta el efecto que producen las fuerzas que apliquemos sobre los cuerpos, estos a menudo se clasifican en: elásticos, plásticos y rígidos.

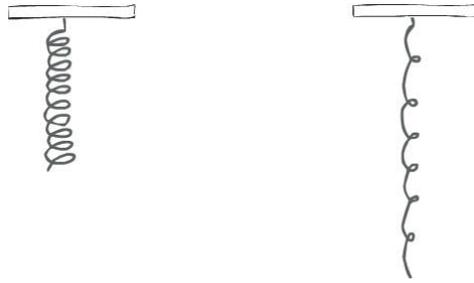
Se dice habitualmente que un cuerpo tiene un comportamiento elástico si al cesar la fuerza deformante recupera su forma original; que es plástico si adquiere una deformación permanente como resultado de la aplicación de una fuerza; o rígido, si como consecuencia de la fuerza aplicada, se rompe.

En realidad, podríamos decir que todo cuerpo tiene un comportamiento elástico, plástico o rígido, dependiendo de la intensidad de la fuerza aplicada y de la naturaleza del mismo.

Pensemos por ejemplo en una regla de plástico (o en un “palo” de chupachups). Si la cogemos por los extremos, seguramente no nos resultará difícil flexionarla levemente (más o menos, en función del material concreto, su forma, su longitud...); y cuando la dejemos, recuperará su forma original. Aplicando una fuerza mayor, quizá seamos capaces de provocar en este objeto una deformación permanente, y quizá incluso llegar a romperlo.

También podríamos pensar en un muelle. En breve hablaremos del muelle como ejemplo de cuerpo elástico. Vemos que, aplicando una fuerza, conseguimos estirarlo o comprimirlo, pero mantiene su forma original cuando cesamos la acción. Pero, ¿qué ocurriría si tirásemos de él con una fuerza tremenda?, se estiraría tanto que quedaría deformado permanentemente. Y, aunque nosotros no seamos capaces, es fácil comprender que aplicando la fuerza adecuada, acabaría por romperse.

Vamos a concretar nuestro estudio en los cuerpos elásticos. Como hemos dicho, el ejemplo más utilizado es el de un muelle.



¿Cuál ha sido el efecto de aplicar una fuerza sobre este muelle?

Cuando aplicamos una fuerza sobre un muelle vemos que este se estira. La ley de Hooke nos dice que la fuerza aplicada sobre el muelle es proporcional a la deformación (alargamiento) producido.

Precisamente ese factor de proporcionalidad, relación entre la fuerza aplicada y el alargamiento del muelle, es lo que se llama **constante elástica del muelle**. Por tanto, cada muelle, cada cuerpo elástico, puede caracterizarse por su constante elástica. Esta determina su comportamiento frente a la aplicación de una fuerza.

¡Por cierto! Este sencillo ejemplo nos muestra el carácter vectorial de la magnitud fuerza, ya que el efecto sobre el muelle no es el mismo si tiro de él hacia abajo, que si lo empujo hacia arriba.

FUERZAS Y MOVIMIENTO

Otro efecto de la aplicación de una fuerza sobre un cuerpo es modificar su estado de movimiento. Es Newton el que sienta los principios fundamentales de esta relación con el enunciado de sus tres leyes de la dinámica (la dinámica es la parte de la física que estudia las fuerzas y sus efectos).

Primera Ley de Newton. Principio de inercia.

“Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas, este permanece en reposo o continúa con su movimiento rectilíneo y uniforme”.

Antes de nada una aclaración: es difícil pensar en un cuerpo sobre el que no actúe ninguna fuerza... ¡tendría que estar él solo en el Universo! Decimos entonces

que no actúan fuerzas cuando en realidad queremos decir que todas las fuerzas que actúan sobre él se anulan unas a otras, se compensan.

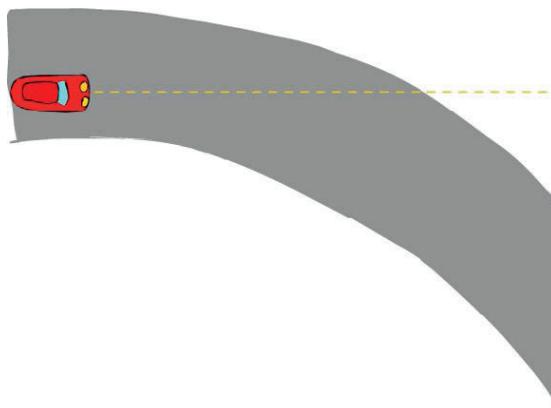
Por lo tanto, atendiendo a este principio de inercia, podemos pensar que sobre el libro que vemos en la mesa, y que permanece en reposo, no actúan fuerzas. Pero, ¿es igual de sencillo comprenderlo cuando un cuerpo está en movimiento?

Cuando el vehículo se mueve por una carretera recta con velocidad constante (movimiento rectilíneo y uniforme), la suma de las fuerzas (**resultante**) que actúan sobre él es cero; independientemente de la velocidad con la que se esté moviendo, ya sea veinte metros por segundo o de miles de metros por segundo.

Podríamos quizá también enunciar:

“un cuerpo permanece en reposo o moviéndose con movimiento rectilíneo y uniforme, hasta que una fuerza le obliga a cambiar”.

Si ahora me desplazo en coche por una carretera recta con velocidad uniforme, puedo afirmar que sobre mí no actúan fuerzas. Se aproxima una curva... al tomarla, el movimiento pasa a ser curvilíneo.



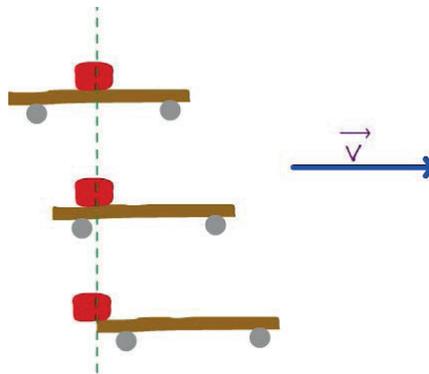
Si no hubiera una fuerza que le obligara a girar, el vehículo continuaría su movimiento rectilíneo.

Una fuerza ha hecho que el vehículo cambie su trayectoria... ¡y otra que yo también la cambie!

Eso lo observamos cada vez que nos damos un paseo en coche.

Nos encontramos sentados en el interior del coche, en reposo, y... ¡aceleramos! Según este principio, una fuerza ha provocado nuestro cambio de reposo a movimiento, ¿qué fuerza ha sido la responsable? La fuerza responsable de nuestro cambio la provoca el asiento empujándonos. ¿Y si el vehículo frena bruscamente? Nosotros seguimos con movimiento rectilíneo y uniforme hasta que una fuerza nos obligue a detenernos, y en este caso esa fuerza la produce también el asiento (la fricción, que analizaremos en breve), o en su caso, el cinturón de seguridad.

Por si todavía queda alguna duda sobre este principio, pensemos en el siguiente ejemplo: un vagón descubierto de un tren con una superficie muy lisa (acaban de encerar), y sobre este coloco un bloque de hielo. El tren arranca. Si lo observáramos fotograma a fotograma, lo que veríamos sería algo como lo siguiente:



Si estuviéramos sentados en el vagón, ¿pensaríamos que el bloque de hielo se ha ido hacia atrás?, ¿observamos eso desde nuestra perspectiva?

Es decir, el tren ha arrancado, pero el bloque de hielo continuará en su estado de reposo, hasta que una fuerza no le obligue a cambiar.

La situación de frenado sería también muy intuitiva. Supongamos que el tren se desplaza transportando el bloque de hielo.

Mientras el tren se mueve con velocidad constante, el bloque de hielo mantiene su posición sobre él; pero al frenar, el bloque de hielo seguiría moviéndose con la misma velocidad hasta que una fuerza le obligase a cambiar su estado de movimiento.

Algo parecido ocurriría cuando el vagón tomase una curva: el bloque de hielo seguiría moviéndose con movimiento rectilíneo y uniforme.

Pensemos lo peligrosas que resultan las placas de hielo en la carretera: hacen que el vehículo prosiga su movimiento rectilíneo, aunque el conductor haga esfuerzos por girar o detenerse, debido a que la débil fricción no es capaz de modificar su movimiento.

Segunda Ley de Newton.

Principio fundamental de la dinámica.

A estas alturas nos resulta ya evidente que, cuanto mayor es la fuerza que actúa sobre un cuerpo, mayor es su aceleración. La segunda ley de Newton nos da una relación entre estas dos magnitudes, diciéndonos que “*la fuerza que actúa sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere*”. Precisamente este factor de proporcionalidad es la masa de ese cuerpo.

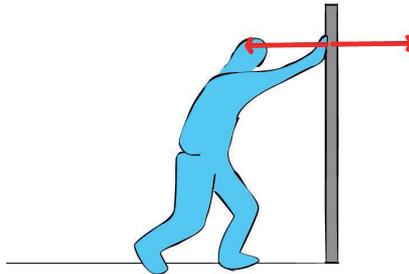
Este principio concuerda con muchas experiencias cotidianas: ¿por qué alcanzo más cuando lanzo una pelota de tenis que cuando hago lanzamiento de peso?, o... ¿por qué a *Spiderman* le resulta complicado detener un tren o un camión, y le resulta sencillo parar a una persona? Y es que, a igualdad de fuerza realizada, es más fácil modificar el estado de movimiento de un objeto de menor masa.

Además, este principio me permite dar una definición sencilla para el **newton** (N): la unidad correspondiente a la magnitud fuerza en el Sistema Internacional de Unidades. Y es que podemos decir que una fuerza tiene un valor de un newton, cuando a un cuerpo de un kilogramo es capaz de proporcionarle una aceleración de un metro por segundo al cuadrado.

Tercera Ley de Newton.

Principio de acción-reacción.

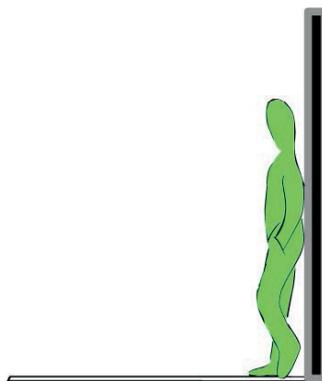
Esta tercera ley nos habla acerca de cómo se producen las interacciones entre dos cuerpos: “*las fuerzas con que interaccionan dos cuerpos son iguales y opuestas*”.



¿La fuerza que ejerzo sobre la pared es igual a la que ejerce la pared sobre mí?

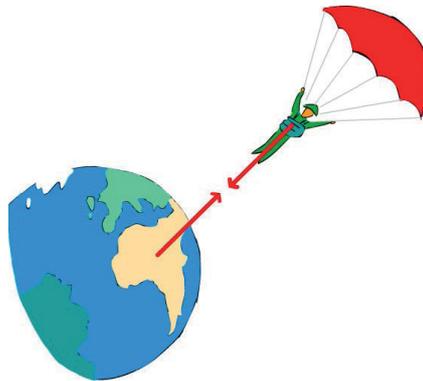
En este principio se encierran dos realidades. Por un lado, el hecho de que las fuerzas en la naturaleza se producen por parejas; pero además, que estas fuerzas de interacción son de idéntica magnitud, pero de sentidos opuestos.

Si empujo o me apoyo sobre la pared, estoy ejerciendo una fuerza sobre ella. La pared realiza sobre mí una fuerza igual y opuesta.



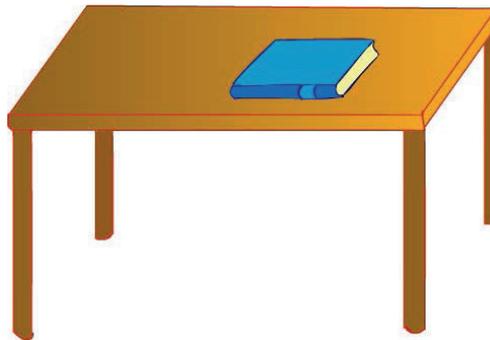
Quién iba a decir que estar apoyado en una pared fuera una cuestión física...

La Tierra atrae al paracaidista con una fuerza que llamamos peso, pero también el paracaidista atrae a la Tierra con la misma fuerza.



La Tierra atrae al paracaidista con la misma fuerza con que el paracaidista la atrae a ella.

El libro está sobre la mesa. La mesa está ejerciendo una fuerza sobre él (que, por cierto, compensa justamente al peso). Por tanto, el libro ejerce sobre la mesa una fuerza igual y opuesta.



*La mesa sujeta al libro, y el libro empuja a la mesa.
¿Por qué sabes que esas fuerzas son iguales y opuestas?*

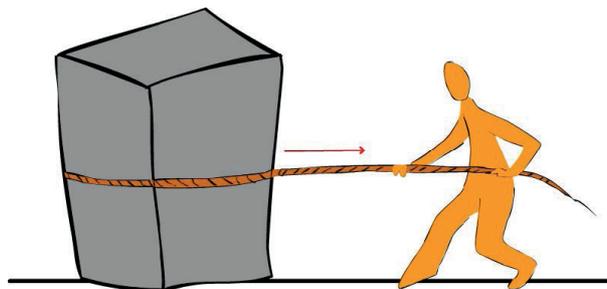
Las fuerzas con que interaccionan los cuerpos son por tanto iguales y opuestas, pero los efectos que producen dependerán de las características del objeto sobre el que actúan.

Si suelto la tiza que tengo en la mano, observo que empieza a caer, debido a la atracción gravitatoria que ejerce la Tierra. Sin embargo, la tiza está atrayendo a la Tierra con una fuerza igual y opuesta.

Entonces, ¿por qué cae la tiza y no “sube” la Tierra? Como hemos dicho, son fuerzas iguales en magnitud, pero al tener la Tierra una masa infinitamente mayor, ¡haría falta aplicarle una fuerza enorme para comunicarle una aceleración!

¿HAY FRICCIONES?

Recurro a vuestra imaginación para plantearos la siguiente situación: supongamos que ato una cuerda a un enorme bloque de granito con intención de desplazarlo... Creo que será un infructuoso esfuerzo.



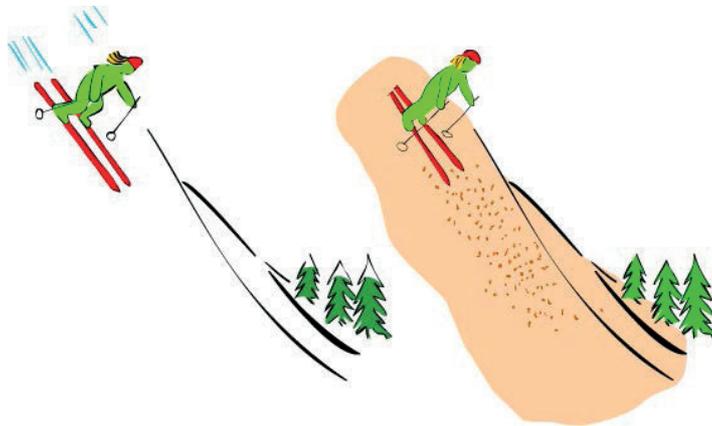
¡No consigo mover este bloque de granito!

¿Por qué no consigo desplazarlo? ¿Habría alguna forma de conseguir que yo moviera ese bloque? ¿Cómo se las ingeniarían los egipcios, por ejemplo, para desplazar grandes bloques de piedra?

Vayamos a un caso más familiar.

Si quisiéramos mover una mesa, por ejemplo la del profesor que es más pesada, creo que lo conseguiría, pero me resultaría más cómodo si le pongo ruedas.

Y fijaos lo fácilmente que nos deslizamos por una ladera nevada con nuestros esquís. En verano, sin nieve, estoy convencido de que no alcanzaremos esas velocidades.

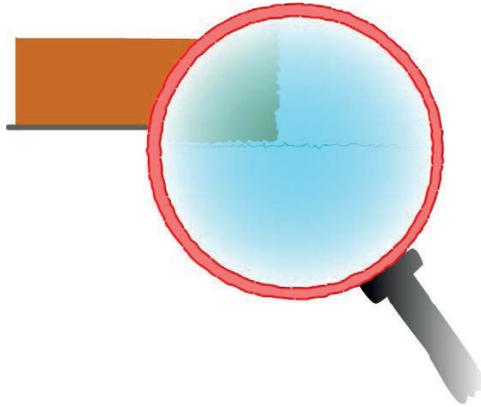


¿De qué depende la facilidad para deslizarnos? ¿De la estación del año?

Responsable de que nos resulte más sencillo o más complicado deslizar unas superficies sobre otras es la **fuerza de rozamiento**.

Por muy pulida que esté una superficie, si la observamos a nivel microscópico, nos encontramos con que en ambas superficies existen microirregularidades.

Por tanto, cuando ponemos dos superficies en contacto y pretendemos deslizar una sobre la otra, las irregularidades de ambas superficies chocan entre sí, produciendo esta fuerza de oposición al deslizamiento que llamamos fuerza de rozamiento.



El aspecto de una superficie pulida no es el mismo visto con más detalle.

Esta es la causa que hace que cuando lanzamos una canica por el suelo, acaba deteniéndose.

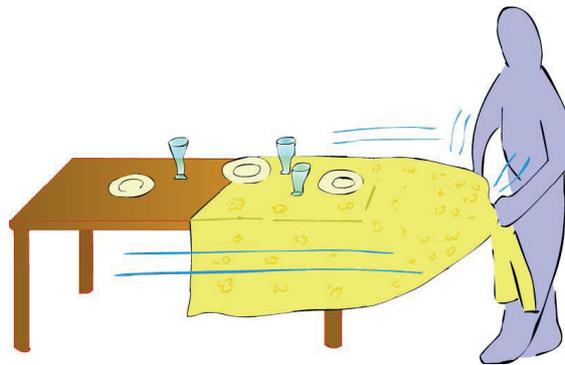
Si no hubiese fuerza de rozamiento, con apenas tocar una mesa, por ejemplo, comenzaría a moverse, y no pararía a no ser que alguien la detuviera; pero, ¿cómo la detendría si no hay rozamiento?...

El rozamiento de los neumáticos con la carretera también es la fuerza responsable de que el coche se mueva. Y responsable también de que el vehículo tome una curva cuando es necesario.

No pensemos entonces que la fuerza de rozamiento se opone al movimiento. Simplemente se opone a que una superficie deslice sobre otra en la que se apoya. En ocasiones la fuerza de rozamiento es responsable de que se produzca el movimiento.

Y si no, analicemos la siguiente situación: colocamos los cubiertos sobre la mesa, ¿qué ocurre si tiro suavemente del mantel? Los vasos, platos y copas se moverán junto con el mantel. La fricción con el mantel es la responsable de que todos esos objetos se muevan.

¿Y qué ocurre si tiro bruscamente del mantel?



*Un truco de magia: tiramos bruscamente del mantel y los cubiertos permanecen en su sitio...
¿sabrías describir por qué?*

¡VUELTAS Y MÁS VUELTAS!

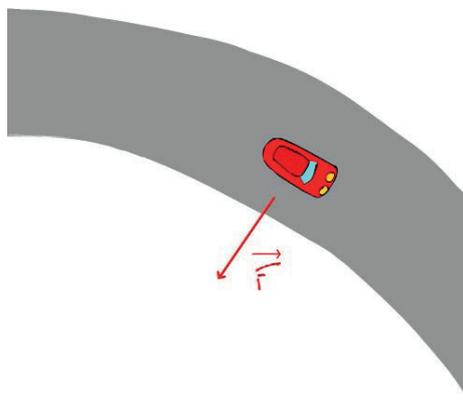
¡Y seguimos comentando situaciones fascinantes!

Vamos a hablar ahora de las fuerzas en el movimiento circular.

Como ya comentamos, en un movimiento circular, existe siempre al menos una aceleración: la aceleración normal. Con lo que sabemos ya de las fuerzas, pensamos que la segunda ley de Newton nos indica que hay una fuerza que está provocando esa aceleración, ese cambio en la dirección de la velocidad. Es decir, en un movimiento circular, siempre existe una fuerza que “obliga” a girar y mantiene a ese cuerpo en su trayectoria circular.

También sabemos que, a mayor velocidad, mayor aceleración normal. Por lo tanto, a mayor velocidad, mayor fuerza debe existir sobre el móvil para mantenerlo en su trayectoria circular.

Por este motivo, las curvas en una autovía no pueden ser tan pronunciadas como en ciudad.

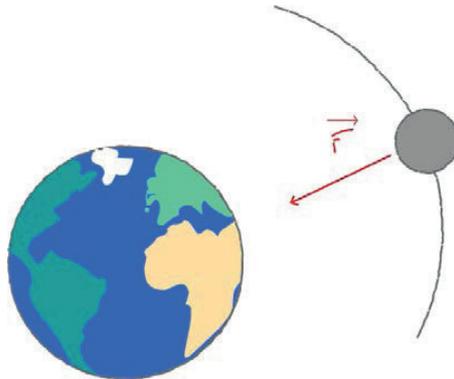


¿Qué hace que el vehículo describa una trayectoria circular?

Mientras un vehículo toma una curva, es la fuerza de rozamiento la que lo mantiene en esa trayectoria; y cuanto menor sea la velocidad del vehículo, menor fuerza se necesita para proporcionarle la aceleración necesaria.

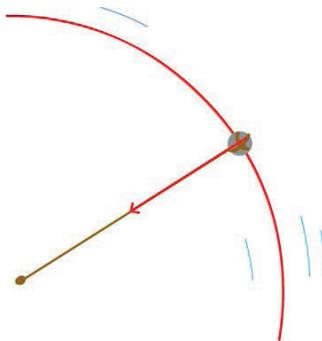
La Luna gira alrededor de la Tierra debido a la fuerza de atracción gravitatoria, que la mantiene en esa trayectoria circular. Pero... ¿por qué no se cae? Desde luego que si en un momento dado la Luna se parase, caería.

Estamos descubriendo entonces que el efecto de aplicar una fuerza perpendicular a la velocidad, es modificar la dirección del vector velocidad obligando al cuerpo a describir una trayectoria circular.



*Si la Tierra atrae a la Luna, ¿por qué no se cae?... o mejor dicho,
¿por qué no se caen ambas?*

También lo comprobamos cuando atamos una bolita a una cuerda y la hacemos girar. Es la fuerza que ejerce la cuerda, fundamentalmente, la que hace que la bolita gire. De hecho, si la cuerda se rompiera, la bolita saldría disparada... ¿en qué dirección?

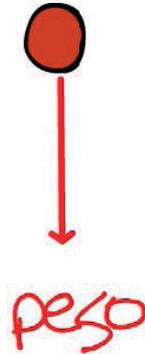


¡Cuidado al reproducir esta experiencia!

DIBUJANDO FUERZAS

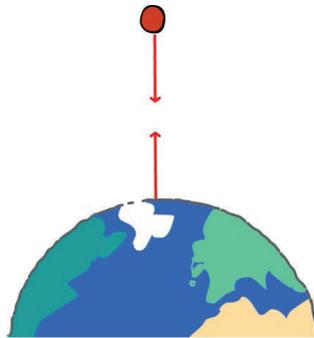
Comenzamos por recrear algunas situaciones que nos servirán para analizar las fuerzas que actúan, ¡y poner nombre a algunas de las fuerzas que aparecerán!

Imaginemos una situación muy sencilla: soltamos un cuerpo, y cae por acción de la gravedad. En este caso, la única fuerza que actúa sobre este cuerpo es el peso, la fuerza con que la Tierra lo atrae:



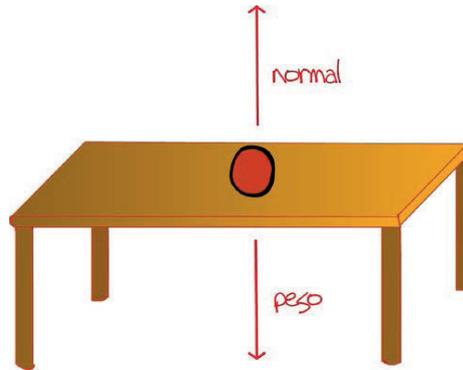
¿La Tierra atrae a todos los cuerpos?

Representamos esta fuerza mediante un vector vertical dirigido hacia el centro de la Tierra. ¿Recordamos cuál es la pareja de esta fuerza? El principio de acción y reacción nos dice que este cuerpo atrae a su vez a la Tierra con una fuerza igual y opuesta:



Aunque haya muchas fuerzas que sean iguales en magnitud, recordemos en cada momento cuál es la pareja de cada una de ellas.

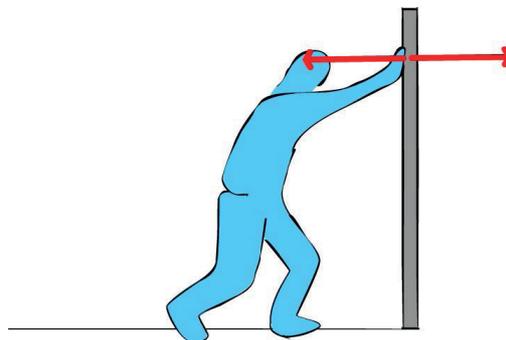
Supongamos ahora que ese cuerpo descansa sobre una mesa. Observamos que no se cae. La mesa ejerce una fuerza sobre el cuerpo que compensa exactamente al peso: a esta fuerza la llamaremos **fuerza normal**.



La fuerza normal “contrarresta” el efecto del peso, manteniendo los objetos sobre la mesa.

La fuerza normal es la fuerza de interacción que ejerce una superficie sobre un cuerpo apoyado en ella, y en este caso “normal” debemos interpretarlo como sinónimo de “perpendicular”, ya que esta fuerza es perpendicular a la superficie sobre la que se apoya el objeto. Sabemos también, por el principio de acción-reacción, que el cuerpo realiza sobre la superficie una fuerza igual y opuesta.

Si me apoyo sobre una pared, esta me sujeta con una fuerza perpendicular a la superficie de la pared. Es también la fuerza normal:



La fuerza normal aparecerá siempre que un cuerpo esté apoyado sobre otro.

Ahora cogemos ese objeto, le atamos una cuerda y lo colgamos del techo:



Antes de continuar, te invitamos a que realices esta experiencia y reflexiones acerca de las fuerzas que intervienen.

En este caso, la cuerda es la que ejerce sobre el cuerpo la fuerza que compensa el peso. A esta fuerza la llamamos tensión.

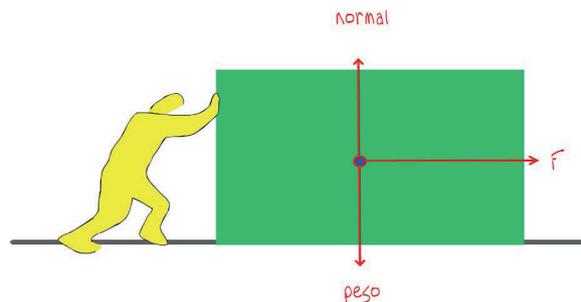


El peso y la tensión, a pesar de no ser "pareja", ¿son iguales y opuestas?

La tensión es entonces la fuerza que ejerce una cuerda sobre un cuerpo cuando lo sujeta o tira de él.

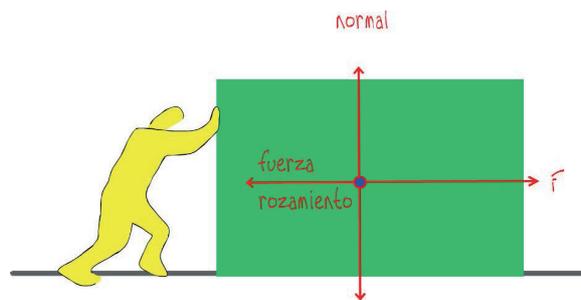
En las situaciones que acabamos de ver, las fuerzas se compensan, el objeto sobre el que actúan está en equilibrio, la resultante de todas las fuerzas es cero.

Planteemos entonces la situación en la que un cuerpo estuviera apoyado sobre el suelo y al mismo tiempo yo lo empujara con una fuerza F . El diagrama de fuerzas sería ahora el de la figura:



Sin rozamiento no me cuesta mover las cosas

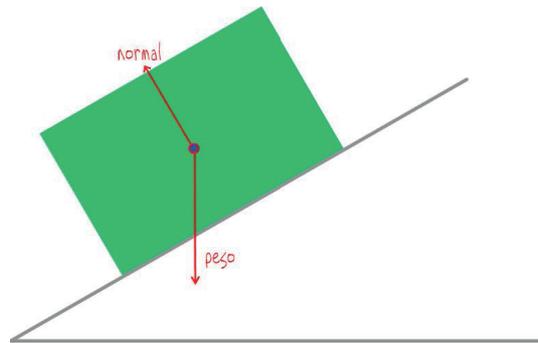
Si en esta situación quisiéramos considerar la fuerza de rozamiento, este sería el diagrama de fuerzas obtenido:



La fuerza de rozamiento se opone a que una superficie deslice sobre otra.

Las representaciones anteriores pueden hacernos pensar que la fuerza normal y el peso son iguales (en magnitud) siempre, pero recordemos que estas fuerzas no son pareja.

Otra situación interesante la tendríamos al situar el objeto sobre un plano inclinado. Si no consideramos rozamiento, la representación de las fuerzas sería la siguiente:

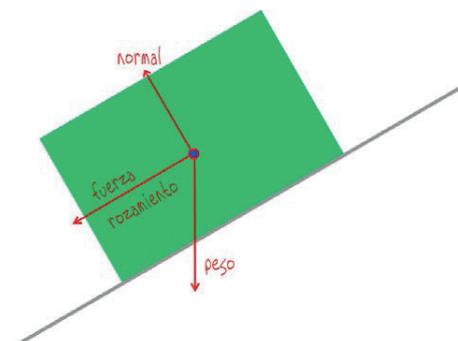


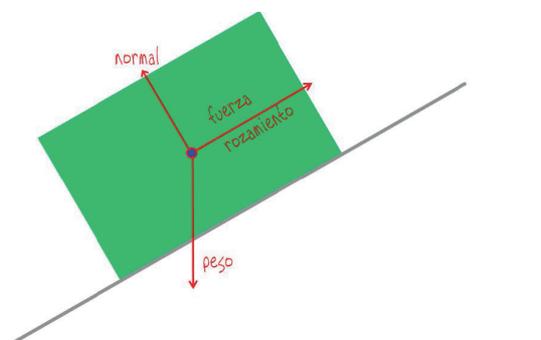
La fuerza normal y el peso no toman siempre el mismo valor.

Vemos claramente que en esta situación, peso y normal no se compensan (para ello tendrían que ser opuestas y de la misma magnitud), y que el peso, en parte se encarga de mantener al cuerpo pegado al plano, pero además tiende a hacerlo deslizar sobre la superficie del plano.

Si ahora consideramos que hubiera rozamiento, recordando que esta fuerza se opone al deslizamiento de una superficie sobre otra, contemplaríamos las situaciones:

- Cuerpo subiendo (porque lo hemos lanzado desde abajo por ejemplo):





Quizá no son las únicas posibilidades que podríamos analizar...

3.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar las interacciones y explicar sus efectos.

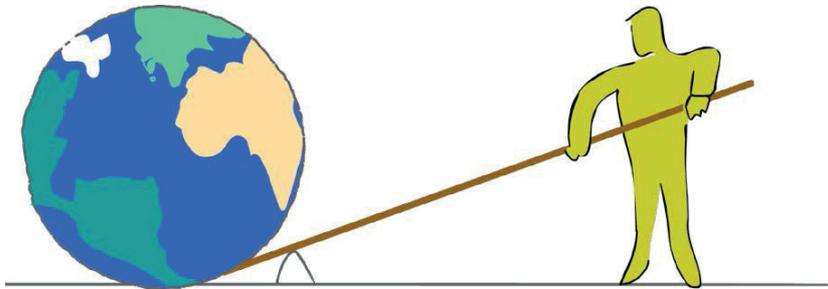
Estudio del dinamómetro. Se sugerirá la actividad de analizar el funcionamiento de un dinamómetro además de para medirlo para calcular algunas fuerzas.

UNIDAD 4. Giros y fuerzas

Cuando las fuerzas producen giros... o no...

“Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo”

Arquímedes



4.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Fuerzas.
2. Efectos de las fuerzas.
3. Peso. Fuerza normal.

4.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de partícula puntual.
2. Que el/la alumno/a comprenda que el efecto al aplicar una fuerza sobre un cuerpo depende del punto de aplicación.
3. Que el/la alumno/a conozca el concepto de momento de una fuerza.
4. Que el/la alumno/a represente las fuerzas actúan sobre un cuerpo en distintas situaciones.
5. Que el/la alumno/a comprenda las condiciones de equilibrio de un cuerpo.
6. Que el/la alumno/a conozca los tipos de máquinas simples.
7. Que el/la alumno/a conozca el concepto de centro de gravedad.

4.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 4. Giros y fuerzas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Partículas | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de partícula puntual. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de sólido. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de punto de aplicación de una fuerza. | | | | | |
| Tema II. Fuerzas y posición | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de momento de una fuerza respecto de un punto. | | | | | |
| 2. Puedo explicar las condiciones de equilibrio de una varilla. | | | | | |
| 2. Puedo explicar cómo funciona una palanca de primer género. | | | | | |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| 3. Puedo explicar cómo funciona una palanca de segundo género. | | | | | |
| 4. Puedo explicar cómo funciona una palanca de tercer género. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es el centro de gravedad o centro de masas. | | | | | |

4.4. MATERIALES

Varillas, listones, bolígrafos, regla, gomas de borrar, metro, cuerda, cartón, chinchetas o clavos, pinzas de depilar, tijeras.

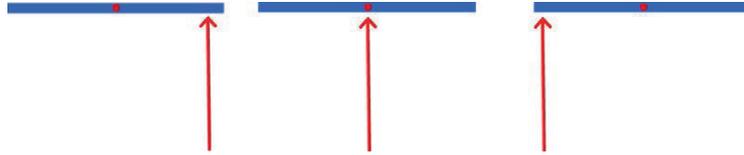
Dos dinamómetros.

4.5. EXPLICACIÓN

Cuando las fuerzas producen giros... o no...

En la unidad anterior hemos considerado que el efecto de las fuerzas aplicadas sobre un cuerpo era independiente de su forma. Hemos considerado a los objetos como partículas puntuales, como si los objetos fueran puntos, de forma que todas las acciones estuvieran aplicadas en un mismo punto. Quizá no siempre podamos considerar a los cuerpos como partículas puntuales.

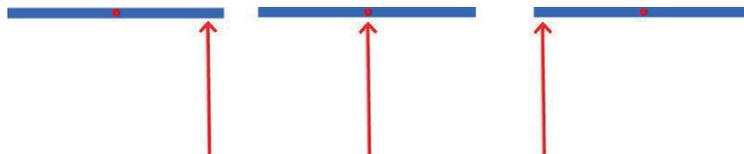
Imaginemos la siguiente situación: un listón de madera clavado en la pared por su punto medio. ¿Cuál será el efecto al aplicar la misma fuerza en las siguientes situaciones?



¿Fuerzas iguales producen el mismo efecto en la barra? ¿Por qué?

Nos resulta intuitivo pensar que en el primer caso, la barra comenzaría a girar en sentido antihorario. En el segundo caso, la barra permanecería inmóvil, salvo que aplicara la fuerza suficiente como para arrancar el clavo. Y en el tercer caso, la barra giraría en sentido horario.

Además, si aplicamos la fuerza en sentido contrario como veis en la figura:

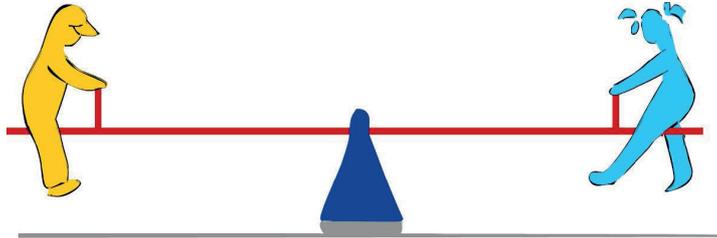


Haz el siguiente experimento: coge un lápiz, sujétalo por el medio, y aplica acciones como las de la figura. ¿Hacia dónde girará?

Resulta que, aplicando una fuerza opuesta a las de las situaciones anteriores, aunque en puntos distintos, obtenemos el mismo efecto.

Por tanto, cuando consideramos la forma que tienen los objetos, vemos que el efecto que produce una fuerza, no depende solamente de su magnitud, o de su dirección y sentido, sino también del punto sobre el que están aplicadas estas fuerzas en el objeto.

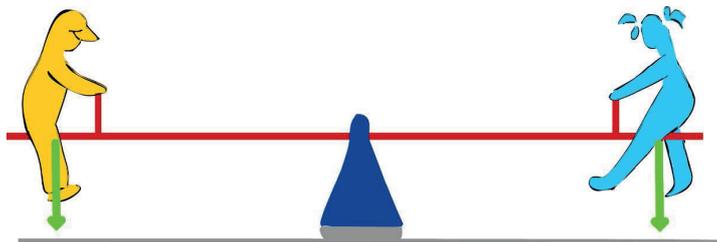
Si nos damos un paseo por el parque, fácilmente nos encontraremos la situación de dos niños jugando en un balancín:



¡Y con esto queda demostrado que experimentar con física es divertidísimo!

Cada niño, debido a su peso, está ejerciendo una fuerza sobre el balancín; como empujándolo hacia abajo con una fuerza igual a su peso.

Esta situación la podríamos esquematizar como sigue:

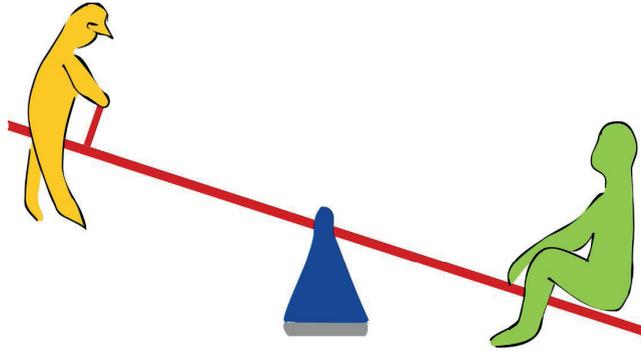


Representar las fuerzas mediante vectores nos simplifica el problema.

Resulta intuitivo y fácilmente comprobable, que si la masa de los dos niños es la misma, el balancín se encontrará en equilibrio manteniéndose horizontal, sujetado por la fuerza que realiza el punto de apoyo (normal).

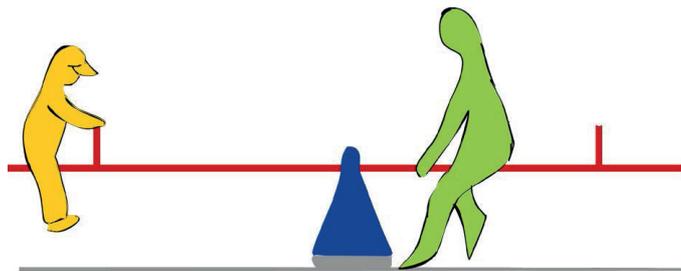
Pero, ¿qué ocurriría si la masa de uno de los niños fuera mayor?

Observaríamos que el balancín tendería a girar en el sentido del niño de mayor masa... hasta que tocara el suelo por ese lado:



Si los niños se sientan en los extremos del balancín, y la masa de un niño es mayor, ¿qué ocurrirá?

¿Cómo recuperaríamos el equilibrio horizontal del balancín? Si el niño de mayor masa pudiera moverse sobre el balancín y se acercara hacia el punto de apoyo, encontraría una posición en la que el balancín recuperaría el equilibrio.



Como el peso de los dos niños es distinto, para que el balancín esté en equilibrio deben situarse a distinta distancia del punto de apoyo.

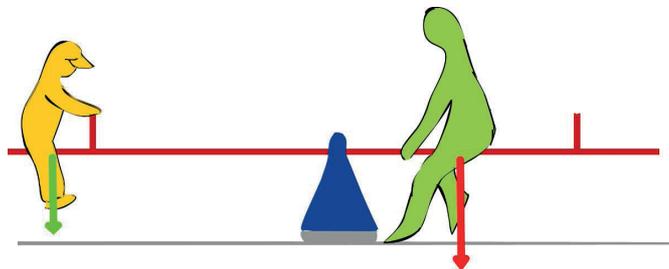
En esta situación vemos cómo fuerzas distintas actuando sobre un cuerpo, compensan sus efectos. Por lo tanto se nos ocurre pensar que, para caracterizar el equilibrio de un cuerpo cuando tenemos en cuenta su forma, no sea suficiente el hecho de que la fuerza total sobre ese cuerpo sea cero, como nos indicaba la primera ley de Newton. Quizá en esta nueva situación necesitemos definir nuevas magnitudes.

¡UN MOMENTO POR FAVOR!

La nueva magnitud que vamos a definir es el momento de una fuerza con respecto a un punto. ¿Vaya nombrecito? No es para tanto.

Si en el ejemplo del listón clavado en la pared, o del balancín, tomamos un punto de referencia, por ejemplo el punto de sujeción, el momento de cada fuerza con respecto a dicho punto es simplemente el producto del valor de la fuerza por la distancia del punto de aplicación de la fuerza al punto de sujeción. Las unidades del momento de una fuerza, en el Sistema Internacional, serán por tanto newton por metro ($N \cdot m$).

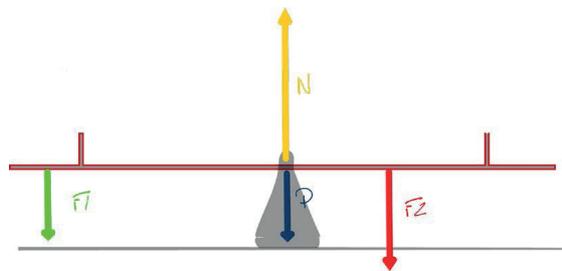
Con esta nueva magnitud podemos analizar el equilibrio del balancín. Pensaríamos que, a medida que el niño de mayor masa avanza sobre el balancín, el producto de la fuerza que ejerce sobre este por la distancia al centro del balancín, se van haciendo más pequeños, hasta que vale lo mismo que el producto de la fuerza que ejerce el niño de menor masa por la distancia de este al centro del balancín; es decir, hasta que los momentos se igualan:



Cuando el momento de las fuerzas que se ejercen sobre el balancín son iguales, el balancín se encuentra en equilibrio.

Podríamos generalizar este resultado diciendo que un cuerpo está en equilibrio cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es cero y, además, los momentos de las fuerzas que tienden a hacerlo girar en un sentido, equilibra al momento de las fuerzas que tienden a hacerlo girar en sentido contrario.

Si analizamos con más detalle las fuerzas que actúan sobre el balancín, nos encontraríamos alguna más, además de las debidas a la acción de los niños. Podríamos pensar que el balancín posee un cierto peso P , de forma que el punto de apoyo está soportando además de este peso, las fuerzas F_1 y F_2 debidas al peso de los niños, y por tanto el punto de apoyo sujeta al balancín con una fuerza normal, N . El esquema podría ser el siguiente:

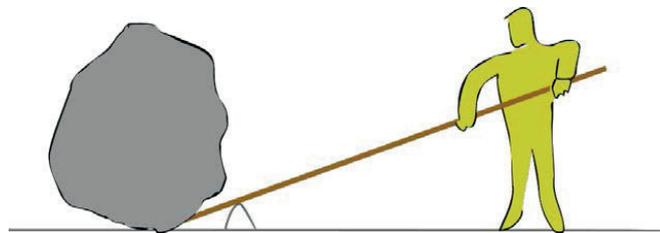


*Diagrama de fuerzas sobre el balancín en la situación de equilibrio
En estas condiciones el balancín se quedaría horizontal.*

Quizá esto sirva como justificación de por qué, al analizar el equilibrio del balancín hemos tomado como referencia precisamente ese punto medio. Así nos hemos ahorrado el cálculo del momento que producirían las fuerzas ahí situadas (ya que el punto de aplicación de las fuerzas coincide con el punto respecto al que tomamos momentos, y por tanto el momento de estas fuerzas es nulo); cálculo que tendríamos que haber realizado si hubiésemos tomado como referencia otro punto, por ejemplo un extremo del balancín.

Acabamos de encontrar el principio de funcionamiento de las máquinas simples o palancas, que son muy utilizadas directamente o como parte de mecanismos más complejos.

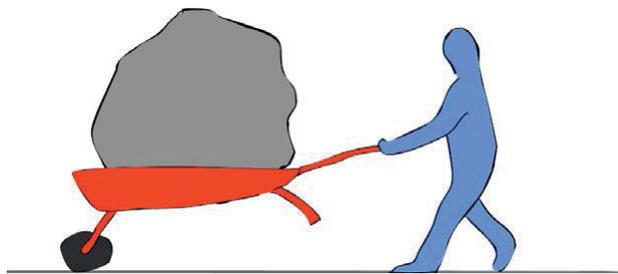
Si queremos elevar una roca de gran masa solo necesitamos una palanca, de forma que, situándola bajo la roca y buscando un punto de apoyo... conseguiremos desplazarla, y más fácilmente cuanto más cerca de la roca esté el punto de apoyo y más larga sea la palanca.



Palanca de primer género.

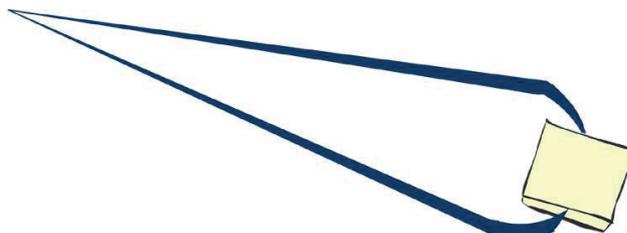
Este tipo de palanca recibe el nombre de palanca de primer género: el punto de apoyo se encuentra entre el punto de aplicación de la potencia (la fuerza que nosotros realizamos) y la resistencia (la fuerza que ejerce la roca).

Un ejemplo de palanca de segundo género lo veríamos al transportar en carretilla nuestra roca problema. En este caso el punto de apoyo está en un extremo (la rueda de la carretilla) y la potencia la aplicamos en el otro.



Palanca de segundo género.

Y ya puestos a enumerar, la palanca de tercer género podría venir representada por una pinza para depilar. En este caso ejercemos la potencia entre el punto de apoyo (que sería la unión de los dos brazos de la pinza) y la resistencia.



Palanca de tercer género.

CENTRO DE GRAVEDAD

No podíamos zanjar esta unidad sin hablar de este punto tan importante: el **centro de gravedad** o **centro de masas**.

Os invito a coger un bolígrafo, situarlo sobre el dedo índice extendido, e intentar mantenerlo horizontalmente en equilibrio. No nos resultará complicada esta experiencia.

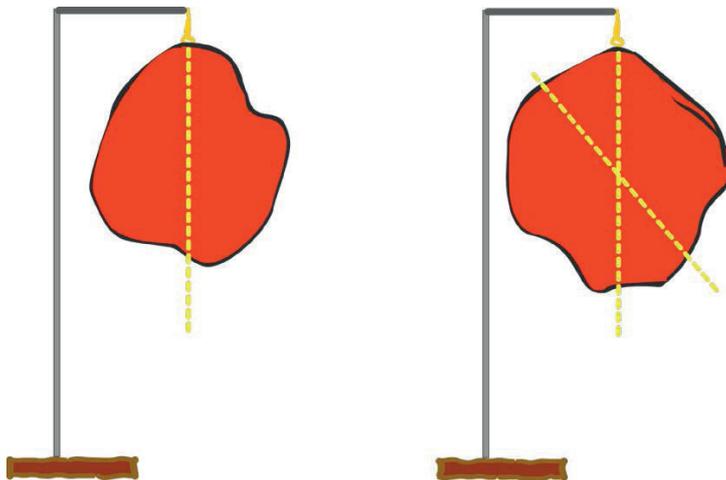
Dependiendo de la forma del bolígrafo, aproximadamente si lo sitúo apoyando su punto medio sobre el dedo, se quedará fácilmente en equilibrio.

Podemos pensar que cada “trocito” de bolígrafo es atraído por la Tierra, y por tanto pesa. Sin embargo, el hecho de que sujetándolo por un punto, logre mantenerlo en equilibrio, me hace pensar que podría considerar que, a pesar de la forma del bolígrafo, se está comportando como si toda su masa estuviera en ese punto.

Entonces podríamos considerar que un objeto con cualquier forma se comporta como una partícula puntual, cuando todas las fuerzas que actúan sobre él llevan la dirección de su centro de gravedad.

Nos resulta entonces intuitivo pensar que, en las figuras regulares, el centro de gravedad se encontrará en su “centro”.

Un sencillo truco para calcular la posición del centro de gravedad de una figura plana, es suspenderla de dos puntos y dibujar la vertical sobre ella; el punto donde se cortaran estos trazos sería el centro de gravedad.



Si suspendemos una figura plana por varios puntos distintos y trazamos la vertical desde el punto de suspensión, estas líneas se cortarán en un punto.

4.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor. Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar las interacciones.

Determinación experimental del centro de gravedad de un cuerpo plano. El alumno diseñará distintos objetos planos con cartón de forma arbitraria y determinará su centro de gravedad.

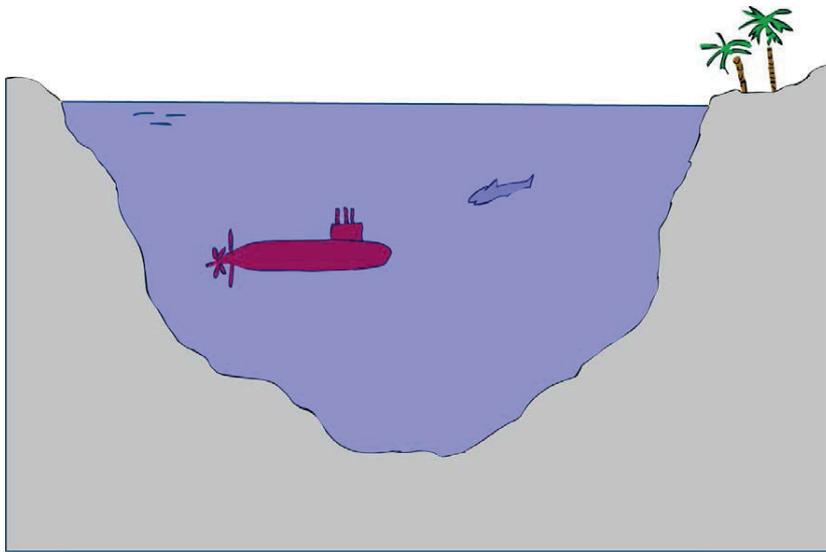
Comprobación experimental de las relaciones entre fuerzas y distancias en el equilibrio de una varilla. Utilizando dos dinamómetros y fijando una varilla por distintas posiciones, determinará la relación entre fuerzas y distancias al punto de fijación.

UNIDAD 5. Presión y atmósfera

¡Inmersión!

“Vivimos en el fondo de un mar de aire”

Evangelista Torricelli



5.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Fuerzas y sus efectos.
2. Conocimiento de la existencia de objetos que, con el mismo volumen, tienen distinta masa.

5.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de presión.
2. Que el/la alumno/a comprenda la relevancia de la presión para comprender el efecto de una fuerza sobre una superficie.
3. Que el/la alumno/a conozca el concepto de densidad.
4. Que el/la alumno/a conozca el concepto de presión hidrostática y su variación con la profundidad.
5. Que el/la alumno/a comprenda el principio de Pascal.
6. Que el/la alumno/a comprenda el principio de Arquímedes y las fuerzas involucradas en el mismo.
7. Que el/la alumno/a conozca qué es un fluido.
8. Que el/la alumno/a comprenda el funcionamiento de un barómetro.

5.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 5. Presión y atmósfera | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Presión | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de presión. | | | | | |
| 2. Sé cuál es la unidad de medida de la magnitud presión. | | | | | |
| 3. Puedo definir a qué equivale el pascal. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de densidad. | | | | | |
| 5. Puedo definir el concepto de presión hidrostática. | | | | | |

| | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|
| 6. Puedo explicar la relación entre presión y profundidad. | | | | | | |
| 7. Puedo explicar el principio de Arquímedes. | | | | | | |
| 8. Puedo explicar la relación entre empuje y peso. | | | | | | |
| 9. Puedo explicar el principio de Pascal. | | | | | | |
| 10. Puedo explicar el funcionamiento de los vasos comunicantes. | | | | | | |
| 11. Puedo explicar el funcionamiento de una prensa hidráulica. | | | | | | |
| Tema II. Atmósfera | | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de gas. | | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de densidad aplicado a los gases. | | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de presión atmosférica. | | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de atmósfera. | | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es un barómetro. | | | | | | |
| 6. Puedo explicar para qué sirve un barómetro. | | | | | | |
| 7. Puedo explicar qué es un vacío. | | | | | | |

5.4. MATERIALES

Chinchetas, cartón, plastilina, agua, recipientes (botellas de plástico de distintas capacidades, cubos, tubo de ensayo), vaso, moneda, esferas de distinta densidad (acero, ping-pong, goma), flan, brick de zumo, pajita, martillo, jeringuillas de distinta sección, tubo de goma, vasos comunicantes.

5.5. EXPLICACIÓN

¡Inmersión!

Vamos a abordar ahora el estudio de las fuerzas en fluidos: líquidos y gases. Con lo que hemos estudiado en las unidades anteriores, conocemos ya el efecto de las acciones sobre partículas puntuales y también sobre cuerpos con forma (sólidos rígidos).

¿Por qué debemos cambiar nuestra forma de estudio al hablar de gases o líquidos?

La teoría cinética nos dice que podemos considerar la materia como formada por partículas, pequeñas bolitas esféricas, rígidas, que vibran o se mueven, que chocan entre sí, intercambiando energía en estas colisiones. Entonces, si aparentemente podemos considerarlas como partículas puntuales, ¿por qué no utilizar simplemente las leyes de Newton para analizar su comportamiento?

La dificultad sería, fundamentalmente, que, por ejemplo, en 18 gramos de agua hay aproximadamente unas 602.300.000.000.000.000.000.000 de estas partículas. ¡Tratarlas individualmente complicaría mucho su estudio!

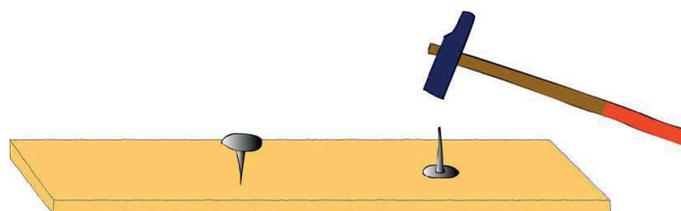
Esto es lo que nos obliga a realizar un estudio distinto, definiendo incluso nuevas magnitudes.

¡BAJO PRESIÓN!

En la Unidad 3 hablábamos acerca del efecto deformador de las fuerzas. Y comentábamos que este efecto, sobre un cuerpo determinado, depende de la intensidad de la fuerza aplicada.

Pero vamos a ver la siguiente situación, que nos aclarará otros factores de los que pueda depender.

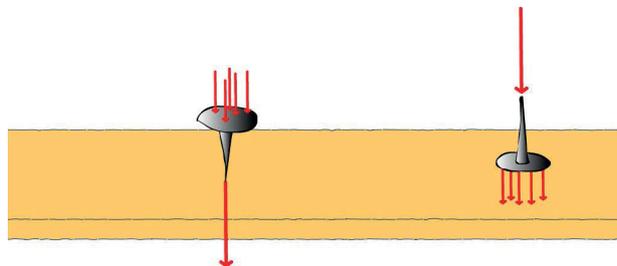
Si queremos clavar una chincheta sobre un listón de madera, ¿en cuál de las siguientes situaciones la chincheta penetrará más fácilmente en la madera?



¿Cuál de las dos situaciones te resulta más adecuada para clavar la chincheta?

Creo que nos parece obvio. En ambos casos, al golpear la chincheta con el martillo, estoy ejerciendo la misma fuerza sobre la chincheta, y esta a su vez la transmite al listón. En el primer caso, la chincheta penetra con facilidad en el listón, mientras que en el segundo caso nos resultará imposible.

En ambas situaciones, estoy ejerciendo la misma fuerza; simplemente en el primer caso, esta fuerza se está aplicando en un punto del listón, mientras que en el segundo caso, esta fuerza se distribuye en una superficie mayor.



La fuerza ejercida sobre el listón es la misma en los dos casos.

Vemos entonces que el efecto deformador de las fuerzas, depende no solo de su intensidad, sino también del tamaño de la superficie sobre la que se aplica. Cuanto menor sea la superficie sobre la que se ejerce la fuerza, mayor será su efecto deformador.

Observamos otro ejemplo al hacer rebanadas de pan. ¡Nos resulta más sencillo si usamos el filo del cuchillo que si le damos la vuelta!

¡Seguro que tú mismo eres capaz de encontrar muchos otros ejemplos!

Puede resultarnos útil, por tanto, definir la magnitud presión, como la fuerza ejercida por unidad de superficie, de forma que, cuanta más presión ejerza sobre un cuerpo (debido a que realizo mayor fuerza o que la ejerzo sobre una superficie menor), mayor será su efecto deformador.

La unidad para esta magnitud en el Sistema Internacional es el **pascal (Pa)**, que equivale a la presión que ejerce una fuerza de un newton sobre una superficie de un metro cuadrado. La presión es una magnitud escalar.

También conviene recordar otra magnitud, que aparecerá mucho en esta unidad: la **densidad**. La densidad de un cuerpo la calculo dividiendo su masa entre su volumen. También podría definirla como los kilogramos de masa de un metro cúbico de ese cuerpo. Por lo tanto, decimos que el acero tiene una densidad mayor que la madera: en un metro cúbico de acero hay más masa que en otro de madera.

Decimos, además, que la densidad del aceite es menor que la densidad del agua, y podemos asociarlo a que, si tengo masas iguales de ambos, el aceite ocupará más volumen. O dicho de otra forma, un litro de agua pesa más que un litro de aceite. Vamos a analizar los líquidos y los gases por separado. Aunque ambos son fluidos, la diferencia de densidades es muy grande: un globo lleno de aire pesa muchísimo menos que lleno de agua. Veremos a qué nos lleva todo esto.

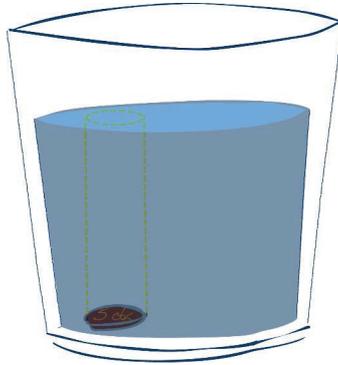
¡AHORA SÍ! ¡INMERSIÓN!

Cuando buceamos en la piscina o en el mar, estamos soportando ese peso de agua que tenemos encima. A medida que descendemos, más cantidad de agua tendremos encima, y por tanto mayor peso de agua estaremos soportando.

El peso es una fuerza. Sobre la superficie de nuestro cuerpo, este peso de agua estará ejerciendo una presión. ¡Esto lo notamos fácilmente en los oídos, que son muy sensibles a los cambios de presión!

La presión que ejerce el peso de un líquido se denomina presión hidrostática.

Teniendo en cuenta esto, si llenamos un vaso de agua e introducimos en su interior una moneda de 5 céntimos podríamos calcular el peso de agua que soporta, el peso del volumen de agua que tiene justamente encima (recordemos que la línea de acción del peso es siempre la vertical).



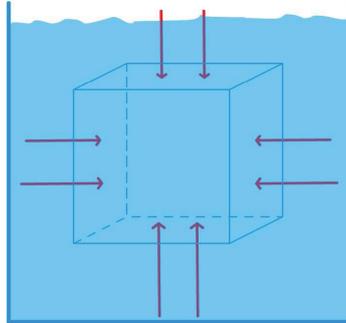
¿Qué soportaría más peso de agua, la moneda o el fondo del vaso?, ¿y presión?

El fondo del vaso soporta un peso mayor que la moneda, ya que tiene mayor superficie. Sin embargo, se ha definido presión como la fuerza que soporta la unidad de superficie; luego todos los cuerpos que estuvieran en el fondo del vaso soportarían la misma presión.

¿De qué factores depende por tanto esta presión hidrostática? Es evidente que, como hemos dicho, cuanto más me sumerja en el agua, más peso de agua soportaré. Por lo tanto, la presión hidrostática depende de la altura de líquido que tengo por encima. Además, si pensamos en la masa de líquido que soportamos por unidad de volumen, nos daremos cuenta de que la presión hidrostática depende de la densidad del líquido.

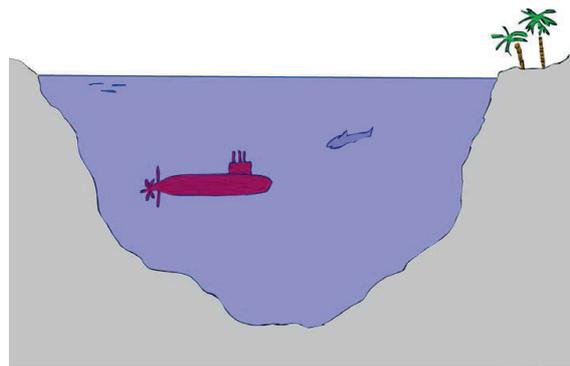
Por otro lado, la presión hidrostática en cualquier punto de un líquido determinado depende únicamente de la profundidad a la que nos encontremos. Luego, todos los puntos que estén a la misma profundidad dentro de un líquido se encuentran a la misma presión.

Además, siendo la presión una magnitud escalar, se manifiesta en todos los puntos como una fuerza perpendicular a la superficie de un objeto que esté sumergido en ese fluido.



Si metemos una caja dentro de un líquido, la fuerza debida a la presión es perpendicular a la superficie de cada cara.

Esto justifica que los submarinos tengan un límite para su inmersión, pasado el cual comienza a peligrar la integridad del casco. En las películas, aunque en apariencia sea debido a la pericia del protagonista, tenemos que caer en la cuenta de que solo depende de la presión que sea capaz de soportar.



La presión hidrostática que soporta el submarino y el pescadito depende de la profundidad a la que se encuentran. Además, esta se manifiesta como una fuerza perpendicular a la superficie que “comprime” a cada cuerpo.

¡EUREKA! ¡FLOTO!

Esto es lo que exclamó Arquímedes, según cuenta la leyenda, cuando se quiso dar un baño en su bañera a rebosar, al observar que se desparramaba el agua por el suelo a medida que él iba entrando en esta. Cualquiera de nosotros iría simplemente a por la fregona, o algunos gritarían a lo sumo “¡mamá, esto se desborda!”. Se ve que nuestro genio llevaba tiempo dándole vueltas a la cabeza a estos asuntos del comportamiento de los líquidos... y además, estaba muy atento a su entorno.

Muchas veces se formula el **principio de Arquímedes** como: “*Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desalojado*”.

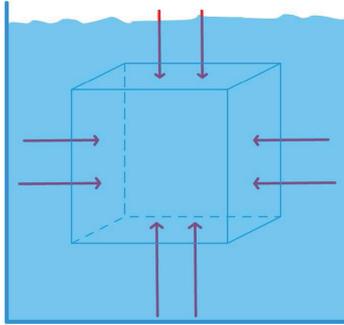
Vamos a analizar con más detalle esta célebre frase.

Si llenamos un vaso de agua hasta el borde e introducimos un objeto en él, vemos que el agua se desborda. Si recogemos este volumen de agua veremos que coincide con el volumen del cuerpo que hemos sumergido. Realmente esto nos resultará evidente al pensar que ahora el cuerpo sumergido ocupa un volumen en el que antes había agua. De paso, hemos obtenido un método para calcular el volumen de un cuerpo.

Pues bien, Arquímedes nos sugiere que, un cuerpo sumergido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso de ese volumen de líquido.

Analicemos esto más detenidamente.

Si sumergimos un cuerpo, por ejemplo un cubo, en agua, es fácil comprender que la fuerza total sobre las caras laterales, se anulará, ya que sobre cada cara y su opuesta, actúan fuerzas que se equilibran. Sin embargo, por la cara superior e inferior tendremos fuerzas distintas, ya que la cara inferior se encuentra a una profundidad mayor (por tanto está sometida a mayor presión) que la cara superior (justamente la diferencia de profundidades coincide con la altura del cubo). De esta forma siempre tendremos una fuerza resultante hacia arriba.



La presión del agua empuja perpendicularmente a cada superficie sumergida en ella

Como decíamos ya al principio, la fuerza que ejerce la presión es debida al peso de líquido que soporta esa superficie. La diferencia de fuerzas entre ambas bases del prisma será igual a lo que pesa un volumen de agua equivalente al del prisma.

Ya comprendemos ahora el ¡eureka! de Arquímedes, y la alegría que sintió con su descubrimiento.

Por lo tanto, si cogemos un cuerpo y lo sumergimos totalmente en agua, las fuerzas que existirán sobre este cuerpo serán, por un lado su peso y por otro lado el empuje. Dependiendo de cuál sea mayor, el cuerpo flotará, se hundirá o permanecerá en la misma posición si son iguales.

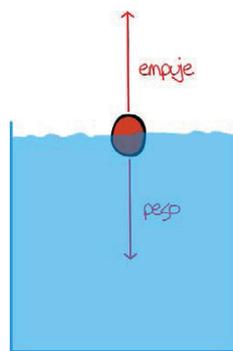
Considerando esto, ya comprendemos cómo funciona un submarino. Como el volumen del submarino no se modifica, el empuje es siempre el mismo, por lo tanto, ¿cómo consigue sumergirse, emerger o navegar horizontalmente bajo el agua? Simplemente lo consigue modificando su peso: regulando la cantidad de agua que entra en unos compartimentos. Si quiere bajar al fondo, los inunda de agua, si quiere emerger, introduce aire para que el agua salga.

Y, en general, ¿cómo puedo prever si un cuerpo flotará o se hundirá?

Si pensamos que el empuje coincide con el peso de un volumen igual de agua que el del objeto, simplemente tenemos que comparar qué pesa más: ese volumen de agua o ese “volumen de objeto”. O lo que es equivalente, qué tiene una densidad mayor, el agua o el objeto.

Si la densidad del objeto es mayor que la del agua, se hundirá; pero si la densidad del objeto es menor, comenzará su ascensión hasta la superficie. Y cuando ha llegado a la superficie, ¿qué ocurrirá?

Si el cuerpo no está totalmente sumergido, el empuje es menor, ya que el volumen que desaloja es menor. Por lo tanto, el cuerpo irá emergiendo hasta que el volumen sumergido sea tal que el peso del volumen desalojado coincida con el peso del cuerpo y entonces se quedará flotando en equilibrio.



Cuerpo flotando en equilibrio, ¿cómo son el peso y el empuje?

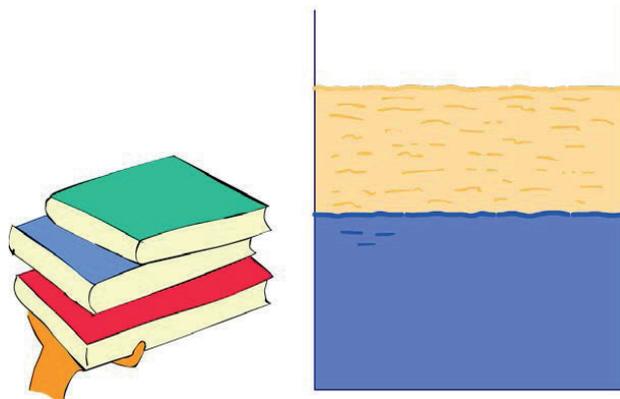
RAZONANDO BAJO EL AGUA

Sujetemos un libro sobre la palma de la mano... sintamos su peso... Ahora ponemos otro libro encima, y otro más... A medida que incorporamos más libros al

montón, mayor es el peso que soportamos sobre la palma de nuestra mano.

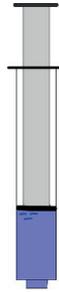
Utilizo este símil tan sencillo para deciros que ocurre lo mismo con la presión hidrostática, ya que, en definitiva, no paramos de decir que es debida al “peso de fluido” que soporta un punto.

Si un recipiente contiene agua por ejemplo, y sobre este echamos un líquido de menor densidad e inmiscible, por ejemplo aceite, sobre el agua aparecerá la capa de aceite, de forma que ahora en el fondo del recipiente la presión hidrostática será la suma de las presiones que producen las respectivas alturas de líquido.



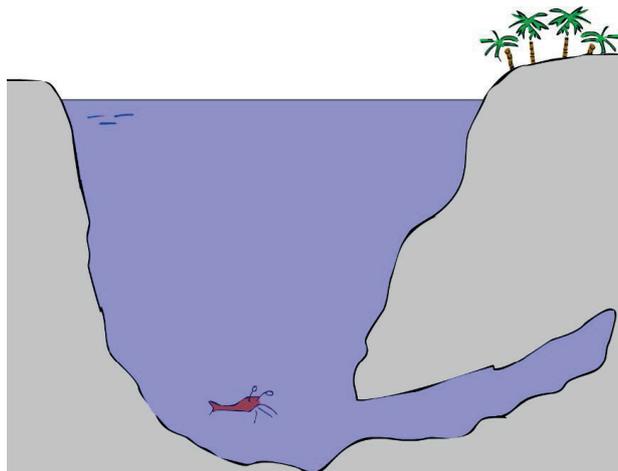
Soporto en mi mano la suma de los pesos de los libros. El fondo del depósito soporta también la suma de pesos, y por tanto la suma de presiones que ejercen ambos fluidos (además de la presión atmosférica, como veremos).

Las presiones se suman. Y por tanto, si comprimimos el agua que tenemos dentro de una jeringuilla, la presión en el fondo aumentará en una cantidad igual a la presión que estoy ejerciendo.



Estas experiencias son sencillas de realizar. ¡Ánimate!

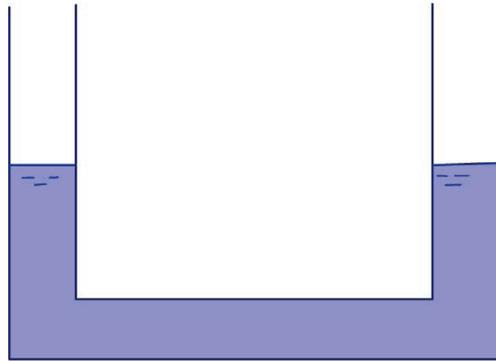
Quizá, experiencias de este tipo han inducido a Pascal a enunciar: “*Cuando aumentamos la presión en un punto de un fluido, este aumento se transmite por igual en todas las direcciones a todos los puntos del mismo.*”



¿Estará a salvo de la presión hidrostática el pescadito si se mete en la gruta?

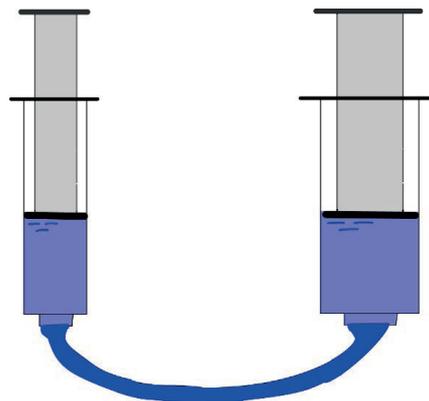
Como consecuencia, nuestro pescadito abisal no se encontrará “a salvo” de la presión hidrostática si se introduce en una gruta, ya que este principio de Pascal implica que en puntos de la horizontal, la presión hidrostática es la misma (si en un momento dado no lo fuera, esta diferencia se propagaría a todos los puntos del fluido hasta igualarse).

También, con este principio, podemos afirmar que en todas las bocas de un sistema de vasos comunicantes, el líquido alcanzará el mismo nivel:



La superficie libre de fluido alcanza el mismo nivel en las dos bocas de estos vasos comunicantes.

Y es además, el principio de funcionamiento de la prensa hidráulica, que podríamos fácilmente recrear si llenamos con agua dos jeringuillas de distinto diámetro unidas por un tubo de goma.



*Con esta experiencia podemos comprobar fácilmente el funcionamiento de una prensa hidráulica.
¿Te atreves a realizar el montaje?*

Al aplicar una fuerza f sobre el elemento de menor sección, la presión provocada se propaga a través del líquido, de forma que tendremos como resultado una presión igual en el otro elemento. El resultado de esta igualdad de presiones es que en la sección mayor se está ejerciendo una fuerza mayor (recordemos la definición de presión: fuerza por unidad de superficie; para una presión dada, cuanto mayor sea la superficie, mayor será la fuerza que está realizando).



Efecto multiplicador.

¡EL AIRE TAMBIÉN PESA!

La atmósfera está formada por una mezcla de gases en distintas proporciones.

La densidad del aire es mucho menor que la de cualquier líquido. Mientras que en un líquido, al sumergirnos unos pocos metros encontramos una variación apreciable de presión, en la atmósfera tenemos que desplazarnos unos kilómetros para encontrar una variación semejante.

Pero, de hecho, la “altura” de la atmósfera es de muchos kilómetros, por lo tanto, el resultado es una presión apreciable.

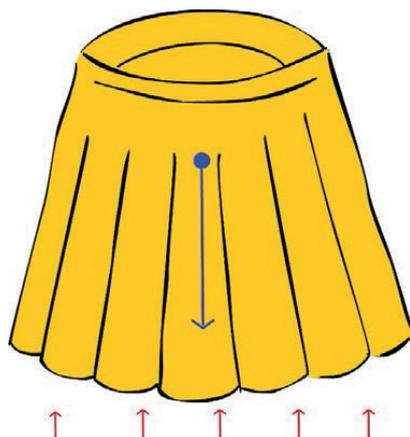
Estamos tan acostumbrados a sus efectos en nuestra vida cotidiana, que no nos paramos a analizarlo. Veamos algunos ejemplos. ¿A quién no le gusta el flan? Cuando queremos volcar en un platillo el contenido de un vasito de flan, en general observamos que, al dar la vuelta al vasito, este no cae, o al menos no inmediatamente. Parece que el flan está pegado al recipiente.



Además de ser muy nutritivos, un flan o un yogur pueden ser ideales para comprender el efecto de la presión atmosférica.

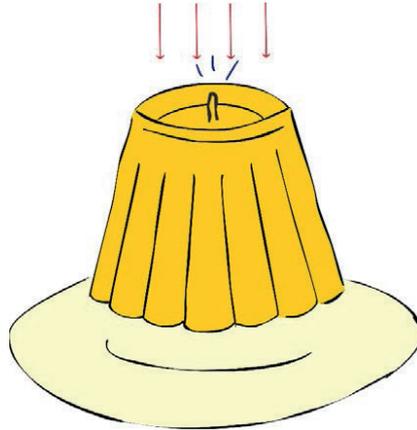
En la mayoría de los casos, debo producir un pequeño corte en la base del recipiente para que este inmediatamente se deslice. ¿Qué está ocurriendo?

Si pensamos que el flan se encuentra sumergido en un fluido (el aire), la presión atmosférica sobre la superficie del flan, ejerce una fuerza que es mayor que su peso. Esto hace que el flan no logre salir del recipiente.



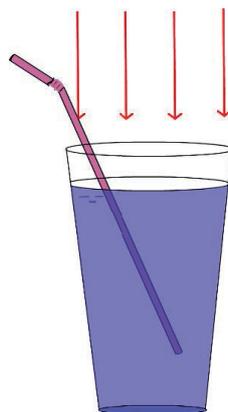
Es habitual que al volcar el flan, este no se caiga.

Al hacer un pequeño corte en la base del recipiente, lo que ocurre es que estamos dejando “paso libre” al efecto de la presión, de forma que esta empuja ahora al flan hacia abajo con la misma intensidad prácticamente que hacia arriba; por tanto el peso se sale con la suya, y el flan cae.



¿Qué ocurre ahora al perforar la base del recipiente?

Otro efecto lo podemos observar cuando bebemos un refresco con una pajita. Si introducimos la pajita en el vaso, la presión atmosférica es igual sobre todos los puntos de la superficie del agua:



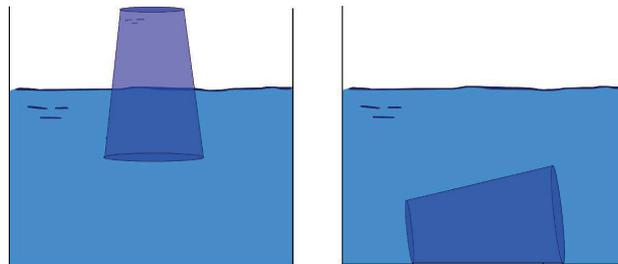
La presión atmosférica está empujando la superficie libre del líquido.

De forma que el nivel de agua en el interior de la pajita es el mismo que en el resto del vaso.

Sin embargo, al “sorber” a través de la pajita, lo que estamos haciendo es suprimir el efecto de la presión atmosférica en su interior, de forma que, la presión que actúa sobre la superficie libre del líquido, lo empuja y hace que ascienda a través del pequeño tubito.

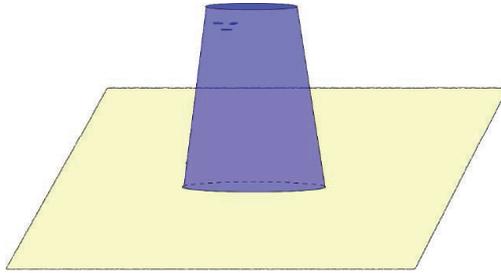
Por otro lado, si nos tomamos el zumo directamente del tetrabrik, es posible que observemos que, a medida que vamos tomando zumo, si la pajita ajusta bien en la boca del tetrabrik, este se va comprimiendo por efecto de la presión atmosférica. Jugando con agua, cuando éramos niños, o cuando aún lo somos...

Introducimos un vaso en una cazuela con agua, y al hacerlo emerger “boca abajo”, observamos que el agua permanece en el interior del vaso hasta que la boca del mismo asoma por la superficie del líquido.



¿Qué hace que el agua se quede dentro del vaso?

Otro “*truco de magia*” que puedes probar, consiste en llenar un vaso de agua hasta el borde, taparlo con una lámina de cartón, y al invertir el vaso... ¡*voilà!*, ¿milagrosamente? no se desparrama el agua (se recomienda hacer esta experiencia lejos de aquellas cosas que no deseemos mojar).



¿Cómo se justifica que al dar la vuelta al vaso lleno de agua y tapado con el cartón, no se desparrame el contenido?

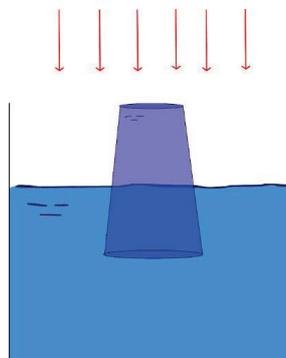
Todas estas experiencias tendrían la misma justificación: es el efecto *¿invisible?* de la presión atmosférica.

¡Seguro que, si te fijas, encontrarás muchos más ejemplos!

¿CÓMO MEDIR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA?

El invento del primer instrumento para medir la presión, barómetro, se debe a Torricelli.

Es probable que a él también le gustara jugar con el agua. Y seguramente repitió muchas veces la experiencia de introducir el vaso en el recipiente con agua, y hacerlo asomar boca abajo.

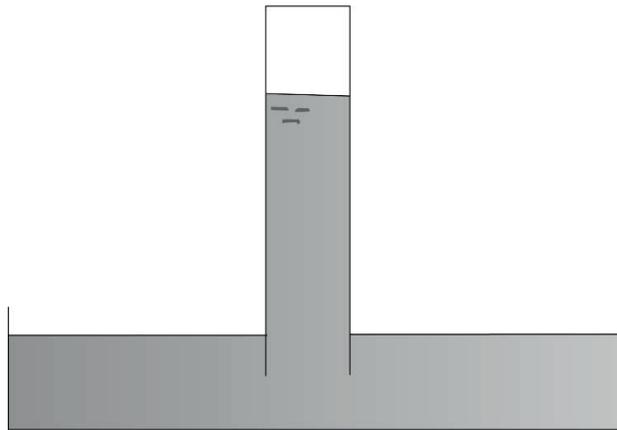


¿Será la presión atmosférica la responsable de que el agua permanezca dentro del vaso?

Era consciente de que la presión atmosférica, empujando la superficie libre de agua, mantenía el agua dentro del vaso. Probaría con vasos de distinta altura con idénticos resultados, la presión atmosférica era mayor que la debida al peso del agua que se encontraba dentro del vaso... ¿podría entonces medir el valor de la presión atmosférica?

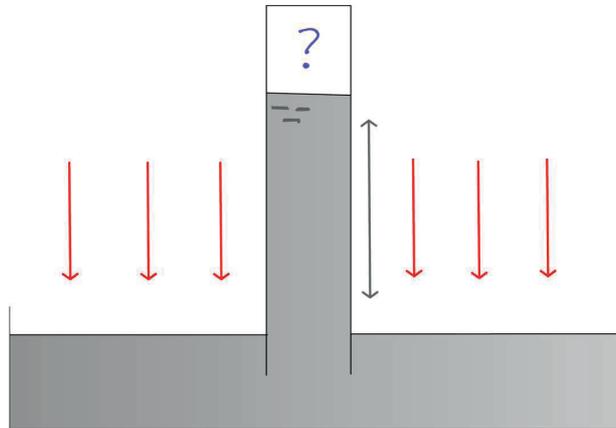
Seguramente se le ocurrió hacer la experiencia con mercurio. El mercurio es mucho más pesado, pensaría. Y no sabemos si en este caso gritó ¡eureka!; pero no hubiera sido para menos.

Porque, efectivamente, esta vez consiguió que la presión debida al peso de una columna de mercurio ganara a la presión atmosférica.



*Al hacer la experiencia con mercurio, como este pesa más que el agua, desciende por el tubo
¿Hasta qué punto lo hace?*

Y en este caso, la presión atmosférica solamente era capaz de mantener una columna de mercurio de 76 cm. Utilizó eso como unidad de presión. La presión atmosférica *normal* equivale a la presión hidrostática que ejerce una columna de mercurio de 760 milímetros, también se llama atmósfera a esta unidad (aunque recordemos que la unidad de presión en el Sistema Internacional es el pascal). Una atmósfera equivale a 101 325 pascales, y de este orden son las presiones que podemos encontrarnos a nivel del mar.



Si el mercurio se ha deslizado un poco hacia abajo... ¿qué ha quedado en la parte superior del tubo?

Al mismo tiempo logró crear un vacío: eso es lo que hay dentro del vaso por encima de la columna de mercurio.

5.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación elaborando un poster previo en la que plasmarán los conceptos y fenómenos descritos. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar los fenómenos descritos.

¿Cómo funciona el diablillo de Descartes?

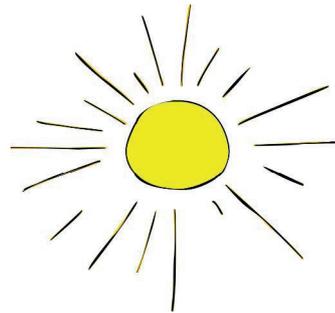
¿Cómo funciona el termómetro de Galileo?

Cohete de agua.

UNIDAD 6. Energía y trabajo

Energía... ¡menudo trabajo!

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



6.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Velocidad.
2. Fuerzas y sus efectos.

6.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de energía y sus propiedades.
2. Que el/la alumno/a conozca el concepto de energía mecánica, energía cinética y energía potencial.
3. Que el/la alumno/a conozca las unidades de la energía en el Sistema Internacional.
4. Que el/la alumno/a conozca el concepto de trabajo realizado por una fuerza.
5. Que el/la alumno/a comprenda el principio de conservación de la energía.
6. Que el/la alumno/a conozca el concepto de potencia.
7. Que el/la alumno/a conozca las unidades de la potencia en el Sistema Internacional.

6.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 6. Energía y trabajo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Energía | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de energía. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de sistema. | | | | | |
| 3. Puedo relacionar el concepto de energía cinética con el concepto de masa y el de velocidad. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de energía potencial gravitatoria. | | | | | |
| 5. Puedo relacionar el concepto de energía potencial gravitatoria con el concepto de masa y el de altura. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de energía cinética. | | | | | |
| 7. Puedo relacionar el concepto de energía cinética y energía potencial gravitatoria con el concepto de energía mecánica. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de energía mecánica. | | | | | |

| Tema II. Trabajo | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 1. Puedo explicar el concepto de transferencia de energía. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de trabajo. | | | | | |
| 3. Conozco la unidad de medida del trabajo en el SIU (julio). | | | | | |
| 4. Puedo explicar el principio de conservación de la energía mecánica. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el concepto de potencia. | | | | | |

6.4. MATERIALES

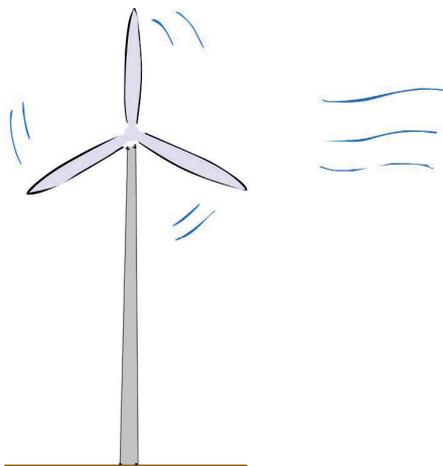
Imágenes que sugieran sistemas que almacenan energía, transfieren o transforman, cerillas, vela, encendedor, pila, bombilla, pelota, maletín, carpeta, bolígrafo.

6.5. EXPLICACIÓN

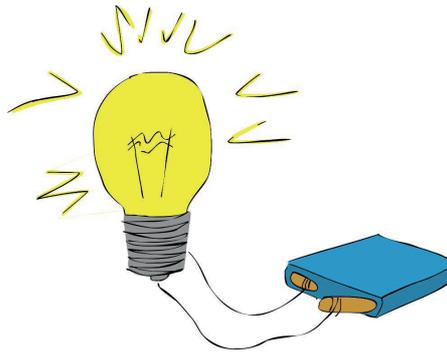
Energía... ¡menudo trabajo!

Vamos a observar las siguientes situaciones:

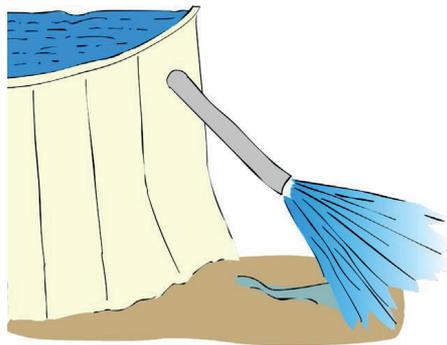
El viento hace mover las aspas del aerogenerador:



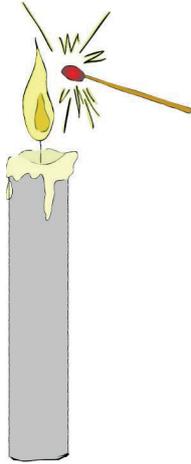
Al conectar la bombilla a la pila, luce:



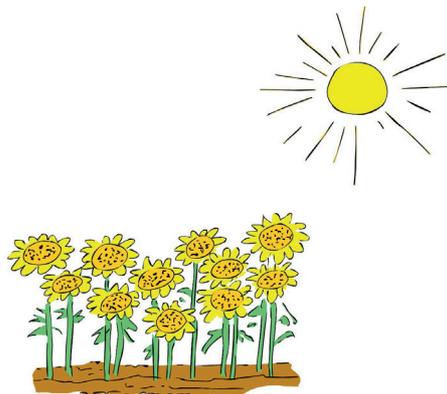
Al abrir la compuerta, el agua cae:



Al acercar la cerilla a la vela encendida, comienza a arder:



El Sol hace posible el crecimiento de las plantas:



Vamos a definir la energía como una cantidad que representa la capacidad de los cuerpos y de los sistemas (sistema: se refiere a una parte del universo en la que nos fijamos o que aislamos para su estudio) para experimentar y producir cambios.

Entonces diremos que el viento posee energía, ya que es capaz de hacer girar las aspas del aerogenerador.

La pila posee energía, ya que al conectarle la bombilla, la hace lucir. El agua, que está en la presa, posee energía; al abrir la compuerta cae (y sería capaz de mover una turbina).

La vela encendida, el Sol... también poseen energía.

Estos ejemplos nos sirven para darnos cuenta de que:

- Parece que hay muchos tipos de energía, o quizá que esta pueda encontrarse en muchas formas: energía mecánica, energía química, energía calorífica, energía lumínica...
- La energía se transporta y se transfiere de unos sistemas a otros.
- Los cuerpos, los sistemas, almacenan energía y la pueden ceder a otros cuerpos o sistemas cuando se den las circunstancias adecuadas.
- Y, aunque no se deduzca de los ejemplos anteriores, hay una propiedad muy importante de la energía y es que no se crea ni se destruye, sino que se transforma. Es decir, ni aparece ni desaparece, lo que sí podrá ocurrir es que se transforme en otro tipo de energía.

ENERGÍA MECÁNICA

Vamos a centrarnos en dos de todas las formas en que puede manifestarse la energía. Hemos visto que el aire en movimiento posee energía, comprendemos que

un coche, una pelota, cualquier cuerpo en movimiento posee energía. Esta energía se llama **energía cinética**.

Y comprendemos que, si lanzamos una pelota contra una ventana, los “cambios provocados” serán mayores si la lanzo a mayor velocidad o si la pelota tiene más masa. Por lo tanto, decimos que la cantidad de energía cinética de un cuerpo depende de su masa y de su velocidad. Por otro lado, hemos comentado también que el agua del pantano posee energía. Aunque el agua está en reposo, en cuanto abren las compuertas, esta energía almacenada se pone de manifiesto a medida que el agua va cayendo.

Esto puede hacernos pensar que los cuerpos o sistemas también poseen energía según sea su posición, o su altura en este caso. Esta energía se denomina **energía potencial gravitatoria**. Y comprendemos que, cuanto mayor sea la altura desde la que se suelta el agua o mayor sea la cantidad de agua que se suelta, los “cambios provocados” serán mayores. Por lo tanto, decimos que la cantidad de energía potencial, para un cuerpo cualquiera, depende de su masa y de la altura a la que se encuentra.

Pues bien, a la suma de estas dos cantidades, energía cinética y energía potencial gravitatoria, se llama **energía mecánica**.

Pero... ¿qué sentido tiene sumar estas dos cantidades de energía?

Vamos por partes...

¡MENUDO TRABAJO!

Me imagino que todos los lectores son amantes del béisbol...

Cuando lanzamos la pelota, echamos el brazo hacia atrás. Sabemos que cuanto mayor sea el recorrido del brazo, mayor será la velocidad con que saldrá la pelota. Incluso nos ayudamos del giro de nuestro cuerpo para que este recorrido sea aún

mayor.

Es este un ejemplo de transferencia de energía. Al aplicar el jugador de béisbol una fuerza a la pelota a lo largo de un recorrido, se produce una transferencia de energía desde el sistema muscular del jugador a la pelota. Si el jugador aplica la misma fuerza, ¿por qué la velocidad con la que sale la pelota depende de la amplitud del recorrido realizado por el brazo?

Ya hemos dicho antes, que a mayor velocidad de un cuerpo, mayor es su energía cinética. Y por eso podemos decir que quien habla de velocidad, habla de energía cinética.

Por lo tanto, la energía que soy capaz de comunicar a un cuerpo, no solo depende de la intensidad de la fuerza que le aplico, sino la longitud del recorrido a lo largo del cual aplico la fuerza.

Llegados a este punto nos interesa definir una nueva magnitud que nos dé información acerca de cuál es la cantidad de energía que se transfiere a un cuerpo mediante la aplicación de una fuerza. Esta nueva cantidad es lo que se llama trabajo.

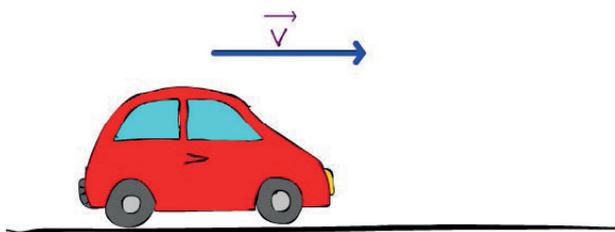
Esta cantidad, el trabajo, es directamente proporcional a la fuerza aplicada, ya que, a mayor intensidad de fuerza, mayor cantidad de energía somos capaces de transferir a un cuerpo. Y también depende del recorrido, del desplazamiento que realiza el cuerpo mientras estamos realizando esa fuerza. Cuanto mayor sea el recorrido a lo largo del cual actúa la fuerza, mayor es la energía que suministramos al cuerpo.

Esta definición de trabajo me permite además definir la unidad de energía en el Sistema Internacional de Unidades, el **julio (J)**, como la energía suministrada a un cuerpo por una fuerza de un newton que actúa sobre él a lo largo de un desplazamiento de un metro.

Además podemos deducir que el trabajo realizado sobre un cuerpo modifica

su energía mecánica. El trabajo es un mecanismo de transferencia de energía entre dos cuerpos o dos sistemas.

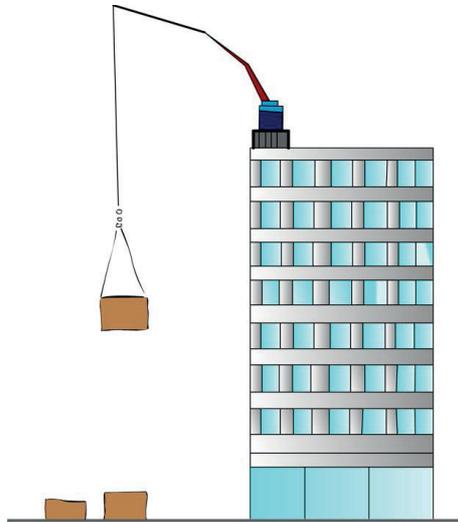
Pero la realización de un trabajo sobre un cuerpo no siempre aumenta su energía, también la puede disminuir. Pensemos en un vehículo que está en movimiento. Al frenar, los frenos realizan una fuerza en sentido contrario al desplazamiento, que disminuye la velocidad y por tanto su energía cinética. Por contra, una fuerza en el mismo sentido del desplazamiento (por ejemplo la que ejerce el motor) aumentaría la energía cinética del vehículo.



El trabajo realizado por las fuerzas de rozamiento o por la fuerza del motor, modifica la energía del coche.

Los ejemplos anteriores mostraban la modificación de la cantidad de energía cinética mediante la realización de un trabajo. Pero la energía cinética no es la única energía que se puede modificar mediante trabajo.

Recordemos que el peso es una fuerza. Cuando soltamos un cuerpo, el peso es la fuerza responsable de que este caiga; y al caer este cuerpo, disminuye su energía potencial. Por lo tanto, el trabajo realizado por la fuerza “peso” se manifiesta como una disminución de su energía potencial. Imaginemos que una grúa elevadora sube 100 kilogramos de ladrillos desde el suelo hasta la azotea. Pensando en la situación inicial (los ladrillos en el suelo), y la situación final (los ladrillos en la azotea), observamos que éstos han aumentado su energía potencial gravitatoria.

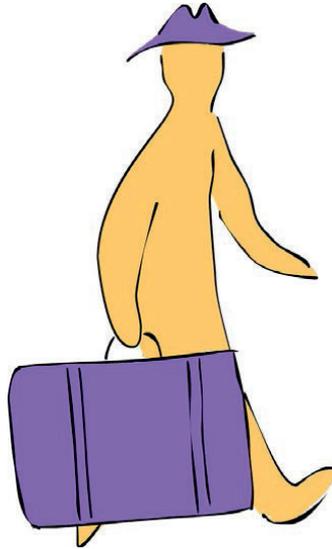


Los ladrillos tienen distinta energía potencial cuando están en el suelo y cuando están en la azotea del edificio. ¿Qué ha provocado este aumento de energía?

Hemos hablado entonces de que, una fuerza que lleva el sentido del desplazamiento aumenta la energía mecánica del objeto sobre el que actúa; y si la fuerza aplicada tiene sentido contrario al desplazamiento del objeto, el trabajo que realiza se invierte en disminuir la energía mecánica de ese cuerpo.

Pero... ¿qué efecto produce la aplicación de una fuerza perpendicular al desplazamiento? Esta situación no implica ninguna transferencia de energía. Por ejemplo, si estoy paseando con una maleta, por mucho que canse el hecho de transportarla, la fuerza que realizamos sobre ella (para contrarrestar el peso de la misma) es perpendicular al desplazamiento, y lo que observamos es que la maleta no modifica su energía.

El hecho de llevar sombrero no cansa, pero en cualquier caso, la fuerza que ejerce nuestra cabeza para sujetarlo (para contrarrestar el efecto del peso), no modifica su energía mientras estoy andando. Sí hay una variación de la energía del sombrero, cuando comenzamos a andar o cuando paramos, pero en estos casos es una fuerza horizontal la que actúa, modificando la energía cinética de este.

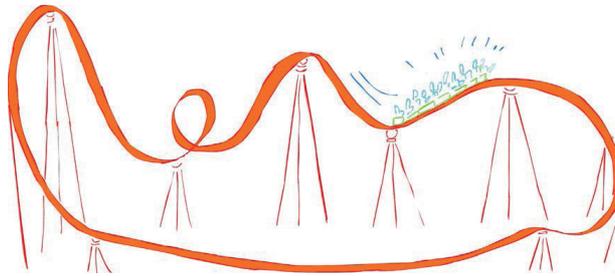


¿Qué trabajo realizo al pasear con una maleta?

PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Podríamos enunciar este principio diciendo que, en un cuerpo sobre el que no actúan fuerzas, o sobre el que estas fuerzas no realizan trabajo (exceptuando el peso, cuyo “efecto” está incorporado a la variación de energía potencial), la energía mecánica permanece constante.

Que la energía mecánica sea constante no implica que las energías cinética y potencial no varíen. Puede ocurrir que varíe la energía cinética y la potencial, siempre que la suma de las dos cantidades se mantenga constante. El aumento de una implica la disminución de la otra.



La energía cinética y potencial del tren se está modificando continuamente.

Y este es precisamente el interés de la cantidad que hemos llamado energía mecánica. Si consideramos un objeto que se mueve a lo largo de una determinada trayectoria y cuya energía mecánica es conocida y no varía, se puede utilizar el principio de conservación de la energía mecánica para predecir los valores que tendrá cada una de las energías, cinética y potencial, en cada punto de la trayectoria. La suma de las dos es siempre igual al valor conocido de la energía mecánica.

Si suponemos que la energía mecánica se conserva, en el ejemplo del dibujo, el esquiador llegará al final de la pista con la misma energía mecánica con la que salió; simplemente al inicio de su trayectoria la energía mecánica que tenía estaba en forma de energía potencial, y al final, la tiene en forma de energía cinética.



Independiente de lo que disfrute el esquiador, llegará al final de la pista con la misma cantidad de energía que con la que salió, sólo que estará en forma de energía cinética.

Al lanzar un objeto hacia arriba, toda la energía que al inicio estaba en forma de energía cinética (que por cierto se la he suministrado yo a través de la realización de un trabajo), se habrá transformado a energía potencial en el punto más alto de su trayectoria. En el trayecto de retorno, cuando cae, se producirá el proceso inverso.

NECESITO ENERGÍA... ¡RÁPIDO!

En ocasiones, no obtengo suficiente información con saber la cantidad de energía transferida.

Si me dicen que un vehículo determinado pasa de 0 a 100 kilómetros por hora, pensaría que eso no me aporta ninguna información o que falta algún dato para conocer las características del vehículo. Pero claro, quizá no hablarían del mismo vehículo si me dicen que esa transferencia de energía se produce en 10 segundos que si se produce en 20 segundos; es decir, me suena a que un vehículo es “mejor” si es capaz de pasar de 0 a 100 kilómetros por hora en 10 segundos, que si necesita 20 segundos para adquirir esa velocidad.

O si nos dicen que una grúa eleva 200 ladrillos hasta la azotea, pensaremos que no es lo mismo que tenga capacidad para desarrollar ese trabajo en un minuto que en una hora.

La magnitud que nos da información sobre la rapidez con la que se produce un determinado intercambio energético es la **potencia**.

Si la transferencia de energía se produce a un ritmo de un julio cada segundo, se dice que la potencia desarrollada es de un **vatio (W)**.

6.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada

alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

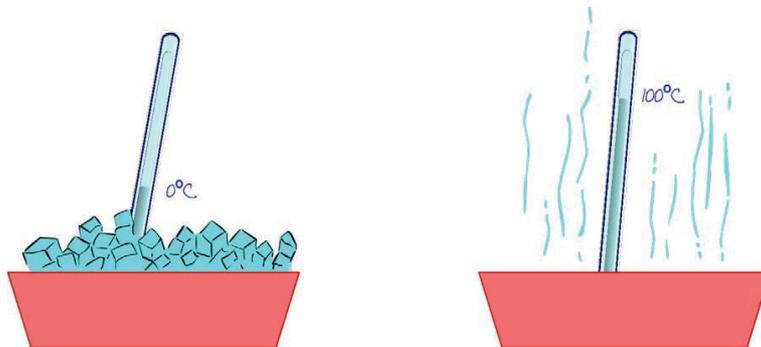
Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar las interacciones.

UNIDAD 7. Calor

¡Qué calor!

“Según los científicos, si no reducimos las emisiones de dióxido de carbono, la temperatura media del planeta podría subir entre 3 y 9 grados a final de siglo”

Al Gore



7.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. La medida.
2. Energía y sus unidades.
3. Trabajo.

7.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de temperatura.
2. Que el/la alumno/a comprenda el concepto de agitación térmica asociado a la temperatura de un cuerpo.
3. Que el/la alumno/a conozca el concepto de calor.
4. Que el/la alumno/a comprenda el concepto de equilibrio térmico.
5. Que el/la alumno/a comprenda el funcionamiento de un termómetro.
6. Que el/la alumno/a conozca los conceptos de calor específico y calor latente.
7. Que el/la alumno/a comprenda los fenómenos de transferencia de energía: conducción, convección y radiación.

7.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| UNIDAD 7. Calor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Calor | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de temperatura. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de agitación térmica. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de calor. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de equilibrio térmico. | | | | | |
| 5. Puedo relacionar el funcionamiento de un termómetro. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de calor específico. | | | | | |
| 7. Puedo explicar qué es el calor latente de cambio de estado. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de conducción. | | | | | |
| 9. Puedo definir el concepto de convección. | | | | | |
| 10. Puedo definir el concepto de radiación. | | | | | |

7.4. MATERIALES

Objetos cotidianos. Termómetro de mercurio, hielo, agua, varilla metálica, varilla de madera, vela, cerillas.

7.5. EXPLICACIÓN

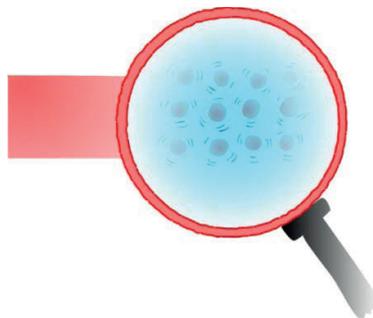
¡Qué calor!

En la unidad anterior hemos visto que el trabajo es un mecanismo de transferencia de energía entre dos cuerpos o sistemas. A lo largo de esta unidad descubriremos que no es el único.

¡Agitación!

Ya hemos hablado de un modelo muy utilizado para representar la estructura de la materia: la teoría cinética. Según este modelo, la materia está formada por partículas rígidas, con mayor o menor grado de movimiento.

Si tuviéramos una lupa que nos permitiese ver la composición de la materia, al situarla sobre un cuerpo, lo que veríamos sería que está formada por pequeñas esferas rígidas.

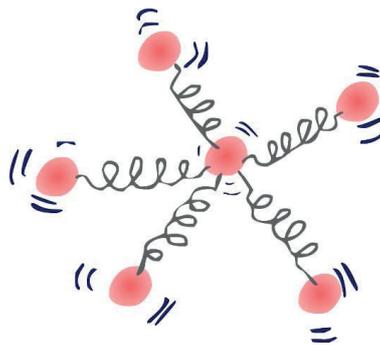


Una lupa potentísima (¡más bien un microscopio!) nos permitiría ver la estructura de la materia.

Pero estas esferas no están quietas en su posición, sino que se encuentran vibrando constantemente. Como si estuvieran atadas entre sí por diminutos muelles. Por lo tanto, estas partículas que forman la materia poseen energía cinética.

La **temperatura** de un cuerpo se define precisamente como una magnitud proporcional a la energía cinética media de las partículas que lo forman. Cuanto más rápido están vibrando estas, mayor es su energía cinética y mayor por tanto es la temperatura de ese cuerpo o sistema.

Este movimiento de vibración de la materia se denomina agitación **térmica**.



Miles de millones de bolitas unidas por muelles vibrando sin cesar... ¿te lo imaginas?

De esta forma, cuando calentamos por ejemplo una varilla de acero, lo que está ocurriendo es que las partículas de ese sólido están absorbiendo energía y vibrando por tanto con mayor rapidez, o lo que es lo mismo, aumentando su temperatura.

¿Y EL CALOR?

Ahora que ya comprendemos que la temperatura de un cuerpo es una medida de la agitación térmica de las partículas que lo forman, nos resultará sencillo imaginar qué es lo que ocurre cuando ponemos en contacto dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura.

Las partículas del cuerpo que se encuentra a mayor temperatura, golpean con más energía a las del que se encuentra a menor temperatura. Esto produce un intercambio energético que se va propagando a lo largo de las dimensiones del objeto.

Precisamente a este mecanismo de transferencia de energía es a lo que llamamos **calor**. Como es lógico, su unidad en el Sistema Internacional es el julio.

Vemos también que esta transferencia de energía se producirá desde el cuerpo a mayor temperatura hacia el cuerpo a menor temperatura; y cesará cuando se hayan igualado las temperaturas. Esta situación se llama **equilibrio térmico**.

Ahora que ya conocemos cómo se produce este mecanismo de transferencia de energía entre dos cuerpos a través de calor, vamos a construir un dispositivo que nos permita medir temperaturas: un **termómetro**. Si queremos definir una escala decimal o centígrada, necesitamos un punto donde situar el 0 y otro punto donde situar el 10 o el 100.

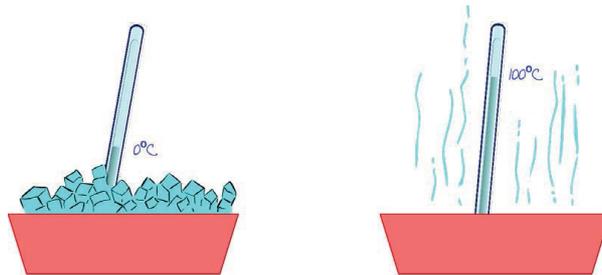
Vamos a construir una escala centígrada.

Asignamos, por ejemplo, el 0 de dicha escala al punto de fusión del hielo, en condiciones normales (25° C de temperatura y una atmósfera de presión); y situamos el 100 de dicha escala en el punto de ebullición del agua. Ahora solo necesitamos “algo”, una magnitud, que varíe con la temperatura. Pensamos en una columna de mercurio o de alcohol. Cuando aumenta la temperatura se dilata y aumenta su longitud y se contrae cuando la temperatura disminuye. Introducir alcohol en un capilar de vidrio nos puede servir como instrumento de medida de temperaturas.

Este dispositivo lo introducimos ° en hielo fundente y asignamos 0 grados centígrados (0° C) al punto donde se encuentra el nivel de mercurio; ponemos agua a hervir, introducimos nuestro dispositivo en el agua, y asignamos el valor 100 grados centígrados (100° C) a la posición que alcanza el nivel de mercurio. Solo tendremos que dividir en cien unidades la longitud del capilar y ya tendremos construido nuestro

termómetro.

En la actualidad los termómetros de mercurio están siendo retirados debido a que son altamente contaminantes para el entorno. ¡Investiga en qué propiedades se basa el funcionamiento de los nuevos termómetros!

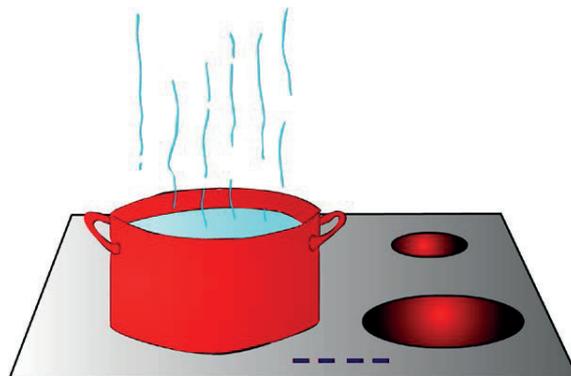


¿Serías capaz de definir tu propia escala de temperaturas?

HABLEMOS DE CANTIDADES

Pero... ¿de qué depende la cantidad de calor que es capaz de absorber o ceder un cuerpo?

Vamos a imaginarnos (o a experimentar ¡con precaución!), que ponemos a calentar cierta cantidad de agua en una cazuela.



Al poner el agua a calentar, iniciamos un proceso de transferencia de energía a través de calor.

Obviamente, para calentar el agua hasta 100°C , necesitamos comunicar más energía que para elevar su temperatura hasta 50°C . Por tanto, la cantidad de energía que absorbe el agua a través de calor, depende de la cantidad en que varía su temperatura. También es evidente que depende de la cantidad de agua que quiero calentar, es decir, de su masa.

Pero si tomáramos masas iguales de distintas sustancias y quisiéramos provocarles un mismo aumento de temperatura, necesitaríamos cantidades distintas de energía.

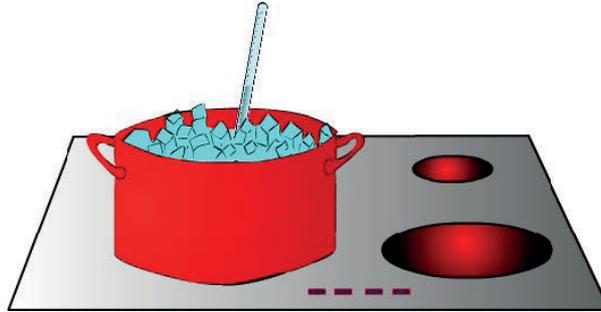
Esto nos hace interesante definir el **calor específico**: la energía que absorbe un cuerpo de masa unidad cuando su temperatura aumenta 1°C .

Resumiendo, la cantidad de energía que absorbe un cuerpo cuando aumenta su temperatura depende de: la masa de la sustancia, el tipo de sustancia (su calor específico) y lo que varía su temperatura.

Pero siempre que un cuerpo absorbe energía, ¿aumenta su temperatura?

Retomemos nuestra cazuela, pero esta vez vamos a llenarla de hielo, introducimos un termómetro y la ponemos a calentar.

Si el hielo lo acabamos de sacar del congelador, quizá a unos -18°C , la energía que va absorbiendo, la está empleando el hielo en aumentar su temperatura, como ya hemos comentado.



Nuestra experiencia comienza poniendo hielo en una cazuela y calentándolo.

Pero cuando llega a 0°C , ¿qué ocurre? Quizá para apreciarlo debamos poner los fogones al mínimo, para que el proceso se produzca lentamente y nos dé tiempo a observar.

Veremos que a 0°C , el hielo comienza a fundirse. El hielo no sobrepasa los 0°C , sin embargo está absorbiendo energía. ¿En qué emplea esa energía?

Esa energía es absorbida por las moléculas de agua, que cada vez vibran más rápidamente. Esta energía de vibración termina por ser mayor que la energía que las mantiene ligadas, en estado sólido, y hace que pasen a estado líquido. Este razonamiento podemos aplicarlo también a la transición de líquido a gas.

Dependiendo de la sustancia de la que hablemos, necesitaremos más o menos energía para hacer cambiar de estado a una determinada cantidad de la misma.

La energía que absorbe una unidad de masa de una sustancia cuando cambia de estado, se denomina calor latente de cambio de estado.

¡ENERGÍA VA!

Como indicábamos en la unidad anterior, una de las propiedades de la energía es que se puede transferir de unos sistemas a otros. Ahora nos preguntamos, ¿cómo

puede producirse un intercambio de energía entre dos cuerpos debido al hecho de que se encuentran a distinta temperatura?

Enseguida se nos ocurre imaginar, y de alguna forma ya lo hemos descrito, que si acercamos un objeto metálico, por ejemplo una aguja, a la llama de una vela, ¡casi inmediatamente nos quemamos!

La forma en que se ha producido la transferencia de energía ha sido descrita en un apartado anterior: las partículas de la punta de la aguja son golpeadas por las partículas procedentes de la combustión de la vela, y golpean a su vez a sus vecinas, y así se va propagando la energía a través de la aguja hasta el otro extremo. Este mecanismo de transferencia de energía a través de calor se llama **conducción**.

Algo distinto observaremos si ponemos una cazuela con agua en el fogón de nuestra cocina. Cuando el agua empieza a hervir, observamos un movimiento turbulento dentro de la cazuela. ¿Qué está ocurriendo?

El agua que está en contacto con el fondo de la cazuela se calienta antes que el resto. Al calentarse se dilata, ocupa más volumen, o lo que es lo mismo, disminuye su densidad. El agua caliente se vuelve más ligera que el resto del agua, pesa menos, y por tanto comienza a ascender, pasando a ocupar su lugar una masa de agua que está a menor temperatura. Este movimiento del agua debido a la diferencia de temperaturas recibe el nombre de **corrientes convectivas**, y a este mecanismo de transferencia de energía, que implica movimiento de masa, **convección**. ¿Te atreves a buscar otras situaciones en las que se produzcan corrientes convectivas?

Y por último, si pensamos en la energía que diariamente recibimos del Sol, y cómo nos llega esta energía, concluiríamos que es a través de la luz. La energía del Sol se transmite por **radiación**. En la Unidad 10 hablaremos de la luz con más amplitud.

7.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

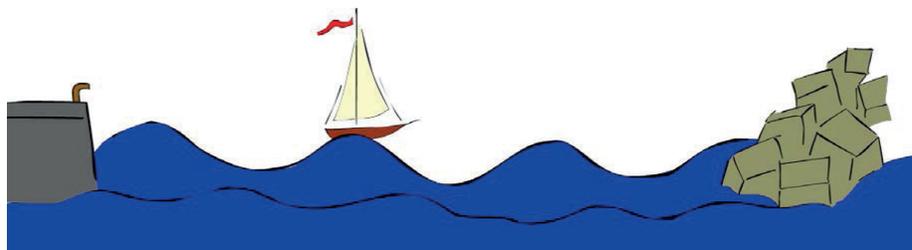
Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar las interacciones.

UNIDAD 8. Movimiento y fenómenos ondulatorios

Olitas vienen y van...

*“El navegante tiene la clara impresión de que el océano
está hecho de ondas más que de agua”*

Arthur Eddington



8.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Movimiento.
2. Energía.
3. SIU.

8.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de movimiento ondulatorio.
2. Que el/la alumno/a conozca el concepto de movimiento vibratorio.
3. Que el/la alumno/a conozca las magnitudes y parámetros asociados al movimiento ondulatorio.
4. Que el/la alumno/a conozca los distintos tipos de ondas según los diversos criterios de clasificación.
5. Que el/la alumno/a conozca los fenómenos ondulatorios: reflexión, refracción, interferencias.

8.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| Unidad 8. Movimiento y fenómenos ondulatorios | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo definir el movimiento ondulatorio. | | | | | |
| 2. Puedo definir el movimiento vibratorio. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto frecuencia. | | | | | |
| 4. Conozco qué es el hertzio. | | | | | |
| 5. Puedo definir el concepto de onda mecánica. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de onda electromecánica. | | | | | |
| 7. Puedo definir el concepto de onda transversal. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de onda longitudinal. | | | | | |
| 9. Puedo definir el concepto de onda unidimensional. | | | | | |
| 10. Puedo definir el concepto de onda bidimensional. | | | | | |
| 11. Puedo definir el concepto de onda tridimensional. | | | | | |
| 12. Puedo definir el concepto de amplitud de onda. | | | | | |
| 13. Puedo definir el concepto de elongación. | | | | | |
| 14. Puedo definir el concepto de periodo en una onda. | | | | | |
| 15. Puedo definir el concepto de velocidad de prolongación. | | | | | |

| Tema II: Fenómenos ondulatorios | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 1. Puedo explicar el fenómeno de la reflexión. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el fenómeno de la refracción. | | | | | |
| 3. Conozco la ley de Snell. | | | | | |
| 4. Puedo explicar de Snell. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el fenómeno de las interferencias. | | | | | |

8.4. MATERIALES

Cuerda, pañuelo, plato con agua, recipiente transparente con agua, puntero láser, vaso de agua, lapicero.

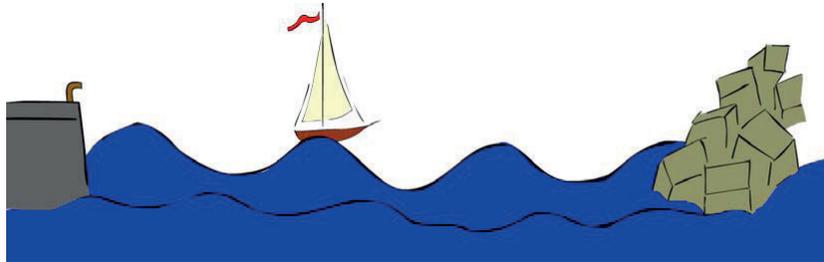
8.5. EXPLICACIÓN

Olitas vienen y van...

En una tormenta de verano, en nuestro paseo por el puerto, nos gusta ver cómo las olas golpean con gran energía el rompeolas. Los barcos sorprendidos por la tormenta maniobran para resguardarse.

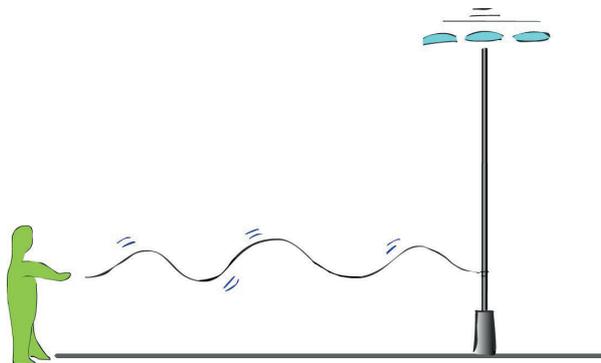
Observamos cómo un barquito sube y baja, al vaivén de las olas.

Analicemos este fenómeno.



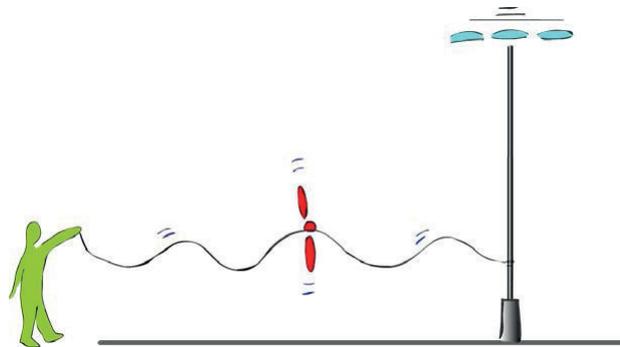
Mientras que las olas se están desplazando horizontalmente hasta chocar con el rompeolas, el barquito sube y baja.

Una experiencia que podremos realizar todos (o hemos realizado ya muchas veces), es la siguiente:



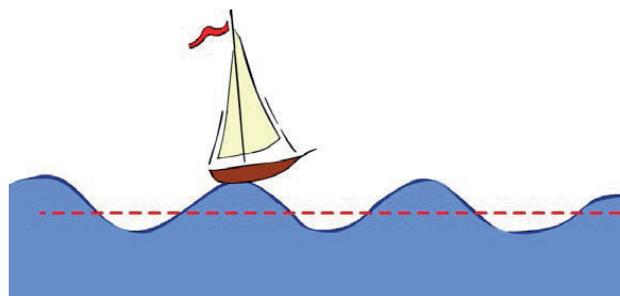
Una cuerda y un punto donde atarla es todo lo que necesito para experimentar.

Atamos una cuerda a una farola, la sujetamos firmemente por el extremo opuesto y subimos y bajamos rápidamente el brazo. Veremos que se producen “olas” u ondas en la cuerda. Si en esta atáramos fuertemente un pañuelo, veríamos que el movimiento del pañuelo es de subida y bajada, al igual que hacía el barquito en el ejemplo anterior.



*Si atamos fuertemente un pañuelo en un punto de la cuerda,
¿cómo es su movimiento?*

Este tipo de movimiento se llama movimiento ondulatorio. Retomando el ejemplo del barquito, observamos que, mientras la energía se propaga hasta el puerto (no os pongáis en medio, no sea que os transfiera parte de su energía), el barquito está realizando un movimiento de vaivén, también llamado movimiento vibratorio. Dicho de otra forma, en un movimiento ondulatorio se produce un transporte de energía, no de materia. El barquito realiza oscilaciones en torno a una posición, llamada de equilibrio, que sería la correspondiente a la posición en la que se encontraría si el mar estuviera en calma:



El barquito realiza oscilaciones en torno a la posición de equilibrio.

La rapidez con la que oscila el barquito, está relacionada con la frecuencia número de oscilaciones que realiza por segundo. Su unidad en el Sistema Internacional es el hertzio, Hz (o inverso de segundo).

Este tipo de ondas que estamos utilizando como ejemplo, se denominan **ondas mecánicas**, ya que necesitan un medio material para su propagación: el agua, una cuerda, el aire... veremos que además hay ondas que se propagan en el vacío, y reciben el nombre de **ondas electromagnéticas**.

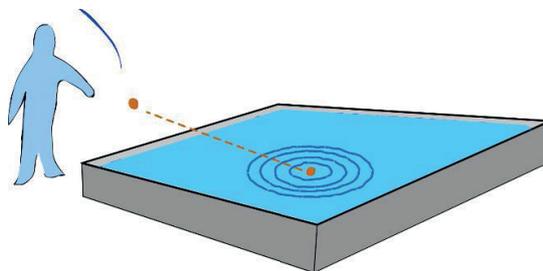
¡Ahora comprendo por qué cuando golpeo una mesa, los objetos situados sobre ella vibran! La perturbación que origina el golpe se propaga por la mesa haciendo vibrar cada punto de esta. Incluso hace vibrar el aire... por eso oigo el golpe.

¡DIME CÓMO VIBRAS Y TE DIRÉ QUÉ ONDA ERES!

En los ejemplos que hemos tratado, hemos visto que tanto el barquito como el pañuelo atado a la cuerda, vibraban en una dirección perpendicular a la del movimiento de propagación de la onda. Estas ondas se llaman **ondas transversales**.

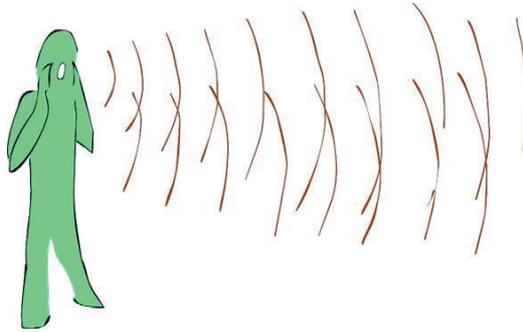
Pero no siempre ocurre así: si golpeamos un sólido, un bloque de acero, de hormigón, o la mesa, la perturbación provocada se va propagando de unas moléculas a otras, de forma que la vibración de estas se produce en la misma dirección en la que se propaga la onda. Estas se conocen con el nombre de **ondas longitudinales**.

Por otro lado, la perturbación producida por una cuerda de guitarra se produce a lo largo de una línea: sería un ejemplo de onda unidimensional. Mientras que si lanzamos una piedrecita en la superficie de un estanque, tendremos como resultado ondas propagándose sobre dicha superficie, dando lugar a **ondas bidimensionales**.



¿En cuántas dimensiones se propaga la perturbación producida sobre la superficie de agua?

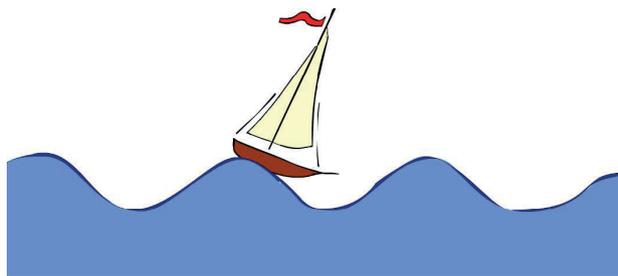
Cuando hablamos, la perturbación que producimos en el aire se propaga en todas las direcciones. Es un ejemplo de **onda tridimensional**.



Aunque no podemos ver las ondas sonoras, nos situemos donde nos situemos, oiremos o sentiremos la perturbación. ¿En cuántas dimensiones se está propagando esta?

RETRATO DE UNA ONDA

“Fotografiar” nuestra onda modelo, barquito incluido, nos permite definir algunas características de esta onda:



Congelamos la imagen para analizar la onda.

La **amplitud**, sería la máxima separación de un punto de la onda respecto de la posición de equilibrio. En este caso, la máxima separación del barquito respecto a la posición que tendría si no hubiera olas. La elongación representaría la distancia del barquito, en cualquier momento, a la posición de equilibrio. La longitud de onda vendría determinada por la distancia entre las crestas de dos olas consecutivas (o la distancia entre dos puntos próximos que se encuentran en el mismo estado de vibración).

El **periodo** vendría dado por el tiempo que tarda el barquito desde que lo vemos en la cresta de la ola, hasta que vuelve a encontrarse en esa posición; es inverso de la frecuencia, de la que ya hemos hablado.

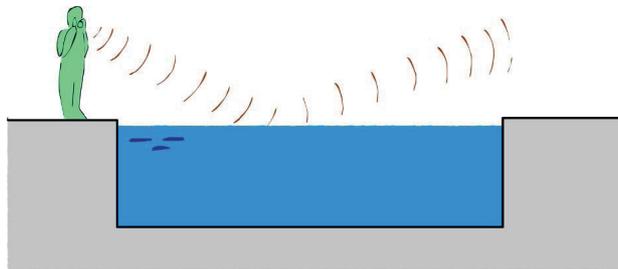
Y la **velocidad de propagación**, que nos indica la rapidez con la que se propaga la energía de la onda.

FENÓMENOS ONDULATORIOS

Cuando una onda se propaga, puede tropezarse en su trayectoria con medios materiales distintos. ¿Cómo se comportará la onda en esta situación? Pensemos que la velocidad de propagación de una onda depende, no solo de las características de la propia onda (su naturaleza, su frecuencia...), sino también del medio a través del cual se propaga.

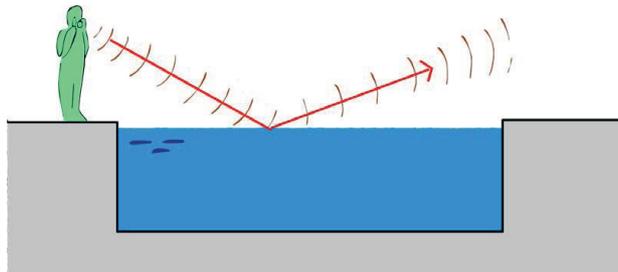
¿Qué ocurre si una onda choca contra la superficie de separación de dos medios distintos?

Supongamos por ejemplo que damos un grito desde el borde de la piscina. Parte de la energía de esta onda “rebota” en la superficie volviendo otra vez al aire.



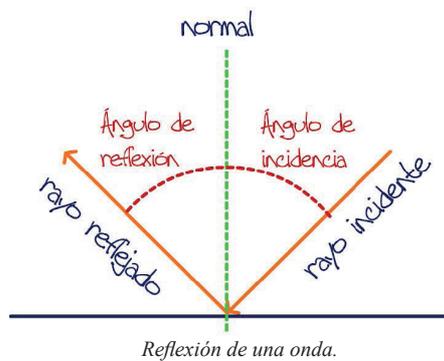
Cuando una onda choca contra una superficie, rebota, al menos en parte.

Ya hablamos acerca de este fenómeno, la reflexión, en la Unidad 1 de este libro. Y comentamos también que, usamos una línea, rayo, para representar la trayectoria de estas ondas.



Representamos la trayectoria de una onda mediante rayos

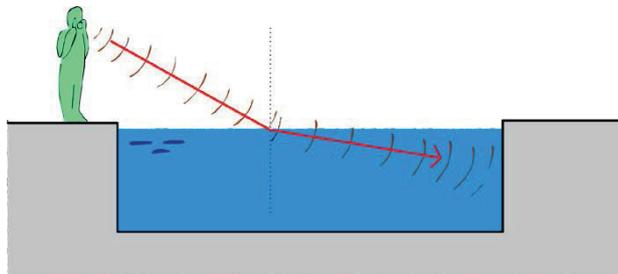
De forma que, la reflexión de una onda cumple las siguientes leyes:



Reflexión de una onda.

- El ángulo que forman los rayos incidente y reflejado con la normal a la superficie son iguales.
- El rayo incidente, el reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano.

Por otro lado, una fracción de energía de la onda penetrará en el segundo medio (el agua). Este fenómeno se llama refracción: el rayo que representa la propagación del sonido, se desvía respecto de la dirección de incidencia. Dependiendo de si la velocidad de propagación en el segundo medio es mayor o menor, se desviará alejándose de la normal o acercándose a ella. En nuestro caso, como el sonido se propaga más rápidamente en el agua (las partículas de agua están más próximas entre sí que las de aire, por ello transmiten la perturbación a sus vecinas más rápidamente), este rayo se alejará de la normal tras penetrar en ella.

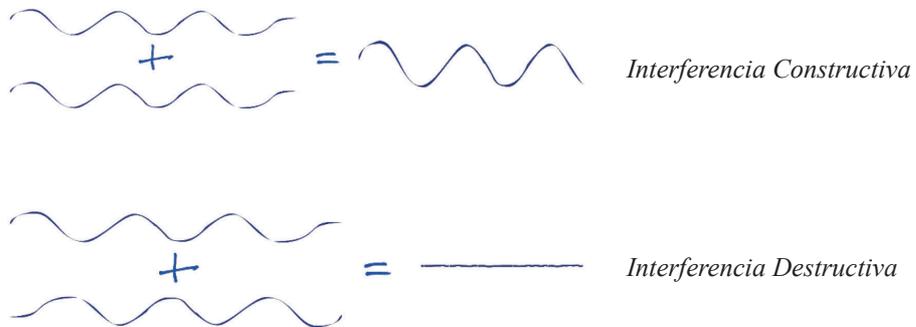


Parte de la onda atraviesa la superficie y se transmite al otro medio.

La relación existente entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal viene dada por la ley de Snell, y depende de la relación entre las velocidades de propagación de las ondas en ambos medios.

Otro fenómeno ondulatorio son las **interferencias**. Se produce cuando se superponen dos ondas de idéntica frecuencia. Dependiendo de cómo se encuentran las ondas en el momento de superponerse puede ocurrir que en algunos puntos la amplitud de la onda resultante crezca hasta la suma de las amplitudes, mientras que

en otros la amplitud sea la resta, llegando a anularse si las ondas originales son de igual amplitud.



Prescindimos de profundizar más, a pesar de lo interesante que resultaría, pero quizá sería excederse en los contenidos que deseamos incorporar. Sin embargo, reiteramos la invitación a que sigas investigando y buscando información.

8.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación elaborando un poster previo en la que plasmarán los conceptos y fenómenos descritos. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Durante la exposición, los alumnos utilizarán sus propios ejemplos y modelos para representar los fenómenos descritos.

UNIDAD 9. Sonido

¿Se oye?

“Escucha, serás sabio. El comienzo de la sabiduría es el silencio”

Pitágoras



9.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Movimiento ondulatorio.
2. Tipos de ondas.
3. Parámetros de las ondas.

9.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de onda sonora.
2. Que el/la alumno/a conozca las cualidades del sonido: intensidad, tono y timbre.
3. Que el/la alumno/a conozca el concepto de sensación sonora y sus unidades.
4. Que el/la alumno/a conozca el concepto de eco y reverberación.
5. Que el/la alumno/a comprenda las diferencias entre eco y reverberación.

9.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| Unidad 9. Sonido | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. El sonido | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de intensidad. | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de tono. | | | | | |
| 3. Puedo definir el concepto de timbre. | | | | | |
| 4. Puedo definir el concepto de sensación sonora. | | | | | |
| 5. Conozco la unidad de medida: decibelios (dB). | | | | | |
| 6. Puedo explicar el fenómeno de reverberación. | | | | | |

9.4. MATERIALES

Altavoz, flauta, diapasón, globo.

9.5. EXPLICACIÓN

¿SE OYE?

¿Qué es el sonido? ¿Cómo se produce? ¿Cuáles son los mecanismos que intervienen en su propagación? Estas cuestiones quedarán respondidas a lo largo de esta unidad.

Cuando hablamos, nuestras cuerdas vocales vibran, de forma que esta vibración se transmite a las partículas del aire con las que están en contacto. La perturbación originada se propaga en forma de variaciones en la presión del aire.

Al llegar a nuestros oídos estas variaciones en la presión, hacen vibrar el tímpano. Después, el cerebro se encarga de procesar la información que ha recibido.

El oído humano percibe sonidos cuyas frecuencias están comprendidas entre 20 y 20.000 Hz.

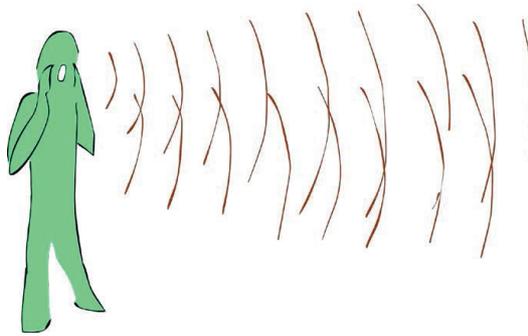
Analizando el proceso descrito, entenderemos que estas ondas necesitan un medio para su propagación. En el vacío no se propagaría el sonido, no habría partículas a las que hacer vibrar y que propagaran esa vibración. Las ondas sonoras son por tanto ondas mecánicas.

Además, las partículas del medio vibran en la dirección en la que se propaga el sonido; por lo tanto se trata de ondas longitudinales.

La velocidad de propagación del sonido depende del medio. En general se propaga más rápidamente en un sólido que en un líquido, y en este, más rápidamente que en un gas.

El sonido se propaga más rápidamente en el agua que en el aire; y en el acero, la velocidad es mucho mayor. En el aire se propaga aproximadamente con una velocidad de 340 metros por segundo, pudiendo variar en función de las condiciones de presión y temperatura.

Por otro lado, al emitir un sonido, este se propaga por igual en todas las direcciones. Si quisiera representar el avance de la onda sonora, dibujaría una serie de esferas concéntricas.



Cuando hablo, el sonido se propaga en todas las direcciones

Es por tanto una onda tridimensional. ¿Todos los sonidos son iguales?

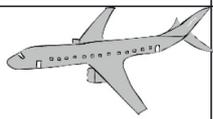
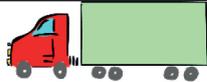
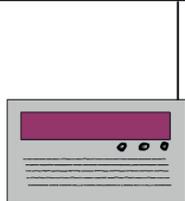
Obviamente la respuesta es... ¡no! Como sabemos, cada sonido presenta sus particularidades. Suele entenderse por *características de un sonido* a su **intensidad**, su **tono** y su **timbre**.

La intensidad está relacionada con la amplitud de la onda. Hablando del sonido, lo llamaríamos “volumen”.

La **sensación sonora**, hace referencia a lo fuerte o débil que percibimos un sonido, se mide en decibelios. Decimos que la sensación sonora está relacionada con la intensidad del sonido, pero esa relación no es proporcional; es decir, si en una noche de fiesta y verbena o en Fallas, escuchamos el estruendo de una traca o un petardo, no percibiríamos el estruendo de dos tracas o dos petardos como “un estruendo doble”. Al igual que no percibimos el sonido de dos gaitas como “el doble” del sonido de una gaita. Esta magnitud, sensación sonora, pretende ajustarse a la sensación subjetiva de sonido. Y por cierto, existe toda una escala de “niveles de sonido” en la que esta sensación sonora se expresa en decibelios, dB.

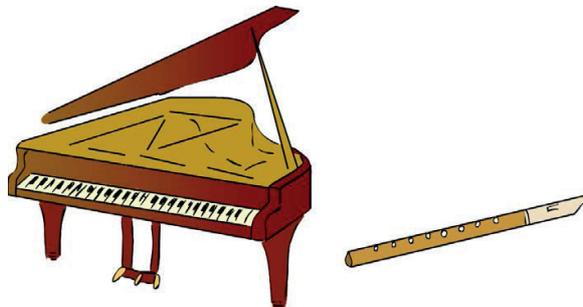
Dicho sea de paso, la contaminación acústica es un serio problema ambiental y de salud.

A modo de ejemplo, puedes ver una tabla de valores de niveles de sonido junto a los efectos que producen en los seres humanos.

| | Decibelios (dB) | | Fuente de sonido |
|-----------------------|------------------------|---|---|
| Ambiente insoportable | 180 | | Explosión |
| | 150 |  | Avión a reacción |
| Ambiente molesto | 130 |  | Sierra mecánica Martillo neumático |
| | 100 | | Motocicleta sin silenciador |
| Ambiente ruidoso | 90 |  | Camión |
| | 80 |  | Calle con mucho tráfico |
| Ambiente poco ruidoso | 60 |  | Conversación normal |
| | 50 | | Conversación en voz baja |
| | 40 |  | Música emitida por radio a bajo volumen |

| | | | |
|---------------------|----|---|--|
| | 30 | | Susurros |
| Ambiente silencioso | 20 |  | Movimiento de las hojas de los árboles |
| | 10 | | Pisada |
| | 0 | | Umbral de audición |

Otra característica del sonido es el tono. Está relacionado con la frecuencia y nos hace referirnos a un sonido como grave si tiene una frecuencia baja, o agudo cuando tiene una frecuencia alta. Y por último, nos toca hablar acerca del timbre. En realidad, esta característica se refiere a la mezcla de frecuencias que posee un determinado sonido, y que hace que una nota emitida por una flauta la reconozcamos como distinta a una nota emitida, por ejemplo, por un piano, aunque sea la misma frecuencia la que predomine.

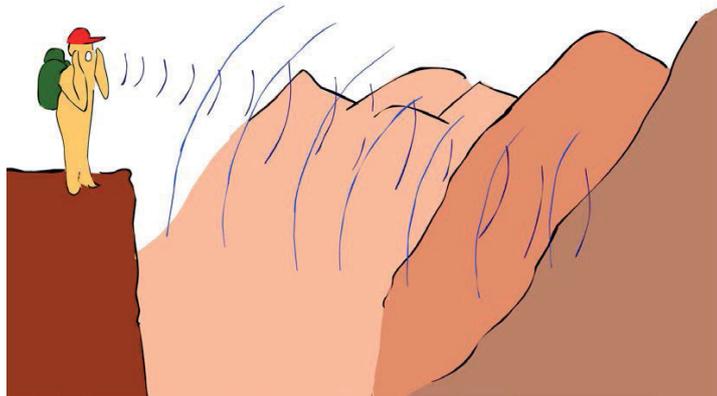


¿Por qué no suena igual la misma nota musical interpretada por distintos instrumentos?

¿ECO?

Seguramente hemos observado que, cuando entramos a una habitación vacía, sin muebles, nuestra voz nos suena “rara”, se hace incluso incómodo hablar, da la impresión de que no reconocemos nuestra propia voz. ¿Qué está ocurriendo?

El sonido que emitimos se refleja en las paredes, pero sucede tan rápido que casi se superponen ambos sonidos, el emitido y el reflejado, creando esa sensación extraña. Este fenómeno se llama reverberación. Sin embargo, cuando estamos practicando senderismo por la montaña, en plena naturaleza, nos gusta gritar “¡Holaaaaaaa!”... “¡Eoooooo!”... e instantes después recibimos una réplica.



¡Cómo nos gusta gritar en la montaña y oír la réplica!

Podríamos decir que se trata del mismo fenómeno, la reflexión de las ondas en las montañas vecinas hace que el sonido vuelva a nosotros. En este caso hay una mayor separación temporal entre el sonido que emitimos y el que nos llega como respuesta. Se llama eco.

9.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

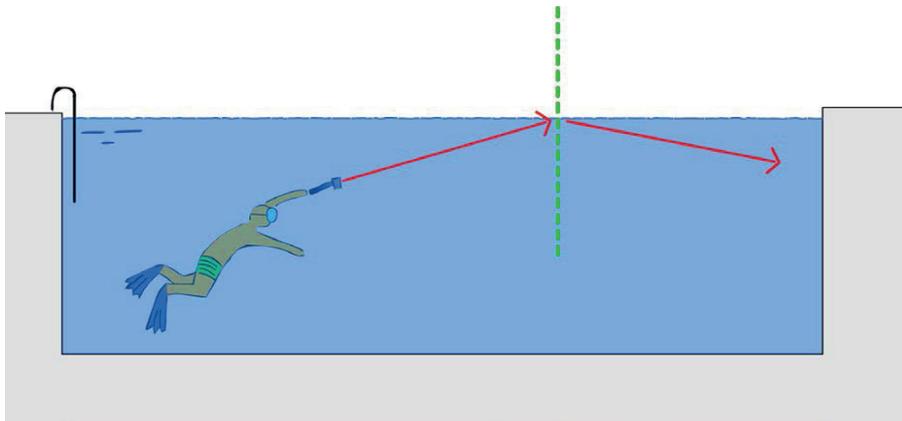
Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor. Así mismo, generarán sus propios ejemplos en los que aparezcan los conceptos y fenómenos trabajados.

UNIDAD 10. Luz y color

¿Se ve?

“Los cuerpos no tienen un color propio sino que siempre aparecen del color de la luz proyectada sobre ellos...”

Isaac Newton



10.1. CONCEPTOS PREVIOS

1. Movimiento ondulatorio.
2. Tipos de ondas.
3. Parámetros de las ondas

10.2. OBJETIVOS

1. Que el/la alumno/a conozca el concepto de índice de refracción.
2. Que el/la alumno/a conozca el concepto de ángulo límite.
3. Que el/la alumno/a comprenda el fenómeno de reflexión total interna.
4. Que el/la alumno/a conozca el concepto de espectro visible.
5. Que el/la alumno/a comprenda el fenómeno de dispersión de la luz.

10.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

| Unidad 10. Luz y color | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. Luz | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de índice de refracción. | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de ángulo límite. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el fenómeno de reflexión total interna. | | | | | |
| Tema II. Color | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de espectro visible. | | | | | |
| 2. Puedo definir el fenómeno de dispersión. | | | | | |
| 3. Puedo explicar a qué se debe el color de los cuerpos. | | | | | |

10.4. MATERIALES

Pelota, puntero láser, linterna, recipiente transparente con agua, polvos de talco, espejo, fibra óptica, prisma, rueda de Newton.

10.5. EXPLICACIÓN

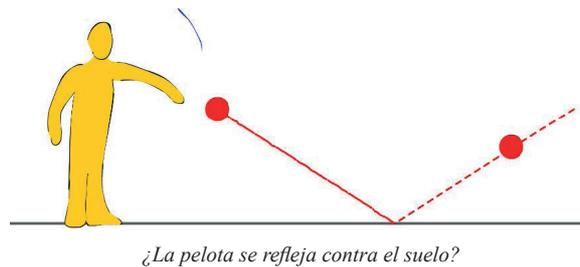
¿SE VE?

Durante muchos siglos se discutió acerca de la naturaleza ondulatoria de la luz.

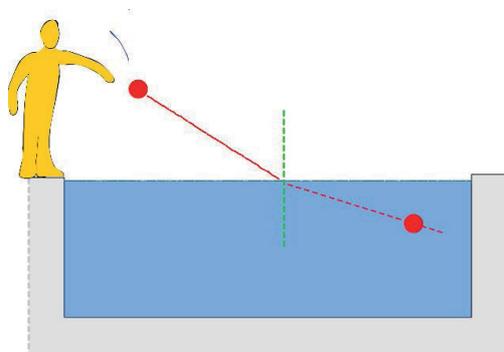
Entonces no se conocían más que las ondas mecánicas, y, si estas necesitaban un medio para su propagación, ¿cómo justificar que nos llega la luz del Sol, si esta estuviera formada por ondas?

Era difícil comprobar las características ondulatorias de la luz, ya que los fenómenos de reflexión y refracción también los cumplen las partículas.

Si lanzamos una pelota contra el suelo, esta rebotará verificando las leyes de la reflexión:



Si lanzamos una pelota contra la superficie de un estanque, el cambio en la velocidad de su movimiento hará que se desvíe:



Tuvieron que pasar, como hemos dicho, muchos siglos de discusión hasta que se consiguieron comprobar algunas propiedades típicamente ondulatorias, como las interferencias.

Pero, vamos por partes...

Si la luz es una onda, ¿de qué tipo de onda se trata?

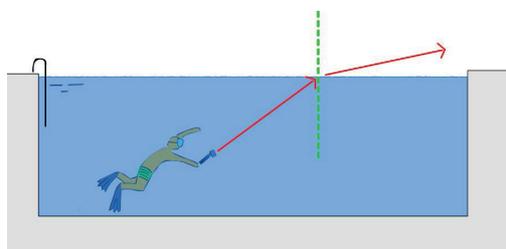
La luz es una onda transversal que no necesita un medio para su propagación. Y además, en el vacío se propaga con una velocidad de... ¡300.000 kilómetros por segundo! En cualquier otro medio, la luz se propaga con una velocidad menor, de forma que, cualquier medio transparente (agua, vidrio...) podemos caracterizarlo por su índice de **refracción**: la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío y la velocidad de propagación de la luz en dicho medio.

Como buena onda que es, la luz cumple las leyes de la reflexión y la refracción.

Además, su propagación en línea recta hace que podamos representar su trayectoria mediante líneas, rayos, como ya hemos comentado con anterioridad.

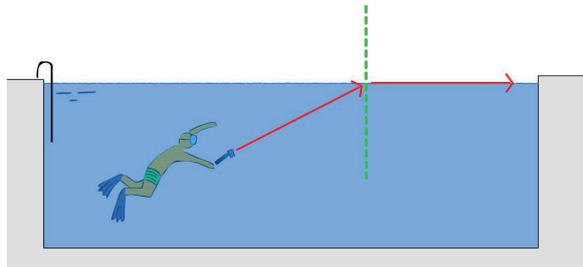
Pero me gustaría comentar una situación particular muy interesante.

Supongamos que buceamos por la piscina, de noche, con una linterna (una situación muy habitual, supongo); y dirigimos la linterna hacia la superficie del agua.



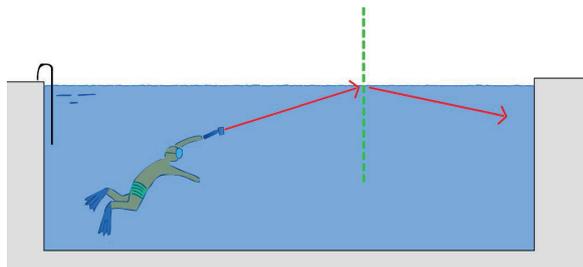
El rayo de luz emerge del interior de la piscina.

Como la luz viaja más rápidamente en el aire que en el agua, el rayo refractado se desvía alejándose de la normal, de forma que, si voy inclinando la linterna, llegará un momento en el que el rayo refractado viajará paralelo a la superficie del agua. Este ángulo de incidencia recibe el nombre de ángulo límite.



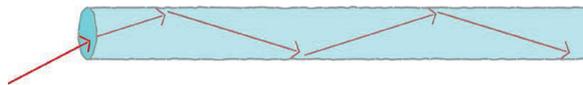
Al aumentar el ángulo de incidencia, el de refracción también lo hace.

Si sigo inclinando la linterna un poco más, resultará que la luz no se refracta. El haz de luz es totalmente reflejado.



A partir de un cierto ángulo de incidencia, ¡no se produce refracción!

Este fenómeno se denomina reflexión total interna, y es el principio de funcionamiento de la fibra óptica:



*La fibra óptica transmite una señal luminosa sin pérdidas.
¿Cómo se consigue esto?*

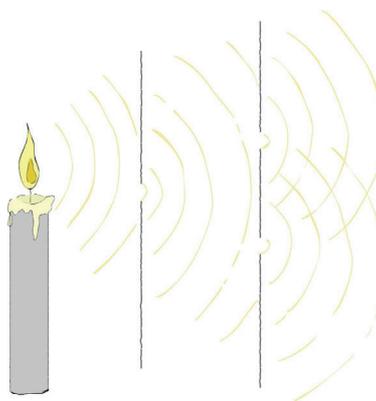
En la fibra óptica, la luz tiene que entrar con un ángulo de incidencia tal que garantice que se produzca el fenómeno de reflexión interna total.

¡SIN DUDA ES UNA ONDA!

Como ya adelantábamos, durante siglos se mantuvo la discusión, iniciada por Newton y Huygens, sobre la naturaleza de la luz. Para Newton, todas las propiedades observables de la luz se podían explicar recurriendo a un modelo de partículas (**corpúsculos**) muy pequeñas que viajaban a una gran velocidad. Mientras tanto, Huygens no conseguía comprobar alguna propiedad ondulatoria, como las interferencias.

Como ya habíamos comentado, para que se produzcan interferencias deben superponerse dos ondas de idéntica frecuencia.

La discusión fue zanjada por Young, más de un siglo después, con su experimento de la doble rendija. Seguramente pensando que, para conseguir ondas idénticas, ¡lo mejor era sacarlas del mismo foco! Y así consiguió producir interferencias.



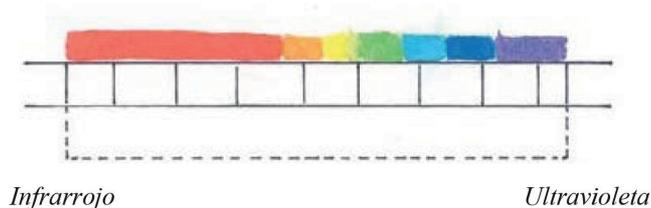
Una experiencia aparentemente muy simple zanjó siglos de discusión.

Pero... ¿y si te digo que la física moderna considera que la luz puede comportarse en ocasiones como partícula y en ocasiones como onda?

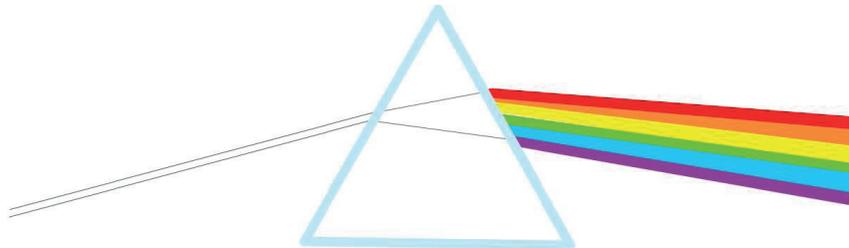
COLOR

En unidades anteriores hemos comentado que una de las características de las ondas es su frecuencia. Percibimos las ondas sonoras como sonidos graves o agudos, dependiendo de su frecuencia. En el caso de la luz, las distintas frecuencias las percibimos como distintos colores. Aunque no podemos ver todas las frecuencias (**espectro**) sino solamente una fracción de las que existen. Podemos ver únicamente aquellas frecuencias que se corresponden con los colores comprendidos entre el rojo y el violeta.

Esta franja de frecuencias que podemos percibir se denomina llama **espectro visible**.



La mezcla de todos estos colores (frecuencias) da como resultado luz blanca. Y viceversa: si descomponemos la luz blanca, utilizando por ejemplo, un prisma de vidrio, obtendremos todos los colores del espectro.



Descomposición de la luz blanca en colores.

Esta descomposición la observamos en la naturaleza, en forma de bello fenómeno meteorológico. El arco iris es el resultado de la descomposición de la luz del sol en las gotitas de agua de lluvia, que actúan como minúsculos prismas.

Este fenómeno se denomina **dispersión**.

¡Seguramente lo habrás observado en otras situaciones!

10.6. ACTIVIDADES DE GENERALIZACIÓN

Los alumnos prepararán una presentación (utilizando como herramientas PowerPoint o Prezzi, por ejemplo) en la que plasmarán las ideas principales expuestas buscando imágenes en Internet o creando sus propias imágenes. Cada alumno expondrá al resto del grupo su presentación. Los demás alumnos aportarán sugerencias y rectificarán posibles errores con ayuda del profesor.

Así mismo, generarán sus propios ejemplos en los que aparezcan los conceptos y fenómenos trabajados.

APÉNDICE 2. PROTOCOLO PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LAS ESTRATEGIAS METACOGNITIVAS

[Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014)]

| | SCORE |
|--|-------|
| ORIENTACIÓN | |
| Ausencia. | 0 |
| Antes de resolver lee cuidadosamente la sentencia del problema o de la cuestión planteada. | 1 |
| Lee la sentencia del problema o atiende a la cuestión planteada y realiza preguntas superficiales al respecto (e.g., verificar el número de asignaciones). | 2 |
| Esquematiza la información importante antes del desempeño de la tarea (activa el conocimiento previo y analiza el problema). | 3 |
| Profundiza en la sentencia del problema/tarea (e.g., active el conocimiento previo, analiza el problema, determina las variables de la tarea, genera predicciones). | 4 |
| PLANIFICACIÓN | |
| Ausencia. | 0 |
| El plan de acción consiste en consultar las explicaciones, no desarrolla ninguna acción para la resolución. | 1 |
| El plan de acción se ejecuta solo en parte, a través de ensayo-error. | 2 |
| El plan de acción se ejecuta parcialmente, no sigue pasos sistemáticos de búsqueda de información. | 3 |
| Sigue los pasos marcados en el plan y adapta los pasos a nuevas situaciones. | 4 |
| EVALUACIÓN | |
| Ausencia. | 0 |
| Sus elocuciones señalan que no comprende el problema o la tarea, no realiza acciones de evaluación. | 1 |
| Realiza auto-correcciones después de haberse dado cuenta de los errores. | 2 |
| Realiza acciones de evaluación más profundas (e.g., chequea la sentencia del problema o las cuestiones de la tarea y verifica las respuestas de forma sistemática, haciéndose preguntas a cada paso del plan y buscando, en su caso, información). | 3 |
| Evalúa la respuesta, el plan y el proceso de aprendizaje del problema o de la tarea cuestión planteada. | 4 |

| ELABORACIÓN | |
|--|---|
| Ausencia. | 0 |
| De forma ocasional compara la respuesta dada al problema/tarea o a la cuestión planteada. | 1 |
| Sistemáticamente compara la respuesta al problema/tarea o a la cuestión planteada. | 2 |
| Determina la información más importante para resolver el problema/tarea o cuestión planteada y analizar cuál es la información redundante. | 3 |
| Después de haber resuelto el problema/tarea o haber dado respuesta a la cuestión planteada reflexiona sobre cómo ha aprendido y cómo se pueden generalizar los pasos de aprendizaje. | 4 |

A continuación, se muestra el análisis de los diálogos utilizando el protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas (Van der Stel & Veenman, 2014) traducido en el campo de la física (Sáiz, 2014)). Sería realmente muy extenso recoger todos los diálogos que se han generado a lo largo de la intervención, por lo que se han considerado aquellos más significativos. Tengamos en cuenta que, como se ha indicado, se grabaron en audio un total 20 protocolos, siendo la duración media de las grabaciones de 38 minutos, computándose 760 minutos de grabación (13 horas). El número total de registros de intervenciones fue de 499.

Para facilitar la lectura de los diálogos es conveniente que el lector se familiarice previamente con Programa de intervención en conocimientos de física para alumnos de 4º de ESO (Apéndice 1).

Análisis de los diálogos utilizando el protocolo para el análisis de la calidad de las estrategias metacognitivas
[Van der Stel y Veenman (2014) traducido (Sáiz, 2014)]

Tabla 1
Análisis del diálogo 1. Unidad 1. Método científico. Magnitudes físicas. Tema 1. El método científico.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMINOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|--|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EY | EL |
| Definición de elementos Rayo. Rayo incidente. Rayo reflejado. Pantalla. Imagen... | Alumno 8: ¿Por qué no se ve el rayo del láser? | No relaciona el contenido que se está trabajando. | A medida que varía la altura del foco. Varía la altura de la imagen. ¿Qué vemos de los objetos? La luz que reflejan. Tiene que haber partículas en las que incide. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: ¿Por qué de noche si se ve el rayo del láser? | No relacionada con lo que estamos tratando | Las pequeñas partículas de polvo en suspensión en el aire reflejan la luz del láser. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1. Observación del suceso en repetidas ocasiones. | Alumno 1: El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales. | Correcto. Ha recurrido a la memoria y ha acertado. | La mayoría no ha visto esta conclusión. Reoriento el tema hacia el razonamiento de las alturas. ¿Alguien puede dibujarlo? | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: Yo creo que depende del ángulo con el que | | Cuando yo lanzo el rayo hacia el | 3 | 3 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|---|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | choque la luz. Alumno 10: Es siempre igual en el otro lado. | | espejo ¿este...? ¿Igual? ¿A qué te refieres? | | | | | |
| 3. Elaboración de modelos o formas simplificadas que ayuden a su comprensión. | Alumno 2: La misma altura. | Correcto. | | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Ya tenemos una ley física, ¿o no?, ¿se va a cumplir siempre esto? | | | | | |
| | Todos: Sí se va a cumplir. Alumno 8: ¿Y si alejas más el puntero? | | Vemos que si alejo el puntero. Esta "ley de las alturas" ya no nos sirve... Si queremos hacer una ley más general que no dependa de las distancias... "Trazamos la recta "normal". ¿Qué otra ley se cumple? Ya tenemos una ley más general. | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 1: El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Alumno 2: ¿Cómo se llama esa ley? | | | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| 4. Formulación de leyes capaces de explicar los problemas similares al anterior. | | | Ley de la reflexión. | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 |

Tabla 2
Análisis del diálogo 2. Unidad 1. Método científico. Magnitudes físicas. Tema II y Tema III. La medición de las magnitudes físicas.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|--|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Si utilizo como unidad de medida un taco de pòsit. ¿Por qué no me entendería el carpintero al encargarme la fabricación de una mesa?, ¿qué estaría fallando? | Alumno 8: Habría que hacer una misma medida para todos. | Carencia de vocabulario para expresar con rigor lo que realmente quiere decir. | Importancia de que todos utilicemos un mismo sistema de unidades. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Las medidas. Porque cada medida es diferente. | Ídem. | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Necesitamos unidades de medida universal. | Llega a una conclusión correcta y relaciona con lo que recuerda. | | | 1 | 0 | 0 |
| Definición del Sistema Internacional de Unidades | Alumno 7: ¿Y por qué en los Estados Unidos no? | Comprensión ambigua de "Internacional". | Existen distintos sistemas de unidades. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Definición de magnitud La belleza... | Alumno 2: ¡Tiene muchas medidas! | Precipitación en la respuesta y carencia de vocabulario. | No se le puede asignar un valor objetivo. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Si digo que la temperatura del aula es de 20, ¿es suficiente | Alumno 2: No. 20 grados centígrados. | | Una magnitud debe ir acompañada de unas unidades. | 3 | 3 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|--|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| información? Si digo que el museo está a 10, ¿es suficiente? | Alumno 2: No. Diez metros o pies o millas. | En las magnitudes vectoriales, además, hay que indicar el sentido. | ¿Debo dar alguna información más? | 3 | 3 | 0 | 0 |
| ¿Y si digo a 10 metros es suficiente información? | Alumno 8: No, hay que decir hacia dónde. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Diez metros enfrente de la entrada. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: O <i>la juani</i> (kiosko) está a 30 metros... | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Pero si vas hacia allí (indica la dirección opuesta) tendrías que dar la vuelta al mundo.... | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| El problema de medir Utilizo una hoja de papel como medida para cortar otra... | Alumno 8: Cada vez sería más... | Dificultades de expresión. | Cada vez sería mayor la diferencia de tamaños entre las tiras de papel. | 1 | 1 | 0 | 0 |

Tabla 3
Análisis del diálogo 3. Unidad 2. El movimiento. Tema I. Movimiento.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|--|----------------------------|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Cómo definirías movimiento o cuándo dirías que un cuerpo se mueve? El sacapuntas está a medio metro de mí, ¿tú puedes decir lo mismo? | Alumno 9: Cuando se desplaza. | Dificultades de expresión. | Posición, ¿qué es? Donde se encuentra un objeto. | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Cuando cambia su estado. | Falta de concreción. | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 8: Cuando cambia su posición. Alumno 8: No, para mí está a otra distancia. | | Eso significa que la posición es relativa | 2 | 2 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|---|---|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 7: Entonces la posición en la que se encuentra un objeto según el que lo está... | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Según la posición del que está observando. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ¿Para estudiar un movimiento qué necesito? | Alumno 8: Una unidad para medir... longitudes. | Incompleto. | ¿Qué más? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: ¿Saber a cuánto se desplaza? | Trata de anticiparse a magnitudes que recuerda. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Comparando desde dónde lo mires. | | Según desde dónde lo miro, tendrá una posición u otra. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Desde dónde lo miro voy a llamarlo sistema de referencia. Si tú lo miras sería... | Alumno 8: Otra referencia. | | Los ojos de cada uno serían su propio sistema de referencia y la posición de un objeto es distinta para cada uno. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: ¿Y qué sistema de referencia sería? | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Tus ojos. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Si decimos que el movimiento es un cambio, ¿qué más necesitamos? | Alumno 4: Un sistema de medida de longitudes y un sistema de medida de tiempo. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 3: Pero valdría un metro y un cronómetro y punto. | Concreción de la respuesta del alumno anterior. | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Pero en realidad daría igual el sistema de referencia. El libro este que se puede mover de aquí a aquí, pero es que te da igual mirarlo desde donde sea porque se ha movido la misma distancia.” | Correcto para dos observadores que estén en reposo (uno respecto de otro). | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Veremos... ¿Qué pasa si te digo: 'la posición de un cuerpo es relativa'? ¿qué puede significar esa frase? | Alumno 8: Depende de dónde lo mires. | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: ¿Relativo es "depende del observador"? | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Tabla 4
Análisis del diálogo 4. Unidad 2. El movimiento. Tema I. Movimiento. Trayectoria.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|---|--|---|-----------------------|---|----|----|---|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Cómo puede ser la trayectoria de un movimiento? Lanzo el sacapuntas sobre la mesa. | Alumno 4: Puede ser recta o... | No encuentra la palabra para describir una trayectoria que no sea recta. | ¿Y si fuera en zigzag como sugiere Alumno 8? | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Trayectoria recta. | Respuesta limitada al ejemplo que estamos reproduciendo. | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Todos: Curva, curvilínea. | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poner ejemplos... | Alumno 4: (Hace apreciaciones, con un CD en las manos, sobre cómo sería el movimiento que realizase un cuerpo que se moviera sobre la superficie de la Tierra); ¿sería curvilíneo o rectilíneo? | | A pequeña escala, la Tierra la podemos considerar plana y cualquier movimiento, en una dirección dada, sobre su superficie, rectilíneo. | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Da mucho se si esta observación | Alumno 10, Alumno 4: Circular. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | | |
|--|---|--|---|-----------------------|---|----|----|--|--|
| | | | | O | P | EV | EL | | |
| Un punto sobre el borde del CD, ¿qué movimiento realizaría al girar este? Ejemplos de movimiento circular | | | | | | | | | |
| | Alumno 4: ¿Si la trayectoria es óvalo se considera movimiento circular? | | Podríamos llamarlo "curvilíneo", en general. | 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| Lanzo el sacapuntas dos veces. ¿Qué diferencia habéis observado? Pensemos sólo en el movimiento. | Alumno 10, Alumno 4: La fuerza. | Estamos estudiando el movimiento. | | 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| | Alumno 9: El tiempo que tarda en recorrerlo. | | En las dos situaciones la distancia recorrida es la misma, pero en un caso se hace en menos tiempo. | 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| | Alumno 4: El tiempo que tarda en recorrer esa distancia. | | | 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| | Alumno 10: El segundo va más rápido. | Alude a la magnitud "velocidad" que todavía no hemos definido. | | 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| Necesitamos definir... | Alumno 2: No es lo mismo pasear que correr para llegar a un sitio. Si vas paseando tardas más tiempo. | | | 2 | 2 | 1 | 1 | | |

Análisis de Protocolos en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria:
 Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura de Física

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|--------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 6: Velocidad. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabla 5
Análisis del diálogo 5. Unidad 2. El movimiento. Tema II. Velocidad. Relatividad del movimiento. Tema III. Relación entre el movimiento y la aceleración.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Relatividad del movimiento Yo estoy en el tren con mi maleta. El personaje está en la estación y entonces arranca el tren. ¿Qué le pasa a la maleta? ¿Qué dice el personaje de la maleta? | Alumno 4: Que no se mueve. | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Que se mueve hacia la izquierda. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Vas en el teleférico y parece que es lo de abajo lo que se mueve. | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: O en el coche y parece que se mueve la calle. | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Aceleración Si decimos que aumenta la velocidad 1m/s cada segundo... | Alumno 2: ¿Es otra magnitud? | | | 1 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|----------------------------|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Movimiento bajo la acción de la gravedad Lanzo un objeto hacia arriba | Alumno 9: Hacia arriba vas frenando hasta que te quedas en cero y bajas. | Dificultades de expresión. | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Parece que algo te atrae hacia abajo. | | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| Doy un salto, ¿hacia dónde voy? | Alumno 2: Hacia arriba. | | Ese el sentido del vector de velocidad. | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| ¿Voy cada vez más deprisa o más despacio? | Alumno 2: Cada vez más despacio. | | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 9: Se supone que cuanto más abajo estás más gravedad hay ¿no? (surge el tema del hombre que saltó desde la estratosfera. Félix Baumgartner). | | | 1 | 0 | 0 | 0 | |

Tabla 6
Análisis del diálogo 6. Unidad 2. El movimiento. Tema III. Relación entre el movimiento y la aceleración. El movimiento circular.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Movimiento circular ¿Que está pasando con el vector de velocidad? | Alumno 10: Que está cambiando de posición. | Respuesta precipitada. | Posición, ¿qué es? | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 6: Pero no cambia. | Se refiere a que no cambia la cantidad de velocidad. | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Si que cambia el que va dentro del coche ve que no cambia pero el que lo ve desde fuera si ve que cambia. | Aunque no responde a la pregunta, es correcto: el vehículo está en reposo respecto al conductor, por lo tanto no cambia la velocidad respecto al conductor. | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Es como en una rotonda. | Busca un símil al ejemplo utilizado pero no responde a la pregunta formulada. | | 1 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ¿Hacia dónde parece que están tirando el vector velocidad para que cambie así? | Alumno 2: Hacia dentro, hacia el centro siempre. | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Es como si te pones a girar una cuerda... si se corta la cuerda el boli iría recto. | | | 1 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 7
Análisis del diálogo 7. Unidad 3. Las fuerzas. Tema 1. Interacciones entre cuerpos.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---|--------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Las fuerzas Definición | Alumno 4: Energía. | Error de concepto | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Movimiento, peso. | Respuestas aleatorias. | ¿Por qué has dicho peso? | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: El peso es la fuerza con la que atrae la Tierra. | | Es un ejemplo de fuerza. | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Efectos de las fuerzas | Alumno 9: Que lo desplacen. | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Aceleración. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Cambia de forma. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Los elásticos, ¿no? | Responde lo que recuerda sobre la clasificación de los cuerpos en función de su comportamiento frente a la fuerza aplicada. | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: ¿Y cómo se llamaría al propio cambio de que está girando (la canica)?, ¿cambio | | | 1 | 1 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | rotativo? Alumno 2: ¿Y si un cuerpo empuja a otro cuerpo? | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Efecto deformador ¿Aplico la fuerza y que ocurre cuando lo suelto? | Alumno 2: Ha vuelto a su estado normal. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Vuelve. | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Se llaman cuerpos flexibles. | No recuerda la denominación correcta. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 6: Elásticos. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Metemos el dedo en el bote de vaselina, ¿qué pasa? | Alumno 10, Alumno 4: Que sigue estando ahí, se queda ahí. | Dificultades de expresión. | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | |
|--|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|---|
| | Alumno 4: Esto es elástico (caja CD) ¿verdad? Bueno, depende, porque... si doblas un poco se vuelve a su originalidad, pero si lo aprietas un poco, se queda doblado... pero si lo doblas más se rompe... | | | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 6: Pero eso dependiendo de la fuerza que utilices, ¿no? | | | 3 | 3 | 0 |
| Si cojo el CD, lo doblo y lo ato con una cuerda unos días... | Alumno 3: Pues se queda con la forma. | | | 3 | 3 | 0 |
| | Alumno 4: Pero entonces está haciendo fuerza con la cuerda. | | | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: ¿Una piedra también...? | | | 0 | 0 | 0 |
| Muelle Cuelgo un bolígrafo y se estira, si cuelgo otro, ¿qué ocurre? | Alumno 4: Se estira más. | | | 3 | 3 | 0 |
| | Alumno 10: Según el peso. | | | 3 | 3 | 0 |
| | Alumno 3: Dependé... | | | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 6: Del peso. | | | 3 | 3 | 0 |
| | Alumno 3: Del peso que le pongas. | | | 3 | 3 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---------------------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Se estira otro tanto. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Pero esto sólo en los elásticos, ¿no? | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Llegaría un momento en que se rompería. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Hablando de muelles | Alumno 10: Por ejemplo, no es igual este muelle que el muelle de un coche. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Un muelle acaba debilitándose. Cuanto más lo estires acaba debilitándose. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |

Tabla 8
Análisis del diálogo 8.Unidad 3. Las fuerzas. Tema II. Fuerzas y movimiento.

| AREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|--|---|--|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Cambios en el movimiento Leyes de newton | Alumno 4: ¿Newton tiene que ver con la electricidad? Pero si que se mide en newton, ¿no? | Confusión entre nombres de unidades y error de concepto (la electricidad no es una magnitud). | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Porque ha habido una fuerza. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: No hay movimiento sin fuerza. | Error conceptual | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| Primer principio Cuerpo cambia de estar en reposo a moverse. | Alumno 4: ¿Y cuál es la fuerza por la que se mueven los planetas? | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Si no va con velocidad constante, si va subiendo y bajando (la velocidad)? | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: La aceleración que adquiere depende del cuerpo. | | ¿En concreto de qué característica del cuerpo? | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| Segundo principio Aplico la misma fuerza a dos cuerpos distintos. | Alumno 4: Para que se muevan lo mismo necesitan la misma fuerza. | Incorrecta relación entre fuerza y movimiento. | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 6: Del peso del cuerpo, ¿no es del peso? | Error conceptual peso-masa | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| AREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|--|--|------------------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Tercer principio Comentar distintas situaciones en las que dos cuerpos interaccionan (manes, interacción gravitatoria). | Alumno 4: Si esto pesa 1 kg. y tú has hecho una fuerza... ¿cómo se medía?... en newtons... de 1 newton, se ha movido un poco. Si esto pesara medio kilo... | Error de expresión y error de concepto. "moverse más" en realidad sería "moverse más rápido"; que debería expresarse como "adquirir una velocidad mayor", ya que se ha partido del reposo. | | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Se mueve el doble. | Anticipa la respuesta intentando prever lo que va a contar su compañero. | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Y haces medio newton de fuerza... se mueve lo mismo también, ¿no? | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: Yo te doy y tú me das (a Alumno 4). | Broma. Puede contener errores de modelo. Es habitual que se explique o se entienda que la reacción es una consecuencia de la acción. | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Y si un imán es más grande que el otro? | Error conceptual-de expresión: ¿de mayor masa? ¿de mayor intensidad? | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: El boli se cae por que tiene menos masa que la Tierra. | | Si suelto el bolígrafo, ¿qué pasa? | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Sería lo mismo que la Tierra con la Luna, ¿no? | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| AREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: ¿Y por qué se mantiene ahí la Luna? | | Recordemos las fuerzas en el movimiento circular. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: ¿Pero tienen sentidos contrarios?, ¿depende del peso? | Error conceptual-de expresión: depende de la masa. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: El boli y la Tierra se atraen con la misma fuerza, pero como la Tierra tiene más masa, apenas se mueve... | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Entonces yo aplico una fuerza sobre este rotulador. ¿Entonces el rotulador la está ejerciendo sobre mí?, ¿pero si lo estoy moviendo...? | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| Ejemplos de fuerzas Fuerza que actúa sobre la libreta. | Alumno 4: Un vector hacia arriba. ¡Ah no! Hacia arriba sería el vector de la Tierra. Un vector hacia abajo (para representar el peso). | Dificultades para describir verbalmente la situación. | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Es igual que si tú estás colgada en una barra... pues te tira hacia abajo... | | | 3 | 3 | 0 | 0 |

| AREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| La libreta sobre la mesa, la Tierra la está atrayendo... | Alumno 9: Pero no hay cambios. | No percibe cambios entre la situación "la libreta está en el aire" y "la libreta está sobre la mesa" | Entonces, ¿por qué la libreta no se cae? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: Porque la mesa anula. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: La mesa lo para. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cuerda | Alumno 4: ¿Y cómo se llamaría la fuerza de la cuerda? | | Tensión. | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Fuerza de rozamiento ¿Por qué no se mueve la mesa al empujarla? | Alumno 6: Porque pesa. | Error de concepto: cree que la dificultad para mover un cuerpo apoyado sobre una superficie es su peso. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Porque no haces la suficiente fuerza. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Porque la mesa está haciendo la misma fuerza sobre ti. | Para estudiar el cuerpo "mesa" debe fijarse sólo en las fuerzas que se ejercen sobre ella. | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: No. | | | | | | |
| | Alumno 9: Por el rozamiento del suelo. | | | | 2 | 2 | 0 |
| | Alumno 10: Al hacer la misma fuerza, si fuera hielo, se desplazaría mucho más. | | | | 1 | 1 | 0 |
| La fuerza de rozamiento depende de... | Alumno 2: De la textura. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Cuanto más pesa más roza. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Depende de la superficie. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| AREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| La fuerza de rozamiento también produce movimiento. Ponemos un bolígrafo sobre un cuaderno y empujamos el cuaderno. | Alumno 4: Tu mano. | La mano no está ejerciendo ninguna acción sobre el bolígrafo. | El boli sobre el cuaderno se mueve al mover el cuaderno, ¿qué fuerza hace eso? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: La fuerza del libro. | No identifica las fuerzas que actúan sobre el bolígrafo. | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: El rozamiento, porque está rozando con la libreta. Al mover la libreta el boli se queda ahí por la fuerza de rozamiento de la libreta... | | | | 3 | 3 | 0 |
| Bolita atada a una cuerda girando. | Alumno 2: Como los camareros. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: La cuerda atrae hacia el centro. Hay una aceleración que es la cuerda hacia el centro. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: La fuerza tira desde el centro. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabla 9
Análisis del diálogo 9. Unidad 4. Giros y fuerzas. Tema I. Partículas.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Partícula puntual. Varilla. Golpeamos una varilla en distintos puntos y observamos qué ocurre. | Alumno 4: Me imagino que si no hubiera rozamiento, si le dieras aquí (señala un extremo de la varilla), se movería entera (la varilla). | Achaca el giro que se produce en la varilla a la fuerza de rozamiento. | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 5: No pararía de moverse. | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Aquí (varilla) habría tres puntos? ¿Aquí, aquí (donde se aplican las fuerzas) y el punto de apoyo?” | Dificultades de descripción. Recurre a la memoria: “punto de apoyo”, donde estoy sujetando la varilla, no ha sido definido todavía. Está precipitando el problema hacia una imagen mental que le resulta familiar. | | 3 | 3 | 0 | 0 | |

Tabla 9
Análisis del diálogo 9. Unidad 4. Giros y fuerzas. Tema I. Partículas.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Partícula puntual. Varilla. Golpeamos una varilla en distintos puntos y observamos qué ocurre. | Alumno 4: Me imagino que si no hubiera rozamiento, si le dieras aquí (señala un extremo de la varilla), se movería entera (la varilla). | Achaca el giro que se produce en la varilla a la fuerza de rozamiento. | | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 5: No pararía de moverse. | | | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Aquí (varilla) habría tres puntos? ¿Aquí, aquí (donde se aplican las fuerzas) y el punto de apoyo? | Dificultades de descripción. Recurre a la memoria: "punto de apoyo", donde estoy sujetando la varilla, no ha sido definido todavía. Está precipitando el problema hacia una imagen mental que le resulta familiar. | 3 | 3 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|---|--|---|-----------------------|---|----|----|---|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Aplicamos fuerzas iguales y opuestas en los extremos de una varilla | Alumno 9: Está en el equilibrio. | Sería correcto para una partícula puntual. | Si está en equilibrio, entonces, ¿por qué empieza a girar? ¿Ocurre lo mismo si en la piedra aplico fuerzas iguales y opuestas? | | | | | |
| | Alumno 4: Ocurriría lo mismo en la varilla si aplicara las dos fuerzas opuestas en el mismo punto. | | | | | | | |
| | Alumno 8: ¿Qué pasa si por un extremo aplicas 8 N hacia arriba y por el otro 5 N hacia abajo? Ahí va girando pero no es la fuerza cero. | | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: ¿Pero una partícula también puede ser sólida no? | | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Es algo que te tienes que imaginar. | | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Pero esto también puede ser (refiriéndose a la varilla)... partícula puntual porque si lo empujo de aquí (del centro). | | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 3: ¡Principio de Inercia! | | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | ¿Condiciones de equilibrio partícula puntual? | | | | | | | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| La misma fuerza aplicada en distintos puntos de la varilla... Y, ¿depende de...? | Alumno 8: Hace que gire en distintos sentidos. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Del punto de aplicación. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 8: El sentido de giro depende del punto de aplicación de la fuerza. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Si la fuerza la haces en el centro, no gira. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Y, ¿cómo se llamaría a este punto que está fijo? | | | | | | | |
| | Alumno 10: Punto de apoyo. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| Balancín Dos niños en el balancín. | Alumno 8: Y si la fuerza es en el punto de apoyo, no gira. | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 8: Si las dos personas son del mismo peso no... | | | | | | | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--------------------------------------|--|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Un niño en el balancín con su padre. | Alumno 4: Si pesa más, este baja más... | | | | | | | |
| | Alumno 8: El papá se acerca más al punto de apoyo (equilibrio). | | | | | | | |
| | Alumno 8: No sólo depende de la fuerza que apliques sino del punto de apoyo. | Dificultades para describir verbalmente la situación. | | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Depende de la distancia al punto de apoyo. | | | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: Eso es como en una balanza. Mi papá tiene una balanza... | | | 3 | 0 | 0 | 0 | |
| Palancas | Alumno 4: ¡Dame un punto de apoyo y moveré la Tierra! | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

Tabla 10
Análisis del diálogo 10. Unidad 4. Giros y fuerzas. Tema II. Fuerzas y posición.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|--------------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Prestión Introducción. Caja llena de aire. Si pudiéramos verlo, ¿qué veríamos? ¿Cuántas partículas hay en esta caja? | Alumno 4: ¿Y si vas al vacío y la llenas de vacío? | Error de concepto. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: ¿Se estrujaría? | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ¿Qué es el aire? | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Un gas. | 3 | | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Partículas. | 3 | | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Millones. | 3 | | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 3: Infinitas. | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Quientas. | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Infinitas no, pero hay muchísimas. | 2 | | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 8: Un millón. | 0 | | 0 | 0 | 0 | |

Escribo en la pizarra el valor del número de Avogadro.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: Se mueven por la temperatura. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| En el agua | Alumno 4: Hay más partículas porque los líquidos tienen las partículas más juntas. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Efecto de la fuerza Efecto de aplicar una fuerza presionando una chincheta sobre un cartón y sobre un palo. Empujamos la chincheta por la punta y después por la cabeza. | Alumno 10: Depende del material, no sería lo mismo hacerlo sobre el palo que sobre el cartón. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Porque la fuerza en el primer caso se ejerce, por así decirlo, en un punto. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: En el segundo caso, en más superficie. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Presión hidrostática Sumergimos dos monedas distintas en el agua. ¿Qué moneda soporta más peso de agua? ¿Y presión? ¿De qué depende la presión | Alumno 2: La misma. El peso que soportan es proporcional a la superficie. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: De la cantidad de | | | 1 | 1 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---------------------------------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| hidrostática? | agua que hay. | | | | | | | |
| | Alumno 9: La cantidad de agua. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Altura. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 9: Si echas esa misma cantidad de agua (la que está en el recipiente) en la botella y metes las monedas, soportan más presión. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| Echamos más agua al recipiente. | Alumno 10: Más presión sobre las moneditas. | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Si la monedita estuviera flotando por la mitad, por ejemplo, también tendría presión? | | | | | | | |
| | Alumno 9: ¿Y lo de la atmósfera? | | | | | | | |

Análisis de Protocolos en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria:
 Un análisis del pensamiento metacognitivo en la asignatura de Física

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|------------------------------------|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Si en lugar de agua tengo mercurio | Alumno 9: Pues mucha más presión, porque pesa más. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: Depende de la densidad del líquido. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabla 11
Análisis del diálogo 11. Unidad 5. Presión y atmósfera. Tema I. Presión

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|---|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 10: La presión en todos los puntos a la misma profundidad sería la misma. Alumno 4: Presión hidrostática en la superficie cero. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Principio de Arquímedes ¿Por qué flotan los cuerpos en un fluido? | Alumno 4: Porque tienen distinta densidad. Alumno 9: Porque tienen sus partículas más separadas. | Una causa de que los cuerpos tengan distinta densidad es que sus partículas estén más separadas, pero no es la única ni la más frecuente. | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Cuando echo la canica al agua. | Alumno 10: Aumenta el volumen del agua... sube el agua. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|--|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Cuando echo la pelota de ping-pong. | Alumno 2: ¡Flota! | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | ¿Sube el agua? | | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| ¿Sube el agua? | Alumno 3: Sí. | | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Un poco, justo lo que se hunde. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: Justo la superficie de la bola... el volumen de la bola. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: La bola tiene un volumen y, cuando la introduces en el agua, ese volumen pasa a ocupar un espacio dentro del agua. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | Alumno 8, Alumno 9: El agua sube el volumen del cuerpo. | | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Agua a ras. Echo la bolita. ¿Qué volumen sale? | Alumno 8: El que tiene la bolita. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| ¿Cuánto pesa ese volumen? | Alumno 4: Lo que pese la bolita. | Incorrecto. Confusión entre conceptos peso-volumen | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|-------|---|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 9: Tiene que ser agua, ¿no? | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Pero así se puede también medir el volumen de un objeto irregular... | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 2: El empuje es lo que pesa la "bolita de agua". | | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Esa bola de cristal pesa 1 kilo y la misma "bolita de agua" pesa medio kilo. El empuje sería medio kilo. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Cuando tiras un objeto, va más deprisa en el aire. En cuanto entra al agua va más despacio. En el agua hay un empuje. | En el aire el empuje es mucho menor que en el agua. | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|----------------------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| La bolita de vidrio se hunde por... | Alumno 8: Pesa más que el volumen del agua. | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: La bolita pesa lo mismo que la bolita de agua. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Si la bolita de vidrio se hunde por... | Alumno 4: La bolita de ping-pong pesa menos que la bolita de agua. | | | | | | |
| | Alumno 8: El empuje es mayor que el peso. | | | | | | |
| Si la bolita se quedara en medio del agua, donde la soltara... | Alumno 4: El poquitín que se hunde es el propio peso. | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | |
| Si la pelota de ping-pong la suelto dentro del agua | Alumno 10: Se igualarían todas las fuerzas. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | |
| Pelota de ping-pong flotando en la superficie... | Alumno 4: Si estuviera llena del mismo plástico, se hundiría un poquito más. Se hunde hasta que se igualan. | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 10: Cuesta más empujar por la jeringuilla grande. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: Porque aquí tiene que empujar una zona más pequeña y aquí una zona más grande. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Principio de Pascal Jeringuillas conectadas. | Alumno 4: Si la superficie es más grande, cuesta más. Alumno 3, Alumno 9: Si la superficie es más pequeña, cuesta menos. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | | | | 1 | 1 | 0 | 0 |

Tabla 12
Análisis del diálogo 12. Unidad 5. Presión y atmósfera. Tema II. Atmósfera.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-----------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Atmósfera | Alumno 4: En el aire (al comprimir) se juntan más las partículas. | | | 3 | 3 | 0 | 0 |
| | Alumno 4, Alumno 9: Haces un agujerito arriba y se cae. | | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| Flan. | Alumno 6: Porque tiene aire comprimido ¿no? | Incorrecto. | | 2 | 2 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: No. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 9: Porque antes estaba el vacío. | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Es como si metes agua aquí y tapas aquí (tubito). | | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 4: Al hacer el agujerito en el flan, cae por la fuerza de la gravedad. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | |
| Ventosa. | Alumno 4: Es que no es solamente el aire que tienes aquí. Es todo el aire el que está haciendo fuerza. | | | 3 | 3 | 0 | 0 | |
| Tetra brick. | Alumno 2: Es como en una lata de Coca-Cola, que la abres y suena pssssss. | Incorrecto. | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: En la Coca-Cola el aire está más comprimido. | | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| Barómetro de Torricelli Agua en el tubo de ensayo. No se cae. | Alumno 10: Porque la presión de dentro es igual que la de fuera. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| Si tuviera un tubo de ensayo largo, muy largo... | Alumno 2: Pasaría lo mismo. | | | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Que el agua bajaría hasta un punto... | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|-------------------------|--|----------------------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Qué pasa con mercurio? | Alumno 9: ¡Hasta la presión! | Dificultades de expresión. | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: El mercurio pesa más. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 9: El experimento con agua también se podría hacer con un tubo muy largo. Alumno 10: La columna bajó hasta que se igualó la presión. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| Subo a una montaña. | Alumno 9: Hay menos presión. La columna baja. | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |

Tabla 13
Análisis del diálogo 13. Unidad 6. Energía y trabajo. Tema I. Energía.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---------------------------------|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Por qué gira el aerogenerador? | Alumno 2: Porque hay aire. La bombilla se enciende. | Dificultades de expresión y respuesta poco razonada. | | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Porque la pila tiene energía. | Confusión de energía con transformación de la energía y los distintos métodos de transformación. | | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| Tipos de energía | Alumno 8: Solar, la que proviene del Sol, eólica, la que proviene del viento. | Se están enumerando formas de aprovechamiento de la energía más que a tipos de energía. | | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| | Alumno 2: Mareomotriz. | | | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Hidráulica. | | | 2 | 1 | 1 | 0 | |
| | Alumno 6: ¿Cuál es la mareomotriz? | | | 2 | 1 | 1 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: De las olas. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Hidráulica la del agua. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: Nuclear. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Geotérmica. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: ¿De la nuclear qué ponemos? | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Biomasa, calorífica. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Acústica. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 6: ¿Acústica qué es? | | golpeo la mesa | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: La del sonido. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Luminosa, la de la luz. | | | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Transformación de la energía Pila enchufada a bombilla. | Alumno 8: Un cambio. Se puede transformar. | | | 1 | 1 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|------------------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: Pero se va perdiendo poco a poco. | | | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: ¿Dar pedales a la bici? | | | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Energía mecánica Lanzo el boligráfico. | Alumno 4: Energía acústica. | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 8: Al principio energía mecánica. | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 8: La masa. | | La energía cinética depende de... | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 8: ¿La fuerza?, ¿la energía? | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 4: La velocidad. | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 8: Por ejemplo, un globo o algo que lo sueltas y se sujeta en el aire, ¿tiene energía? | | La energía potencial depende de... | 2 | 2 | 2 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|--|--|------------------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: ¿Y si quito el suelo? | No se tiene en cuenta la gravedad. | Suelto el bolígrafo... | 2 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Depende de la altura. Es relativa. | Tiene en cuenta una variable. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: De la velocidad. | Tiene en cuenta una variable. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: De la masa. | Tiene en cuenta una variable. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Ascende. Velocidad constante. | La abstracción de los conceptos relacionados con la energía cinética no les permite una comprensión total e interactiva con otros conceptos. | Lanzo el bolígrafo hacia arriba... | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: "cada vez más lento" | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: Cada vez más lento. Se para y vuelve a caer. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 8: La fricción del aire... | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 6: Disminuye la energía cinética. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: La potencial está aumentando. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Al caer va cada vez más rápido. | | Desde el punto más alto empieza a caer... | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 6: Aumenta la cinética y va disminuyendo la potencial. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

Tabla 14
Análisis del diálogo 14. Unidad 6. Energía y trabajo. Tema II. Trabajo.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|----------------|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Trabajo | Alumno 8, Alumno 2: Tú le has dado energía. | Se confunden los conceptos de trabajo, energía y fuerza | Empujo un bolígrafo. | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 2: A través del dedo. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Haces fuerza. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 8: Hay que hacer fuerza. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 9: Haces un recorrido con el brazo. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | | Se confunden los conceptos de distancia, velocidad, espacio y energía. | Lanzar una pelota. | 2 | 2 | 1 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 3: La energía que le das depende de la distancia. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: Cuanta más fuerza ejerces, más rápido. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 3: Más velocidad. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

Tabla 15
 Análisis del diálogo 15. Unidad 7. Calor. Tema 1. El calor

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|----------------------------------|--|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| ¿De qué está formada la materia? | Alumno 2: De átomos. | Se tienen ideas y conceptos relacionados con el concepto de materia si bien si bien la abstracción de los mismos no les permite una comprensión total e interactiva del concepto con otros conceptos. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: Partículas (dibuja partículas). | Se confunde átomo con partícula y se intenta visualizar el átomo en distintos cuerpos en estado sólido y líquido. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: Pero eso sería un gas. Están muy separados. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: En el diamante estarían mucho más juntas, ¿no? | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|---|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 2: Y el talco apenas... | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 2: Depende de la posición que tome cada átomo. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Electrones, neutrones y protones. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| ¿De qué está formada la materia? Teoría cinética de la materia | Alumno 4: ¿Y por qué dentro del encendedor el gas está líquido y fuera no? Alumno 10: Ocorre lo mismo en el desodorante. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 2: ¿Y en una bombona de butano? | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|----------------------------------|--|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| ¿Cómo se comportan esas esferas? | Alumno 10: Están en movimiento. | Se tiene la idea de que las partículas se comportan de forma distinta en cuerpos sólidos que en líquidos o gaseosos, pero les es difícil representarse la materia en los distintos tipos de cuerpos. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: No se están moviendo porque es un sólido. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: En un espacio concreto, una carretera. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: Se calientan las partículas del aire. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Pero, lo que es la madera esta, son células. ¿O las células tienen muchos átomos?, ¿cuál es la partícula más pequeña que se ha encontrado? | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Temperatura | Alumno 1: Cuerdas... Alumno 10: Cuanto más vibren, más es la temperatura. | Confusión de célula con átomo, reducción del concepto a una unidad mínima de medida de algo. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 8: Cuanta más temperatura más vibración. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Menos vibración, menos temperatura. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 8: Menos temperatura, menor vibración. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| Contacto térmico | Alumno 4: Se distribuye. Al final se mueven a la vez. El que se mueve mucho se mueve menos y el que se mueve menos se mueve más. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Es como si mezclara agua caliente y fría, acaba a la misma temperatura. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| Termómetro ¿Cómo puedo medir la temperatura? | Alumno 4: Con algún material que se expanda demasiado. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 9: Con el mercurio. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: Tiene que estar graduado. | | ¿Cómo lo gradúo? | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Con el agua. Pones 0 cuando se solidifica y 100 cuando se evapora. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: De la temperatura. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Calor específico Aumentar un grado la temperatura de una cazuela de agua depende... | Alumno 9: Del calor que estás dando. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 9: De la presión. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: No tiene que ver, pero si por ejemplo tienes agua en una botella y la agitas, ¿subirían los grados? | | | 2 | 2 | 2 | 1 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: ¿Y cuándo soplas? | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 8: De la cantidad de agua que tiene. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ¿Y si fuera otra sustancia? | Alumno 10: Habría que darle otra cantidad de energía. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Calor latente de cambio de estado Cuando empieza a hervir el agua, ¿a qué temperatura está? | Alumno 8: 100 grados. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 8: El agua se va evaporando. Pasa a estado gaseoso. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Cuando queda poquita agua meto el termómetro, ¿qué marca? | Alumno 10: 100 grados. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------------------------------------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 8: No puede subir más. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 8: El cuerpo, con esa energía, cambia de estado. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Mecanismos de transmisión de calor | Alumno 9: Por contacto. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 2: Mezclándolos. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: A través de los átomos. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ¿Cómo nos llega la energía del Sol? | Alumno 2: Rayos. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Corrientes de convección. | Alumno 7: En la chimenea. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | |
|-------|--|--------------------|-------------------------|-----------------------|---|----|
| | | | | O | P | EV |
| | Alumno 4: Por qué el aire caliente sube si pesa lo mismo que el aire frío? | No pesan lo mismo. | | 1 | 1 | 0 |

Tabla 16
Análisis del diálogo 16. Unidad 8. Movimiento y fenómenos ondulatorios. Tema 1: Movimiento

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | |
|--|------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|
| | | | | O | P | EV |
| Movimiento del barquito ¿Cómo es el movimiento de un barquito? ¿Y la ola hacia dónde se está moviendo? | Alumno 4: De arriba a abajo. | | | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: Hacia la derecha. | | | 2 | 2 | 1 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---------------|-------------------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Cuerda ¿Hacia dónde viaja la perturbación? | Alumno 9: Hacia el otro extremo. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: Hacia ningún lado. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ¿Y el pañuelo atado? | Alumno 9: Hacia arriba y hacia abajo. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: Sí, hacia arriba y abajo. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| ¿Qué pasa cuando la ola llega al puerto? | Alumno 4: Que cada vez tiene menos intensidad. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 8: Choca y estalla. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 9: Arriba y abajo. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: El columpio. | | Ejemplos de movimiento de "vaivén". | 2 | 2 | 2 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|-------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 4: Tirando una bola en un valle. | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 6: En un balancín. | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 8: Golpear la mesa continuamente con el bolígrafo. | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 2: El muelle del bolígrafo (al presionar...). | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 4: Los cilindros del motor del coche. | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 5: ¿El pedal de la bici? | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 9: El embrague. | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| | Alumno 6: La mecedora, el caballito de los niños... | | | 2 | 2 | 2 | 2 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|--|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: ¿Y una bola que dejas caer? | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 5: Un yo-yo. | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Parámetros de ondas. Posición de equilibrio. | Alumno 9: El mar en calma. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Donde no hay energía. | Confusión entre equilibrio y un valor concreto de la energía. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Máxima elongación | Alumno 4: Lo más alto o bajo que suba. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Si preguntara: ¿a qué se llama velocidad de propagación de una onda? | Alumno 4: A lo rápido que se desplaza. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Tipos de ondas. | Alumno 4: Lo de la cuerda. | | Teniendo en cuenta el número de dimensiones en las que se propagan... (tengo que explicar con "tipos de caramelos" a qué se refiere esto), en una dimensión... | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|------------------|--|--|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: Las ondas del sonido qué sería, ¿tridimensional? | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Bidimensionales: | Alumno 4: Se propagan en un plano (golpea la mesa). | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Pero aun así, la cuerda se mueve en dos dimensiones. | Una cuerda se mueve, efectivamente, en dos dimensiones, pero la propagación de la energía se realiza en una dimensión. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: La energía se propaga en una línea. | | ¿Pero la energía se propaga...? | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: El sonido. Tú oyes golpear la mesa, pero si pones la oreja sobre esta se oye más. Grita en el agua y grita en el aire a ver cuál se oye más... ¿a qué si gritas en el agua va más lejos? | Confunde rapidez en la propagación con alcance de la perturbación originada. | Teniendo en cuenta si necesitan o no un medio para su propagación. | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--------------------------|--|---------------|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 4: Sí. | | (Va más rápido pero se amortigua antes. Golpeamos la mesa: el sonido llega más lejos que la vibración). ¿El sonido necesita un medio? Entonces es una onda mecánica. | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 2: ¿Y el aire? | | El aire no es una onda. | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Entonces, ¿en el vacío no se propaga el sonido? | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| Ondas electromagnéticas. | Alumno 4: La luz. | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Se propagan en el vacío. | | ¿Necesitan un medio para su propagación? | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: ¿Si hablas en el vacío no se te oye? | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |
| | Alumno 4: Pero las ondas de un <i>waltie taltie</i> por ejemplo sí. Los astronautas... | | | 2 | 2 | 1 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: Pero si le das la mano, sí. | | Entre <i>walki talkie</i> y <i>walki talkie</i> es una onda electromagnética. | 2 | 2 | 1 | 0 |
| Teniendo en cuenta la dirección de vibración: Transversales. Longitudinales. | Alumno 4: Estás en el vacío. Te pones a gritar y no me oye, pero si le das la mano igual sí me oye. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |

Tabla 17
 Análisis del diálogo 17. Unidad 8. Movimiento y fenómenos ondulatorios. Tema II: Fenómenos ondulatorios.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|---|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Algunos fenómenos ondulatorios. Reflexión | Alumno 4: Como la luz con un espejo. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 4: Pero la luz si se propaga en linea recta, ¿o no? | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: ¿Por qué hay eco? | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 8: Electromagnética. | | La luz es una onda... | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Porque las ondas chocan contra las paredes. Ahora no hay eco porque hay ordenadores y se dispersan. Mémete en una habitación vacia tú sola... | Confunde eco con reverberación. | | 2 | 2 | 2 | 1 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: Que rebota. | | Ilumino con el puntero un espejo. ¿qué ocurre? | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 3: Se refleja ahí... | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 2: Si la persiana estuviera totalmente bajada... | | ¿Por qué no se ve el haz? (ya surgió la cuestión en temas anteriores) | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 4, Alumno 9: Si hay humo se ve porque da en las partículas. | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Si hubiera humo. | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Refracción Introducimos el bolígrafo en el agua. | Alumno 9: Se deforma. Desde aquí lo veo... que parece que está partido el boli. | | | 2 | 2 | 2 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 9: Se fuece. | | Iluminamos con el puntero láser | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Y refleja. | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 2: Que se ha desviado. | | ¿Qué ha pasado? | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Que ha chocado contra los átomos y se desvía... | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Alumno 9: Le han frenado. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Interferencias Superposición de ondas "sincronizadas". | Alumno 3: ¡Sube más! | | ¿Qué pasa si dos olas iguales se superponen en el punto en el que está el barquito? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Como cuando una onda da contra una pared. Sube más... | Al chocar contra la pared entra en juego la energía que transporta la onda. | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: ¿Se suman las energías? | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 4: Si viene una ola de 1 metro y otra de 2 metros, no creo que vaya a dar una ola de 3 metros. | Cuando dos ondas interfieren constructivamente se suman las amplitudes. | | 1 | 1 | 0 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Superposición de ondas "en oposición". | Alumno 8: La ola grande se come a la pequeña. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 4: Se restan. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |

Tabla 18
Análisis del diálogo 18. Unidad 9. Sonido. Tema I. El sonido.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|------------------------------------|---|---|-------------------------|-----------------------|---|----|----|---|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| El sonido Flauta. Diapasón. | Alumno 8: Una propagación. | | ¿Qué era una onda? | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 4: Una vibración. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 5: Una onda. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Alumno 2: Son las vibraciones que se transmiten... | Confusión entre vibración, onda y transmisión | | 3 | 2 | 2 | 1 | |
| | Alumno 4: A través de un sólido, un líquido o un gas. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Globo. El oído es una membrana. | Alumno 10: Es como un tambor. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 10: Es como un altavoz. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| ¿Qué tipo de onda es? | Alumno 10: Se propagan 360°. | Dificultades de expresión. Se refiere a que se propaga en todas las direcciones. | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 4: Tridimensional. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 10: Necesitan un medio para transmitirse. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 5: Mecánica. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 10: Vibran así (indica que vibran en la dirección en la que se propaga la onda). | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| ¿Qué características habíamos visto en una onda? | Alumno 10: La amplitud, lo alto de la onda. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 4: La vibración. | Dificultades de expresión y falta de vocabulario. Se refiere a la frecuencia de vibración. | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 10: La frecuencia. Las veces que vibra la onda. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| En el oído, ¿un sonido de mucha frecuencia? | Alumno 10: Haría vibrar mucho. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| ¿Un sonido de poca frecuencia? | Alumno 10: Llegarían los estímulos pero no... por ejemplo, cuando oyes hablar desde lejos... Alumno 3: En hercios. | Confusión entre frecuencia de vibración e intensidad de la onda. | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| ¿La frecuencia se media en...? | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Nuestro "sensor" (el oído) percibe frecuencias entre 20 y 20 000 Hz ¿Alguna característica más de las ondas...? | Alumno 10: No sé si tiene que ver con esto, pero... si son iguales se sumarían... Alumno 4: La velocidad de propagación según el material. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|--|--|-------------------------|-----------------------|---|----|----|---|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| Cualidades del sonido ¿Diferencia entre estos sonidos? (flauta). | Alumno 5, Alumno 10: La fuerza. | La fuerza es una medida de la interacción entre dos cuerpos. Lo que percibimos son sonidos de distinta intensidad. | | | | | | |
| | Alumno 10: La amplitud de las ondas. | | ¿Si hablamos de ondas? | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| ¿Diferencia entre estos sonidos? (flauta, notas distintas). | Alumno 4: ¡Volumen! | Efectivamente, la amplitud de una onda sonora está relacionada con la intensidad, lo que popularmente se denomina "volumen". | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Alumno 10: La frecuencia. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Alumno 4: Uno es grave y otro más agudo. Agudo cuanta más frecuencia, ¿no? | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Alumno 10: Entonces graves se refiere a las ondas más separadas y agudo sería más... | Dificultades de expresión. | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|--|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Distinguirías dos instrumentos distintos que tocasen la misma nota? | Alumno 5: Suenan distinto. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 10: Sería la misma frecuencia y todo igual, pero el sonido sería distinto. | | Esa cualidad se denomina timbre, y es debida a que las frecuencias que emite un instrumento musical no son puras. | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Sensación sonora ¿El sonido de una flauta sería el mismo que el de cien flautas? | Alumno 10: Sería mucho más, la energía se sumaría” | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 10: Lo oirías como una pero mucho más fuerte. | | ¿Con respecto a la percepción? | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 4: Se oiría más pero no cien veces más. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Cuando hablas de altavoces, sí que hablas de waltos, pero cuando hablas de lo que percibes... | Alumno 10: Decibelios. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Reverberación- Eco Hablo en una habitación. Cuando esa onda choca contra la pared... | Alumno 10: Rebotaría hacia ti. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|-------------------------------------|--|--|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| ¿Cuándo hay muebles...? | Alumno 10: Se absorbería más, se oíría menos. Cuando entras a una sala y no hay nada nada dentro, habría como eco. | Confusión entre eco y reverberación. | Es el mismo fenómeno eco y reverberación. Todo depende de a qué distancia se encuentre la superficie que refleje la onda. | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 4: ¿Por qué cuando hay una doble pared con cámara de aire se oye menos? | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 9: Porque rebota. | Una pared amortigua y absorbe la energía de la onda. | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 4: En un auditorio, ¿por qué las paredes no son planas? | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | Alumno 9: Para que rebote en todas las direcciones. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Cuando voy a una montaña y grito... | Alumno 10: Chocaría contra la montaña. | | | 3 | 3 | 3 | 3 | |

Tabla 19
Análisis del diálogo 19. Unidad 10. Luz y color. Tema 1. Luz.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMINOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|------------------------|---|---------------|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Luz ¿Qué es la luz? | Alumno 8: Una onda. | | | 3 | 3 | 1 | 0 |
| | Alumno 2: No necesita un medio para su propagación. | | ¿Qué tipo de onda? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Vibra perpendicular a su propagación. | | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 2: Por el vacío. | | ¿Cómo nos llega la luz del Sol? | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Alumno 8: Rebota. | | ¿La luz es una onda? La luz se refleja, ¿es suficiente para decir que es una onda? Tiro la pelota al suelo. | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | | |
|-------|--|---------------|---|-----------------------|---|----|----|--|
| | | | | O | P | EV | EL | |
| | Alumno 4: Pero es una onda recta, no la puedes doblar por así decir... me imagino que el sonido, si hay viento se mueve un poco más para allá... | | | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Se hunde pero no sigue moviéndose en línea recta. Dependiendo del material flotaría o no. | | Si lanzo la pelota sobre una superficie de agua. | 2 | 1 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Porque choca contra el agua, que es más densa... | | ¿Por qué se desvía? | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 4: Que disminuye. | | ¿Y qué ocurre con la velocidad? | 2 | 2 | 2 | 0 | |
| | Alumno 4: Vienen dos olas y se suman las energías. | | ¿Qué fenómeno exclusivamente ondulatorio conocemos? | 2 | 2 | 0 | 0 | |
| | Alumno 10: Tiene el mismo ángulo. Con el que incide es igual a con el que sale" | | Reflexión | 1 | 1 | 0 | 0 | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---|--|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 7: Refracción. | | ¿Otro fenómeno? | 3 | 3 | 2 | 1 |
| | Alumno 8: Se deforma el rayo. | El rayo de luz se desvía cuando cambian las características del medio en el que se propaga. | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 9: Porque se frena, porque choca con las partículas del agua. | | ¿Por qué se produce? | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 2: Por ejemplo, si pongo un trozo de vidrio sobre la mesa, ¿se produciría el mismo efecto que en el agua? | | Índice de refracción: relación de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Y, ¿cómo han comprobado la velocidad de la luz? | | Efectivamente, tienen índices de refracción similares. Velocidad de propagación de la luz. | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Experiencia reflexión/refracción: haz láser en agua turbia. | Alumno 4: Sale del agua y se desvía hacia afuera. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |
| | Alumno 2: Pero también rebota hacia abajo. | Cuando un rayo incide sobre la superficie de separación entre dos medios, en general, parte de la energía se transmite al segundo medio y otra parte se refleja en la superficie. | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Angulo límite. | Alumno 8: No sale. | | ¿Dónde está el rayo? | 2 | 2 | 1 | 0 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|---------------|---|---------------|-------------------------|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 5: ¿Eso es cuando la luz está dentro del agua? | | | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | Alumno 2: Se mete para dentro. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Fibra óptica. | Alumno 8: Se ve la luz al final. | | | 3 | 3 | 2 | 1 |
| | Alumno 4: Va por dentro la luz. | | | 2 | 2 | 2 | 1 |

Tabla 20
 Análisis del diálogo 20. Unidad 10. Luz y color. Tema II. Color.

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMINOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--------------|---|--|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| Color | Alumno 2: Un conjunto de luces. | La luz blanca está formada por ondas de distintas frecuencias. En el espectro visible, esas frecuencias las percibimos como colores. | ¿Qué es el arco iris? ¿De dónde sale? Dispersión. | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Cuando la luz se refleja en las gotas de agua salen esos colores. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Con un cristal lo puedes hacer también. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 1: De la luz. | | | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Están todos mezclados en la luz. | | | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 9: Se desvía. | Al incidir la luz sobre una gotita de agua se refracta. | ¿Qué pasa cuando un rayo atraviesa una gota? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|--|---|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 2: Sólo vemos los colores desde el rojo hasta el violeta, ¿pero se podrían ver más? | | No con los sensores que poseemos (nuestros ojos). | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Con unas gafas especiales. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: No se verá nada. | Al hacer girar el Disco de Newton con una velocidad adecuada vemos una "mezcla de colores": blanco. | Disco de Newton, ¿qué pasará al hacerlo girar? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Porque la luz se refleja. | | El color de las cosas. | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores menos ese. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 6: Pero las cosas son de ese color, no tiene que ver con la luz. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores. | | ¿Y el color negro? | 3 | 3 | 3 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|--------------|--|--|---|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 4: ¿Por eso da más calor? ¿Y el blanco? | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Refleja todo. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Es más frío. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Color | Alumno 2: Un conjunto de luces. | La luz blanca está formada por ondas de distintas frecuencias. En el espectro visible, esas frecuencias las percibimos como colores. | ¿Qué es el arco iris? ¿De dónde sale? Dispersion. | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Cuando la luz se refleja en las gotas de agua salen esos colores. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Con un cristal lo puedes hacer también. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 1: De la luz. | | | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 4: Están todos mezclados en la luz. | | | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 9: Se desvía. | Al incidir la luz sobre una gotita de agua se refracta. | ¿Qué pasa cuando un rayo atraviesa una gota? No con los sensores que poseemos (nuestros ojos). | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 2: Sólo vemos los colores desde el rojo hasta el violeta, ¿pero se podrían ver más? | | | 3 | 3 | 3 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|---|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 9: Con unas gafas especiales. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: No se verá nada. | Al hacer girar el Disco de Newton con una velocidad adecuada vemos una "mezcla de colores": blanco. | Disco de Newton, ¿qué pasará al hacerlo girar? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Porque la luz se refleja. | | El color de las cosas. | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores menos ese. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 6: Pero las cosas son de ese color, no tiene que ver con la luz. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores. | | ¿Y el color negro? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: ¿Por eso da más calor? ¿Y el blanco? | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Refleja todo. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Es más frío. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |

| TAREA | PREGUNTAS DE LOS ALUMNOS | TIPO DE ERROR | RESPUESTAS DEL PROFESOR | ANÁLISIS CUANTITATIVO | | | |
|-------|---|---|--|-----------------------|---|----|----|
| | | | | O | P | EV | EL |
| | Alumno 9: Con unas gafas especiales. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: No se verá nada. | Al hacer girar el Disco de Newton con una velocidad adecuada vemos una "mezcla de colores": blanco. | Disco de Newton, ¿qué pasará al hacerlo girar? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Porque la luz se refleja. | | El color de las cosas. | 3 | 3 | 2 | 2 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores menos ese. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 6: Pero las cosas son de ese color, no tiene que ver con la luz. | | | 2 | 2 | 1 | 0 |
| | Alumno 10: Absorbe todos los colores. | | ¿Y el color negro? | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: ¿Por eso da más calor? ¿Y el blanco? | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 4: Refleja todo. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | Alumno 9: Es más frío. | | | 3 | 3 | 3 | 2 |

Apéndice 3. Escala de auto-evaluación del conocimiento en física por rúbricas (EAECFR)

| Unidad 1: Método científico. Magnitudes físicas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema I. El método científico | | | | | |
| 1. Puedo explicar los componentes básicos de un procedimiento científico de observación. | | | | | |
| 2. Puedo aplicar las pautas del método científico a situaciones cotidianas/concretas | | | | | |
| Tema I. Conceptos previos | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de imagen. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de rayo y puedo efectuar una representación del mismo de forma gráfica. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de rayo incidente. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de rayo reflejado. | | | | | |
| 5. Puedo explicar que es la línea normal. | | | | | |
| 6. Puedo explicar que es un rayo de incidencia. | | | | | |
| 7. Puedo explicar que es un rayo de reflexión. | | | | | |
| Tema II. La medición | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de magnitud (longitud). | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de metro. | | | | | |
| 3. Puedo definir el concepto de unidad de medida. | | | | | |
| 4. Puedo explicar la acción de medir. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es el Sistema Internacional de Unidades. | | | | | |
| Tema III. Las magnitudes físicas | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de magnitud física. | | | | | |
| 2. Puedo enumerar las distintas magnitudes físicas. | | | | | |
| 3. Puedo explicar qué es una magnitud vectorial. | | | | | |
| 4. Puedo explicar qué es el concepto de error de medida. | | | | | |
| Unidad 2: El movimiento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto cambio de posición de un cuerpo u objeto. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto movimiento. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto sistema de referencia. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de trayectoria. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es un movimiento rectilíneo. | | | | | |

| | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6. Puedo explicar qué es un movimiento curvilíneo. | | | | | |
| 7. Puedo explicar la relatividad de un movimiento. | | | | | |
| Tema II. Velocidad | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de velocidad. | | | | | |
| 2. Puedo explicar las unidades de medida de la velocidad en el SIU. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de magnitud vectorial. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de movimiento uniforme. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el concepto de aceleración. | | | | | |
| Tema III. Relación entre el movimiento y la aceleración | | | | | |
| 1. Puedo explicar el movimiento circular. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de aceleración normal. | | | | | |
| 3. Puedo explicar la relación entre movimiento, aceleración y velocidad. | | | | | |
| Unidad 3: Las fuerzas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Interacciones entre cuerpos | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de magnitud fuerza. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de cuerpo elástico. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de cuerpo plástico. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de cuerpo rígido. | | | | | |
| 5. Puedo explicar la ley de Hooke. | | | | | |
| 6. Puedo explicar el concepto de constante elástica del muelle. | | | | | |
| Tema II. Fuerzas y movimiento | | | | | |
| 1. Puedo explicar las leyes de Newton | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de fuerza de rozamiento | | | | | |
| 3. Puedo explicar qué son las fuerzas en el movimiento circular. | | | | | |
| 4. Puedo explicar qué es una fuerza normal y dibujarla. | | | | | |
| 5. Puedo explicar la relación entre peso y fuerza normal. | | | | | |
| 6. Puedo explicar qué es la tensión y dibujarla. | | | | | |
| 7. Puedo dibujar y explicar un diagrama de fuerzas. | | | | | |
| Unidad 4: Giros y fuerzas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Partículas | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de partícula puntual. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de sólido. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de punto de aplicación de una fuerza. | | | | | |
| Tema II. Fuerzas y posición | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de momento de una fuerza respecto de un punto. | | | | | |

| | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2. Puedo explicar las condiciones de equilibrio de una varilla. | | | | | |
| 2. Puedo explicar cómo funciona una palanca de primer género. | | | | | |
| 3. Puedo explicar cómo funciona una palanca de segundo género. | | | | | |
| 4. Puedo explicar cómo funciona una palanca de tercer género. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es el centro de gravedad o centro de masas. | | | | | |
| Unidad 5: Presión y atmósfera | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Presión | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de presión. | | | | | |
| 2. Sé cuál es la unidad de medida de la magnitud presión. | | | | | |
| 3. Puedo definir a qué equivale el pascal. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de densidad. | | | | | |
| 5. Puedo definir el concepto de presión hidrostática. | | | | | |
| 6. Puedo explicar la relación entre presión y profundidad. | | | | | |
| 7. Puedo explicar el principio de Arquímedes. | | | | | |
| 8. Puedo explicar la relación entre empuje y peso. | | | | | |
| 9. Puedo explicar el principio de Pascal. | | | | | |
| 10. Puedo explicar el funcionamiento de los vasos comunicantes. | | | | | |
| 11. Puedo explicar el funcionamiento de una prensa hidráulica. | | | | | |
| Tema II. Atmósfera | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de gas. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de densidad aplicado a los gases. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de presión atmosférica. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de atmósfera. | | | | | |
| 5. Puedo explicar qué es un barómetro. | | | | | |
| 6. Puedo explicar para qué sirve un barómetro. | | | | | |
| 7. Puedo explicar qué es un vacío. | | | | | |
| Unidad 6: Energía y trabajo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Energía | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de energía. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de sistema. | | | | | |
| 3. Puedo relacionar el concepto de energía cinética con el concepto de masa y el de velocidad. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de energía potencial gravitatoria. | | | | | |
| 5. Puedo relacionar el concepto de energía potencial gravitatoria con el concepto de masa y el de altura. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de energía cinética. | | | | | |
| 7. Puedo relacionar el concepto de energía cinética y energía potencial gravitatoria con el concepto de energía mecánica. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de energía mecánica. | | | | | |

| | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tema II. Trabajo | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de transferencia de energía. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de trabajo. | | | | | |
| 3. Conozco la unidad de medida del trabajo en el SIU (julio). | | | | | |
| 4. Puedo explicar el principio de conservación de la energía mecánica. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el concepto de potencia. | | | | | |
| Unidad 7: Calor | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. El calor | | | | | |
| 1. Puedo explicar el concepto de temperatura. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el concepto de agitación térmica. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto de calor. | | | | | |
| 4. Puedo explicar el concepto de equilibrio térmico. | | | | | |
| 5. Puedo relacionar el funcionamiento de un termómetro. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de calor específico. | | | | | |
| 7. Puedo explicar qué es el calor latente de cambio de estado. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de conducción. | | | | | |
| 9. Puedo definir el concepto de convección. | | | | | |
| 10. Puedo definir el concepto de radiación. | | | | | |
| Unidad 8: Movimiento y fenómenos ondulatorios | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Movimiento | | | | | |
| 1. Puedo definir el movimiento ondulatorio. | | | | | |
| 2. Puedo definir el movimiento vibratorio. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el concepto frecuencia. | | | | | |
| 4. Conozco qué es el hertzio. | | | | | |
| 5. Puedo definir el concepto de onda mecánica. | | | | | |
| 6. Puedo definir el concepto de onda electromecánica. | | | | | |
| 7. Puedo definir el concepto de onda transversal. | | | | | |
| 8. Puedo definir el concepto de onda longitudinal. | | | | | |
| 9. Puedo definir el concepto de onda unidimensional. | | | | | |
| 10. Puedo definir el concepto de onda bidimensional. | | | | | |
| 11. Puedo definir el concepto de onda tridimensional. | | | | | |
| 12. Puedo definir el concepto de amplitud de onda. | | | | | |
| 13. Puedo definir el concepto de elongación. | | | | | |
| 14. Puedo definir el concepto de periodo en una onda. | | | | | |
| 15. Puedo definir el concepto de velocidad de prolongación. | | | | | |
| Tema II: Fenómenos ondulatorios | | | | | |
| 1. Puedo explicar el fenómeno de la reflexión. | | | | | |
| 2. Puedo explicar el fenómeno de la refracción. | | | | | |

| | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3. Conozco la ley de Snell. | | | | | |
| 4. Puedo explicar de Snell. | | | | | |
| 5. Puedo explicar el fenómeno de las interferencias. | | | | | |
| Unidad 9: Sonido | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. El sonido | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de intensidad. | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de tono. | | | | | |
| 3. Puedo definir el concepto de timbre. | | | | | |
| 4. Puedo definir el concepto de sensación sonora. | | | | | |
| 5. Conozco la unidad de medida: decibelios (dB). | | | | | |
| 6. Puedo explicar el fenómeno de reverberación. | | | | | |
| Unidad 10: Luz y color | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tema I. Luz | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de índice de refracción. | | | | | |
| 2. Puedo definir el concepto de ángulo límite. | | | | | |
| 3. Puedo explicar el fenómeno de reflexión total interna. | | | | | |
| Tema II. Color | | | | | |
| 1. Puedo definir el concepto de espectro visible. | | | | | |
| 2. Puedo definir el fenómeno de dispersión. | | | | | |
| 3. Puedo explicar a qué se debe el color de los cuerpos. | | | | | |

