

Rosabel Roig-Vila (Ed.)

# La docencia en la Enseñanza Superior

Nuevas  
aportaciones  
desde la  
investigación  
e innovación  
educativas

Rosabel Roig-Vila (Ed.)

**La docencia en la  
Enseñanza Superior.  
Nuevas aportaciones  
desde la investigación  
e innovación educativas**

**Octaedro**   
Editorial

*La docencia en la Enseñanza Superior. Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas*

EDICIÓN:

Rosabel Roig-Vila

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Prof. Dr. Julio Cabero Almenara, Universidad de Sevilla

Prof. Dr. Antonio Cortijo Ocaña, University of California at Santa Barbara

Profa. Dra. Floriana Falcinelli, Università degli Studi di Perugia

Profa. Dra. Carolina Flores Lueg, Universidad del Bío-Bío

Profa. Dra. Chiara Maria Gemma, Università degli studi di Bari Aldo Moro

Prof. Manuel León Urrutia, University of Southampton

Profa. Dra. Victoria I. Marín, Universidad de Oldenburgo

Prof. Dr. Enric Mallorquí-Ruscalleda, Indiana University-Purdue University, Indianapolis

Prof. Dr. Santiago Mengual Andrés, Universitat de València

Prof. Dr. Fabrizio Manuel Sirignano, Università degli Studi Suor Orsola Benincasa di Napoli

Profa. Dra. Mariana Gonzalez Boluda, Universidad de Birmingham

Prof. Dr. Alexander López Padrón, Universidad Técnica de Manabí

COMITÉ TÉCNICO:

Jordi M. Antolí Martínez, Universidad de Alicante

Gladys Merma Molina, Universidad de Alicante

Revisión y maquetación: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edición: octubre de 2020

© De la edición: Rosabel Roig-Vila

© Del texto: Las autoras y autores

© De esta edición:

Ediciones OCTAEDRO, S.L.

C/ Bailén, 5 – 08010 Barcelona

Tel.: 93 246 40 02 – Fax: 93 231 18 68

www.octaedro.com – octaedro@octaedro.com

ISBN: 978-84-18348-11-2

Producción: Ediciones Octaedro

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos de los textos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de los autores.

## **39. Entender la física: estrategias del alumnado para resolver problemas. ¿Un reto para el profesorado?**

Rodes Roca, José Joaquín; Benavídez Lozano, Paula Gabriela; Torrejón Vázquez, José Miguel; Campo Bagatín, Adriano; Bernabeu Pastor, Guillermo; García Lozano, Rubén; Martínez Chicharro, María; Torregrosa Alberola, Álvaro

*Universidad de Alicante*

### **RESUMEN**

El principal objetivo del estudio es diseñar un ejercicio de cinemática y evaluar si hay diferencias significativas en la estrategia de resolución en estudiantes de distintos niveles de grado y/o máster de ingeniería, arquitectura y/o ciencias. Así, podremos comprobar hasta qué punto tener una ecuación en el enunciado del ejercicio y los datos para sustituir directamente implica una ausencia de pensamiento tanto sobre el significado físico de la expresión como de las conclusiones que sacan de sus resultados. Una rúbrica orienta al alumnado y nos servirá para comparar la estrategia de cada estudiante y sus argumentaciones para aplicar las leyes y conceptos de física. Esta experiencia se ha llevado a cabo con 334 estudiantes, 130 mujeres y 197 hombres, que cursan asignaturas de física en algunas de las titulaciones impartidas en la Universidad de Alicante. Para realizar el análisis estadístico se han calculado las medias, la desviación típica y se han comparado los valores medios para analizar si hay diferencias significativas. En términos absolutos el 97% obtuvo un resultado incorrecto y sólo el 3% obtuvo la solución correcta con razonamientos adecuados en los pasos realizados. La principal conclusión es que la estrategia habitual es sustituir los datos directamente en la ecuación.

**PALABRAS CLAVE:** Física, problema, estrategia, método.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Resulta bastante habitual que el alumnado resuelva los ejercicios de física aplicando las ecuaciones (receta), ya sean de cinemática, estática, dinámica, óptica, electromagnetismo, etc., sin que aparezca ninguna explicación o razonamiento de porqué se aplica esa ecuación ni cuál es el objetivo buscado. Para realizar un análisis de las estrategias que utiliza el alumnado para resolver ejercicios, hemos diseñado un problema sencillo relacionado con la cinemática de un movimiento unidimensional y una rúbrica para orientar al alumnado en el procedimiento para abordar la resolución del problema.

Cualquier profesional que vaya a realizar un proyecto, desde escribir un libro hasta construir un puente, por ejemplo, necesita pensar cómo lo va a ejecutar, cómo lo va a presentar y analizar los datos experimentales para tomar las decisiones más oportunas. Por lo tanto, entre los objetivos del profesorado está que sus estudiantes aprendan a resolver problemas en contextos novedosos. Asimismo, se requiere que los conceptos y leyes de la física se comprendan completamente para abordar cualquier situación problemática. La adquisición de estas competencias permitirá al alumnado aplicarlas a otros aspectos de la vida cotidiana. Es bastante común entre el profesorado de física que si el alumnado sabe resolver problemas entonces han comprendido la asignatura. Sin embargo, esta circunstancia es una condición necesaria pero no suficiente como han puesto de manifiesto diversas

investigaciones didácticas sobre esta cuestión (Guisasola, Ceberio, Almudí, y Zumendi, 2011; Rodes-Roca et al., 2015, así como las referencias bibliográficas que aparecen en estos artículos). Es muy frecuente resolver problemas de física en los que el planteamiento y desarrollo de la solución siga una estructura preestablecida. Desde hace décadas, investigaciones en didáctica de las ciencias han abordado esta cuestión demostrando empíricamente que la dificultad del alumnado para afrontar una situación problemática está relacionada con el modo en que el profesorado presenta los problemas (Martínez-Torregrosa, Gil, Becerra, y Guisasola, 2005, así como las referencias bibliográficas mencionadas en el artículo, Guisasola et al. 2015; Rodes-Roca et al., 2016; Zuza, Garmendia, Barragués, y Guisasola, 2016). Martínez et al. (2005) realizaron un análisis sobre qué debe entenderse por problema y qué caracterizar su proceso de resolución. La conclusión principal de su estudio fue que para enseñar a resolver problemas al alumnado se debe presentar un enunciado en un contexto problematizado en el que se tenga la posibilidad de poner en práctica la reflexión y el pensamiento científico (en su cuadro 1 muestran ejemplos concretos de cómo modificar un enunciado clásico de problemas en otro que permita un contexto problematizado). Desde que se publicaron los primeros resultados con esta metodología (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983) esta estrategia se ha aplicado en diferentes contextos y niveles mostrando una mejora significativa en la capacidad del alumnado para la resolución de problemas (Becerra, Gras, y Martínez-Torregrosa, 2004, por ejemplo). En ocasiones, un ejercicio simple de física puede mostrar las carencias de pensamiento para abordar su resolución (Zuza et al., 2016). Otras veces las dificultades en el aprendizaje de conceptos se ponen de manifiesto en el campo eléctrico (Campos, Zavala, Zuza, y Guisasola, 2019; Furió y Guisasola 1998) o en física cuántica (Savall-Alemany, Guisasola, Rosa-Cintas, y Martínez-Torregrosa, 2019), por ejemplo.

El objetivo de este estudio es diseñar un ejercicio para evaluar la capacidad de análisis del alumnado junto a una rúbrica que permita analizar las diferentes estrategias utilizadas por estudiantes de varios cursos de grado y máster. La principal hipótesis es que la primera tentación para abordar el ejercicio será la sustitución de los valores (datos) directamente en la ecuación. Además, se discutirán los argumentos que el alumnado utiliza en la resolución del ejercicio.

## **2. MÉTODO**

### **2.1. Descripción del contexto y de los participantes**

La red de investigación en docencia universitaria, cuyo profesorado es miembro del Grupo de Innovación Tecnológica-Educativa (GITE-09014-UA), lleva trabajando desde el curso 2001-02 en el análisis de metodologías didácticas para la mejora del proceso enseñanza-aprendizaje de la física en las titulaciones de Ingeniería y Arquitectura. Este proyecto se enmarca en esta línea de investigación en la que se estudiará cómo aborda una situación problemática el estudiantado y qué tipo de razonamiento realiza en función del curso (primero, segundo y tercero de grado y un máster) que esté realizando. Se considerará que el alumnado de primero es “novel” a la hora de abordar un problema, el de segundo con una “cierta experiencia” mientras que el de tercero y el de máster entrarían en la categoría de “estudiantes expertos” en la resolución de problemas.

La tabla 1 resume la muestra de estudiantes a los que se les pasó el ejercicio que está enunciado en el anexo I (cuando se ha podido identificar el género, se ha incluido entre paréntesis mujeres + hombres) aplicando la rúbrica del anexo II.

**Tabla 1.** Contexto educativo del alumnado

| Grado/Máster                                  | Asignatura   | Estudiantes   |
|---|--|---------------|
| Fundamentos de la Arquitectura                | Física Aplicada 1 (castellano)                     | 72 (44 + 28)  |
|   | Física Aplicada 1 (inglés)                         | 18 (13 + 5)   |
|   | Física Aplicada 2 (castellano)                     | 48 (24 + 24)  |
|   | Física Aplicada 2 (inglés)                         | 14 (8 + 6)    |
| Ingeniería Informática                        | Fundamentos físicos de la informática (valenciano) | 21 (3 + 18)   |
| Ingeniería Informática-ADE                    | Fundamentos físicos de la informática (castellano) | 31 (5 + 26)   |
| M. Automática y Robótica                      | Electromecánica                                    | 10 (1 + 2)    |
| Física  | Técnicas Experimentales III                        | 16 (1 + 15)   |
| Ciencias de la Actividad Física y del Deporte | Biomecánica de la Actividad Física                 | 104 (31 + 73) |

## 2.2. Instrumentos

Como se ha comentado anteriormente, se ha diseñado un problema de cinemática unidimensional en un contexto de ingeniería, arquitectura o deportivo siguiendo un modelo no convencional y adaptando el enunciado a cada caso según el modelo del anexo I (Martínez Torregrosa et al., 2005; Rodes-Roca et al., 2016; Zuza et al., 2016). Asimismo, el ejercicio consta de una rúbrica para indicar al alumnado que explique paso a paso cómo lo resolvió. Aunque en algunas asignaturas suele ser habitual la consulta de formularios o, incluso, apuntes y todo tipo de libros, para esta investigación se les avisó de que no necesitarían ningún material de consulta. El problema propuesto era lo suficientemente “sencillo” que cualquiera debería poder abordarlo con los conocimientos previos adquiridos en la materia o, incluso, al principio de la asignatura que estaban cursando en algunos casos.

## 2.3. Procedimiento

Se trata de que el alumnado reconozca que cualquier ejercicio de física, ciencia en general, se tiene que abordar con el mismo espíritu con el que se resuelve una situación problemática. Es decir, no se trata de buscar la fórmula (“receta”) y sustituir los valores numéricos sino que es necesario una fase inicial de reflexión sobre el contexto planteado. La experiencia parte de una aproximación a la ejecución de un proyecto de ingeniería y/o arquitectura, la preparación de una prueba atlética, etc. en la que la “protagonista” realiza un recorrido que viene descrito por una expresión matemática (anexo I). El objetivo es que traten el problema de física imaginándose que en realidad forma parte de un proyecto que se va a ejecutar profesionalmente. No obstante, como tienen la ecuación y los datos la actitud habitual es ir directamente a las operaciones sin plantearse preguntas como ¿qué tipo de movimiento estoy realizando? ¿qué condiciones voy a aplicar? ¿qué hipótesis voy a enunciar?

Para tratar de guiar al alumnado en el proceso de resolución del ejercicio, se incluye la rúbrica en la que se gradúa la puntuación en función tanto del resultado final como de la explicación que se presenta en cada fase realizada para alcanzar la solución a la cuestión planteada (anexo II).

## 2.4. Análisis de datos

El instrumento de recogida de datos ha permitido obtener datos tanto cualitativos, las explicaciones/estrategias del alumnado para resolver el ejercicio, como cuantitativos, a través de la rúbrica. A partir

de los datos de la tabla 2, se han obtenido las medias y desviaciones típicas en toda la muestra y en cada uno de los grupos. Para la comparación cuantitativa de las medias se ha empleado la prueba t de Student para muestras independientes.

### 3. RESULTADOS

El ejercicio fue resuelto por 334 estudiantes, como indica la Tabla 1, con una presencia algo descompensada de mujeres (40%) respecto a hombres (60%) en el conjunto de la muestra. No obstante, nótese que la proporción de mujeres en algunas titulaciones es muy baja en Fundamentos físicos de la informática (14,3%) y Técnicas experimentales III (6,7%), baja en Biomecánica de la actividad física (29,8%), supera al de hombres en Física aplicada 1 (63,3%) y está equilibrada en Física Aplicada 2 (51,6%). Los resultados globales no dejan lugar a ninguna duda: el 97% de la muestra obtuvo una respuesta incorrecta y sólo el 3% dedujo y explicó correctamente la solución. Además, el 82,0% se limitó a sustituir el valor del tiempo en la ecuación de la trayectoria y asumió que la distancia recorrida era la posición final y un 10% apenas fue capaz de identificar una posición inicial o que se podía calcular la velocidad y la aceleración pero sin llegar a la respuesta correcta.

En la Tabla 2 se RESUMEN todos los resultados desglosados por titulación junto a la puntuación obtenida aplicando la rúbrica. El valor medio del total de la muestra fue de 0,3 puntos.

**Tabla 2.** Evaluación del ejercicio de cinemática por grupo

| Asignatura      | Rúbrica    |           |           |          |          |          | Media      | DT         |
|-----------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|
|                 | 0          | 1         | 2         | 3        | 4        | 5        |            |            |
| FA1 (Cas)       | 59         | 10        | 3         | 0        | 0        | 0        | 0,2        | 0,5        |
| FA1 (Eng)       | 13         | 4         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0,3        | 0,6        |
| FA2 (Cas)       | 32         | 10        | 4         | 0        | 0        | 2        | 0,6        | 1,1        |
| FA2 (Eng)       | 12         | 1         | 1         | 0        | 0        | 0        | 0,2        | 0,6        |
| FFInf (Val)     | 18         | 2         | 0         | 0        | 0        | 1        | 0,3        | 1,1        |
| FFInf-ADE       | 30         | 1         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0,03       | 0,18       |
| Electromecánica | 6          | 1         | 2         | 0        | 1        | 0        | 0,9        | 1,3        |
| TE 3            | 2          | 3         | 8         | 0        | 0        | 3        | 2,1        | 1,5        |
| BAF             | 102        | 2         | 0         | 0        | 0        | 0        | 0,02       | 0,14       |
| <b>Total</b>    | <b>274</b> | <b>34</b> | <b>19</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>6</b> | <b>0,3</b> | <b>0,8</b> |

Nota: FA1 (2) = Física Aplicada 1 (2); FFInf = Fundamentos Físicos de la informática; ADE = Administración y Dirección de Empresas; TE 3 = Técnicas Experimentales 3; BAF = Biomecánica de la Actividad Física; Cas = Castellano; Eng = English; Val = Valenciano. Rúbrica: 0 = Mal; 1 = Muy básico; 2 = Insuficiente; 3 = Aceptable; 4 = Bueno; 5 = Excelente; DT = Desviación típica.

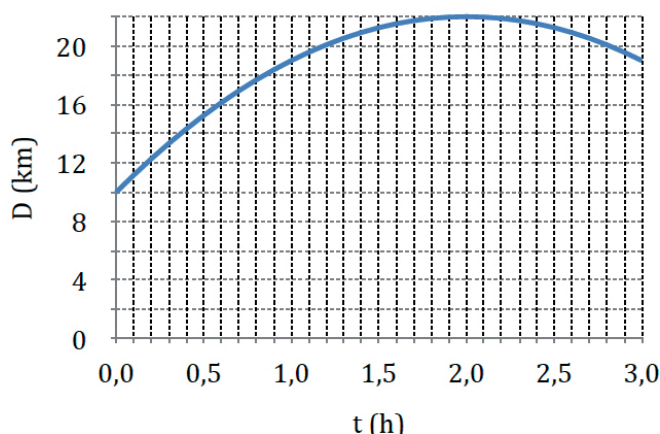
A continuación se detallan las soluciones del alumnado y las estrategias empleadas para obtener el resultado final. La respuesta más común al ejercicio fue que la ingeniera reconoce un tramo de carretera de 19 km, es decir, sustituyen el valor del tiempo  $t = 3$  h en la ecuación de  $D(t)$  directamente. Apparentemente, interpretan que el recorrido realizado es exactamente igual a la posición de la ingeniera. Esta explicación la dio un 73,7% (202/274); un 7,7% (21/274) no ofreció ninguna explicación; un

12,4% (34/274) presentó explicaciones sin significado físico; un 4,7% (13/274) lo entregó en blanco o reconocieron no saber plantearlo; y el resto tiene alguna casuística particular.

Un grupo reducido de estudiantes indica que la ingeniera ha recorrido 9 km, es decir, siguen la misma estrategia que antes pero tienen en cuenta que la posición inicial de la ingeniera es 10 km y, por lo tanto, realizan la diferencia entre posición final y la inicial, 44,1% (15/34). Otro grupo reducido identifica el tipo de movimiento que representa la función  $D(t)$  aunque sin tener en cuenta su posición inicial en la solución 23,5% (8/34). El resto (11/34), sin aportar una solución alternativa, bien presentó una gráfica de la función pero sin interpretar correctamente el significado físico o bien realizó algún argumento físico aceptable (analizó las unidades o calculó la velocidad del movimiento).

El tercer grupo de estudiantes (19) tampoco resuelve correctamente el ejercicio pero sí indica más de un razonamiento físicamente aceptable de la situación problemática.

Nadie realizó ningún diagrama, dibujo esquemático o simulación del movimiento para establecer la trayectoria de la ingeniera, aunque sí hubo estudiantes que representaron gráficamente la función  $D(t)$  (Figura 1). De la misma forma, nadie realizó ninguna interpretación sobre el resultado para argumentar una situación real. Por ejemplo, si la ingeniera estuviera inspeccionando una carretera de un único sentido, la respuesta que se podría haber dado es que ella sólo revisó 12 km de vía, aunque hubiera recorrido un total de 15 km.



**Figura 1.** Representación gráfica de la trayectoria  $D(t)$

Quienes obtuvieron la solución correcta, bien calcularon la velocidad del vehículo a partir de la derivada,  $v(t) = dD(t)/dt$ , y dedujeron que la ingeniera se paraba y cambiaba el sentido del recorrido o bien a partir de la gráfica describieron el movimiento y obtuvieron la distancia total como la suma de las distancias recorridas en los intervalos  $[0, 2]$  h y  $[2, 3]$  h (en valor absoluto). No obstante, ninguno indicó que la trayectoria representaba un movimiento uniformemente decelerado en una dimensión.

Respecto a las estrategias de planteamiento del ejercicio, considerando al grupo “experto en resolución de problemas” (TE3), más de la mitad del alumnado (56,2%) interpreta que el recorrido realizado es la longitud de la curva o la integral de línea y lo resuelve integrando la velocidad entre 0 y 3 horas. Finalmente, se ha aplicado la prueba  $t$  de Student para verificar si las diferencias entre las medias obtenidas en cada grupo eran significativas o no. Considerando adecuado un nivel de confianza del 95% y un número de grados de libertad mayor que 22, el valor crítico para aceptar la hipótesis nula (no hay diferencia significativa entre las medias) sería que  $t < 2,09$ , en el caso más desfavorable. Los resultados indican que el alumnado de TE3 tienen una media significativamente mayor en todas las



comparaciones ( $t > 2,2$ ), mientras que el alumnado de electromecánica presenta un valor medio consistente con el resto de los grupos ( $t < 2,0$ ).

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estrategia general para plantear un problema más extendida consiste en: realizar una lectura cuidadosa del mismo, dibujar un esquema que represente la situación física en un marco de referencia, extraer los datos conocidos e identificar la(s) magnitudes desconocidas, pensar los principios o leyes de la física que se aplicará, establecer las condiciones que se deben cumplir (ecuaciones), resolver e interpretar si la solución obtenida tiene significado físico o si tiene sentido en la realidad. Para que el alumnado adquiera la capacidad de enfrentarse a cualquier tipo de problemas, Martínez et al. (2005) concluyen que es indispensable introducir un modelo de resolución de problemas muy cercano a cómo se realiza una investigación científica (Gil, Dumas-Carré, Caillot, y Martínez-Torregrosa, 1990; Gil y Martínez-Torregrosa, 1983; Maloney, 1994).

A la vista de los resultados, las diferencias entre las estrategias de estudiantes de primero, segundo o máster de ingeniería y arquitectura no son significativas. La mayoría “se lanzó” a sustituir valores en la ecuación sin pensar en otras vías alternativas de resolución o poner en duda y analizar las respuestas halladas. Sin embargo, el estudiantado “experto” de tercer curso, con una mayor formación matemática, observa la trayectoria como una curva y el recorrido lo interpreta como la longitud de dicha curva entre el punto inicial y final. No obstante, el error más común en la resolución es no identificar el cambio de signo de la derivada dando como resultado final que la ingeniera recorre 9 km (25%) y únicamente un estudiante llega a la solución correcta. Otra alternativa empleada para llegar a la solución correcta fue el cálculo de la velocidad del movimiento, igualar a cero la expresión obtenida, para averiguar cuándo se detiene ( $t = 2$  h) y cambia el sentido del movimiento. Así, determinan la distancia hasta que se para y desde ese instante hasta  $t = 3$  h, consiguiendo la distancia recorrida total como la suma de estas dos distancias. Generalmente, se apoyan en este análisis con la representación gráfica de  $D(t)$ .

Zuza et al. (2016) estudiaron un caso similar con una población bastante mayor que la nuestra de 1396 personas entre estudiantes de bachillerato, de primer curso de ingeniería y con profesorado de física no universitaria. Ningún estudiante obtuvo la solución correcta y un porcentaje extremadamente bajo del profesorado (4,5%) consiguió responder bien el ejercicio. En cuanto a este trabajo, para estudiantes de primer curso, el porcentaje de éxito del alumnado estaría alrededor de un 0,5%. Mientras que el alumnado “experto” obtiene la solución correcta en un 18,8% (aunque el número no es estadísticamente representativo).

La evidencia experimental de este trabajo indica que un “ejercicio sencillo” también requiere un planteamiento mediante el método científico para que el alumnado sea capaz de entenderlo y resolverlo correctamente. Una estrategia basada en la búsqueda de la “receta” para empezar a sustituir los datos implica que las capacidades para abordar problemas del alumnado serán limitadas y se hace necesario introducir un modelo de resolución de problemas similar a un proyecto profesional a ejecutar.

Cabe señalar que este estudio se ha limitado a un ejercicio simple de una parte muy reducida de la física y sin considerar ni la edad media del estudiantado ni sus conocimientos previos, por ejemplo. También se debe considerar que el tamaño de la muestra en algunos cursos es baja para poder generalizar los resultados de esta experiencia. Por lo tanto, será necesario ampliar el estudio a otras áreas comunes de la física y diseñar nuevos ejercicios que sirvan para comprobar si los resultados obtenidos en este trabajo son un caso particular o representan la situación actual del proceso enseñanza-aprendizaje de la física en la universidad.

Así pues, el profesorado debe protagonizar el cambio metodológico en la forma de presentar los problemas para que su alumnado pueda ser capaz de abordar cualquier situación problemática. Por su parte, el estudiantado debería plantear los problemas de física como si fueran proyectos profesionales reales para los que es necesario plantearse las preguntas a responder pero sin conocer el valor de ningún parámetro (o casi ninguno) a priori. En RESUMEN, tienen que reconstruir el problema para después abordarlo y proponer la(s) solución(es) plausibles a la situación problemática planteada.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa y al Instituto de Ciencias de la Educación el apoyo a la red docente y al Grupo de Innovación Tecnológica-Educativa (GITE-09014-UA) en el marco del programa I3CE de Investigación en Docencia Universitaria 2019-2020 (Ref.: 4630).

## 5. REFERENCIAS

- Becerra, C., Gras, A., & Martínez, J. (2004). Análisis de la resolución de problemas de Física en secundaria y en primer curso universitario en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 275-286.
- Campos, E., Zavala, G., Zuza, K., & Guisasola, J. (2019). Electric field lines: The implications of students' interpretation on their understanding of the concept of electric field and of the superposition principle. *American Journal of Physics*, 87, 660-667.
- Furió, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Gil, D., Dumas-Carré, A., Caillot, M., & Martínez, J. (1990). Paper and pencil problem solving in the physical sciences as an activity of research. *Studies in Science Education*, 18, 137-151.
- Gil, D., & Martínez, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- Guisasola, J., Ceberio, M., Almudí, J. M., & Zumendi, J. L. (2011). La resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas en cursos introductorios de física universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 439-452.
- Guisasola, J., De Cock, M., Kanim, S., Ivanjek, L., Zuza, K., & Bollen, L. (2015). Investigating Physics teaching and Learning in a university setting. *Il Nuovo Cimento*, 38 C, 96, 1-11.
- Maloney, D. P. (1994). Research on problem solving: physics. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 327-354). New York: MacMillan Pub Co.
- Martínez, J., Gil, D., Becerra, C., & Guisasola, J. (2005). ¿Podemos mejorar la enseñanza de la resolución de problemas de "lápiz y papel" en las aulas de Física y Química? *Educación Química*, 16(3), 235-249.
- Rodes, J. J., Hernández, A., Rosa, J., Yebra, M. S., Moreno, J. C., Beléndez, T., Bernabeu, G., Torrejón, J. M., Méndez, D. I., Álvarez, M. L., & Benavidez, P. (2015). Materiales para el autoaprendizaje y análisis de resultados académicos en dos grupos de física. En M. T. Tortosa, J. D. Álvarez, & N. Pellín (Eds.), *Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio* (pp. 1798-1813). Alicante: Universidad de Alicante.
- Rodes, J. J., Hernández, A., Rosa, J., Yebra, M. S., Moreno, J. C., Beléndez, T., Bernabeu, G., Torrejón, J. M., Méndez, D. I., & Vera, J. (2016). Autoaprendizaje atemporal de la física basado en la resolución de problemas y blogs. En M. T. Tortosa, S. Grau, & J. D. Álvarez (Eds.), *Investiga-*

*ción, innovación y enseñanza: enfoques multidisciplinares* (pp. 1877–1887). Alicante: Universidad de Alicante. Instituto de Ciencias de la Educación.

Savall-Aleman, F., Guisasola, J., Rosa, S., & Martínez-Torregrosa, J. (2019). Problem-based structure for a teaching-learning sequence to overcome students' difficulties when learning about atomic spectra. *Physical Review Physics Education Research*, 15, 020138, 1-17.

Zuza, K., Garmendia, M., Barragués, J.-I., & Guisasola, J. (2016). Exercises are problems too: implications for teaching problem-solving in introductory physics courses. *European Journal of Physics*, 37(5), 1-8.

## 6. ANEXOS

En este anexo se presenta el enunciado del ejercicio de cinemática propuesto al alumnado y la rúbrica que se incluye para conocer los aspectos a evaluar del procedimiento realizado en su resolución.

### I. Enunciado del ejercicio.

Una ingeniera debe presentar un proyecto para reparar los desperfectos causados por la lluvia en una carretera de la provincia de Alicante. El recorrido que realiza viene descrito por la expresión  $D = 10 + 12t - 3t^2$  (D en kilómetros y t en horas). Calcula la distancia total que ha inspeccionado la ingeniera al cabo de tres horas. Explica detalladamente todos los pasos que realices para obtener la solución.

### II. Rúbrica

El ejercicio incluye una ayuda para la autoevaluación y sugerir la explicación del proceso realizado para resolverlo.

**Tabla 2.** Detalles de la rúbrica aplicada en la corrección del ejercicio

|              | CALIFICACIÓN | DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN                            |
|--------------|--------------|---|
| EXCELENTE    | 5 puntos     | Respuesta y explicaciones correctas                   |
| BUENO        | 4 puntos     | Respuesta correcta. Alguna explicación errónea        |
| ACEPTABLE    | 3 puntos     | Respuesta correcta. Más de una explicación errónea    |
| INSUFICIENTE | 2 puntos     | Respuesta incorrecta. Más de una explicación correcta |
| MUY BÁSICO   | 1 punto      | Respuesta incorrecta. Una explicación correcta        |
| MAL          | 0 puntos     | Respuestas y explicaciones incorrectas                |