

ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE UNA HEURISTICA EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICA: UN ESTUDIO CUASIEXPERIMENTAL

F. JAVIER PERALES PALACIOS

RESUMEN

Este artículo informa de los resultados obtenidos en la aplicación y contrastación de un método heurístico para la resolución de problemas basado en las fases clásicas de Polya: definir, planificar, ejecutar y retrotraer. La materia implicada fue la Física General y el alumnado pertenecía a la Escuela de Formación del Profesorado. La investigación es de tipo cuasiexperimental y se hace hincapié en las ventajas e inconvenientes de la utilización de este método en el ámbito docente.

ABSTRACT

This paper describes the results from applying and contrasting a problem-solving heuristic method based on Polya's classical phases: defining, planning, executing, and feeding back. The implied subject was General Physics, the students were preservice teachers, and the type of research was quasi-experimental. Finally, advantages and disadvantages of this method on teaching are pointed up.

PALABRAS CLAVE

Resolución de problemas, Didáctica de la Física, Método de enseñanza.

KEYWORDS

Problem-solving, Physics teaching, Teaching method.

1. INTRODUCCION

La resolución de problemas constituye hoy en día una línea de investigación psicológica y educativa de creciente interés y potencialidad, a lo que hay que añadir la importancia tradicional que ha poseído en la práctica docente de las Ciencias, especialmente en el caso de la Física y de la Química. Así, el curriculum de enseñanzas mínimas correspondiente a la Educación Secundaria Obligatoria de reciente publicación (R.D. 1007/1991, de 14 de Junio) recoge como uno de sus objetivos: "*Aplicar estrategias personales, coherentes con los procedimientos de la Ciencia, en la resolución de problemas*", que no hace más que retomar la actitud de considerar la resolución de problemas como una actividad de los alumnos que puede ayudarles a identificarse con los objetivos y procesos científicos.

En general, la resolución de problemas ha sido considerada, desde un fin mismo del curriculum -"enseñar a resolver problemas"-, hasta un medio idóneo de aplicación/extrapolación de los conocimientos adquiridos y de desarrollo de las habilidades mentales.

En otro trabajo (Perales, 1993) hemos estructurado una revisión de este tópico en torno a los siguientes apartados:

- Definición y clasificación de los problemas
- Variables a considerar en la resolución de problemas
- Perspectiva histórico-psicológica de la resolución de problemas
- Perspectiva empírica.

Este último apartado lo subdividíamos a su vez en:

- Variables en la resolución de problemas
- Estrategias de resolución de problemas
- Perspectiva didáctica.

Dedicábamos la "perspectiva didáctica" a comentar aquellas investigaciones centradas en la resolución de problemas y que a *grosso modo* oscilan entre métodos muy directivos -"algorítmicos"- y poco directivos -"heurísticos"-. Estos suelen basarse en las cuatro fases tradicionales propuestas por Polya (1945): definir, planificar, ejecutar y retrotraer.

Los trabajos experimentales en esta línea, es decir, dedicados a contrastar métodos heurísticos frente a otros alternativos son relativamente escasos y arrojan resultados dispares (Stewart y Atkin, 1982; Van Weeren *et al.*, 1982; Kramers-Pals *et al.*, 1983; Faucher, 1984; Ramírez, 1990; Garret *et al.*, 1990).

Se hace preciso pues acometer investigaciones que, adaptadas a las situaciones cotidianas de nuestros centros, permitan detectar la eficiencia de distintos métodos de resolución de problemas y, por ende, marquen la línea a seguir en la mejora de esta actividad de enseñanza-aprendizaje clave para la docencia científica.

2. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

Este estudio responde a un diseño clásico cuasiexperimental con un grupo de control (N=31) y otro experimental (N=42), ambos pertenecientes a dos cursos distintos de estudiantes de segundo año de Magisterio.

2.1 Tópico científico

La materia objeto de investigación fue la de Física General y, en concreto, cuatro unidades temáticas impartidas a lo largo de un trimestre: (1) Las magnitudes físicas y su medida; (2) Magnitudes vectoriales; (3) Cinemática; y (4) Dinámica de la Traslación.

2.2. Metodología de enseñanza

A lo largo del trimestre que duró la experiencia, el profesor dedicó una sesión a que los alumnos del grupo experimental se familiarizaran con el método heurístico puesto en juego y que había sido reelaborado por nosotros a partir de la secuencia propuesta por Faucher (1984), en el sentido de incrementar su operatividad (fig. 1). Posteriormente y, mediante sesiones consecutivas semanales, se fueron resolviendo los problemas propuestos en las unidades temáticas anteriormente referidas, instando el profesor a los alumnos para que resolvieran públicamente dichos problemas en la pizarra, verbalizando la adaptación del

proceso a las etapas de la fig. 1 y actuando el profesor como orientador de tal proceso. Finalmente, en la sesión dedicada a la prueba de evaluación, se distribuyó entre los estudiantes una copia del esquema de resolución y se les recordó la obligatoriedad de su utilización y seguimiento en el examen. Este constó de siete ítems: cinco problemas y dos cuestiones (Anexo I), constituyendo sus resultados el objeto de atención de este trabajo.

En cuanto al grupo de control, la experiencia abarcó las mismas sesiones y materias que en el grupo experimental, pero sin hacer uso del método heurístico comentado; es decir, los alumnos resolvían espontáneamente los problemas en la pizarra bajo la supervisión del profesor que sólo hacía indicaciones sobre lo acertado o erróneo del planteamiento y resolución, no sobre el proceso ideal a seguir.

FIGURA 1. Método heurístico de resolución de problemas propuesto a la muestra de alumnos.

SECUENCIA	ETAPAS A CUBRIR
PROBLEMA	
1. DEFINIR (INFORMACION PERTINENTE)	<ul style="list-style-type: none"> * Leer detenidamente el enunciado (c) * ¿Cuáles son los datos, lo desconocido, las condiciones? * Elegir los símbolos y unidades apropiadas * Definir el apartado o apartados en los que se descompone (c) * ¿Qué parte o partes de la Física están implicadas? (c)
2. PLANIFICAR (ESQUEMA DE LA SOLUCION)	<ul style="list-style-type: none"> * Hacer las hipótesis precisas (c) * Identificar los conceptos útiles (c) * Hacer representaciones gráficas de los fenómenos (c) * ¿Se puede reformular el problema de forma diferente? (c) * ¿Es parecido a otros ya resueltos? (c) * Escribir las ecuaciones de las leyes implicadas y la propia definición de tales leyes (c) * Si el problema propuesto no puede resolverse, acometer uno más simple (haciendo las hipótesis precisas para ello) (c) * ¿Ha utilizado todos los datos? * Al final de esta etapa debe de tener un plan de resolución (c)
3. EJECUTAR (SOLUCION PROVISIONAL)	<ul style="list-style-type: none"> * Resolver las ecuaciones * Verificar cada parte del problema (unidades, cálculo ...)
4. VOLVER ATRAS	<ul style="list-style-type: none"> * ¿Es razonable el resultado? * Pensar en posibles aplicaciones del problema (c) * ¿Existe otro método de resolución? (c)
SOLUCION	

NOTA.- No todos los problemas exigirán el uso de cada una de las etapas anteriores; en cualquier caso, sólo aquellas estrictamente necesarias, haciéndolas explícitas en su hoja de resolución. Las etapas que finalizan con "(c)" indican que son válidas también para ser utilizadas en la resolución de cuestiones cualitativas.

2.3. Variables consideradas

Las variables dependientes analizadas para cada alumno fueron la "calificación global obtenida en la prueba de evaluación" y el "número total de etapas de la heurística utilizadas en su resolución".

En cuanto a las variables independientes fueron las siguientes:

- Tiempo de resolución de la prueba de evaluación
- Sexo
- Edad
- Estilo cognitivo Dependencia/Independencia de campo (DIC)
- Calificación global en C.O.U.
- Calificación en Física de C.O.U.
- Calificación en Matemáticas de C.O.U.
- Calificación en la prueba de Selectividad
- Calificación en Química de Magisterio
- Calificación en Matemáticas de Magisterio

2.4. Tratamiento de datos

Este se abordó atendiendo a los siguientes parámetros para cada muestra:

- a) Ordenación por frecuencia de utilización de las etapas heurísticas por los alumnos en la resolución de problemas.
- b) Estudio de la evolución temporal del número de etapas de la heurística utilizadas por los estudiantes a través de la realización de los distintos ítems de la prueba de evaluación.
- c) Contraste entre el número de etapas heurísticas empleadas para resolver problemas cualitativos y problemas cuantitativos.
- d) Correlación entre la calificación obtenida en la prueba de evaluación, por un lado, y el número total de etapas heurísticas cubiertas por cada estudiante, por el otro, con el resto de las variables consideradas. Asimismo se evaluó la incidencia de la condición de "experto"/"novato" sobre la última variable mencionada.
- e) Contraste estadístico entre los valores de las variables dependientes para el grupo de control y para el experimental.

3. RESULTADOS

Vamos a irlos comentando de acuerdo con los apartados establecidos en el tratamiento de datos.

- a) Las frecuencias de utilización de las etapas heurísticas ordenadas jerárquicamente aparecen, para cada muestra de alumnos, en las Tablas I y II.

TABLA I. Frecuencia de utilización, en sentido decreciente, de las etapas del método heurístico por parte de los alumnos del grupo experimental.

GRADO DE UTILIZACION	ETAPA DEL METODO HEURISTICO
1°	Escribir las ecuaciones de las leyes implicadas y la propia definición de tales leyes
2°	¿Cuáles son los datos, lo desconocido, las condiciones?
3°	Elegir los símbolos y unidades apropiados
4°	¿Qué parte o partes de la Física están implicadas?
5°	Resolver las ecuaciones
6°	Hacer representaciones gráficas de los fenómenos
7°	Definir el apartado o apartados en que se descompone
8°	Identificar los conceptos útiles
9°	Hacer las hipótesis precisas
10°	¿Es parecido a otros ya resueltos?
11°	¿Se puede reformular el problema de forma diferente?
12°	¿Es razonable el resultado?
13°	¿Ha utilizado todos los datos?
14°	Si el problema propuesto no puede resolverse, acometer uno más simple
15°	Pensar en posibles aplicaciones del problema
16°	¿Existe otro método de resolución?

TABLA II. Frecuencia de utilización, en sentido decreciente, de las etapas del método heurístico por parte de los alumnos del grupo de control.

GRADO DE UTILIZACION	ETAPA DEL METODO HEURISTICO
1°	Resolver las ecuaciones
2°	Escribir las ecuaciones de las leyes implicadas y la propia definición de tales leyes
3°	Hacer representaciones gráficas de los fenómenos
4°	¿Cuáles son los datos, lo desconocido, las condiciones?
5°	Definir el apartado o apartados en que se descompone
6°	Elegir los símbolos y unidades apropiados
7° (=6°)	Hacer las hipótesis precisas

b) Considerando el orden temporal en que fueron resueltos los ejercicios planteados a los estudiantes de cada grupo, comparamos las etapas empleadas en la ejecución de tres problemas con una demanda heurística análoga, de forma que pudiéramos conocer si existía alguna dependencia entre el orden de ejecución y la dedicación prestada a la misma, medida en número de etapas heurísticas. Tal comparación se abordó mediante un análisis de varianza, obteniéndose un nivel de significación $p < 0,01$ en ambos casos, lo que viene a indicar una atención preferente de los alumnos hacia el problema resuelto en primer lugar, frente a los que se acometían más tarde.

c) Nuevamente se obtuvo una diferencia muy significativa ($p < 0,01$), en ambas muestras, para el contraste entre el número de etapas heurísticas puestas en juego para

resolver problemas cualitativos y para resolver los problemas cuantitativos, viéndose favorecidos estos últimos.

d) En este apartado se abordó el cálculo de los coeficientes de correlación producto-momento de Pearson, r_{xy} , entre el número de etapas heurísticas cubiertas por cada alumno en la prueba de evaluación y los valores de las variables contempladas en la investigación. Para facilitar su interpretación, la Tabla III sólo recoge los niveles de significación de los distintos r_{xy} para cada muestra. Lo mismo se hizo en la Tabla IV para la calificación en la prueba de resolución de problemas.

TABLA III. Nivel de significación de los coeficientes de correlación de Pearson entre el número total de etapas heurísticas cumplimentadas por los alumnos del grupo de control y del grupo experimental y las variables consideradas en este estudio (n.s.: $p > 0,10$).

VARIABLE	GRUPO DE ALUMNOS	
	CONTROL (p<)	EXPERIMENTAL (p<)
Calificación prueba de evaluación	0,05	n.s.
Tiempo de resolución	0,05	n.s.
Sexo	n.s.	0,10
Edad	n.s.	0,05
Estilo cognitivo DIC	n.s.	n.s.
Calificación global C.O.U.	n.s.	0,10
Calificación Física C.O.U.	n.s.	n.s.
Calificación Matemáticas C.O.U.	0,05	n.s.
Calificación Selectividad	0,10	n.s.
Calificación Química Magisterio	0,05	0,10
Calificación Matemáticas Magisterio	0,02	n.s.

TABLA IV. Nivel de significación de los coeficientes de correlación de Pearson entre la calificación obtenida en la prueba de evaluación por los alumnos del grupo de control y del grupo experimental y las variables consideradas en este estudio (n.s.: $p > 0,10$).

VARIABLE	GRUPO DE ALUMNOS	
	CONTROL (p<)	EXPERIMENTAL (p<)
Tiempo de resolución	0,10	0,10
Sexo	0,02	0,01
Edad	n.s.	n.s.
Estilo cognitivo DIC	n.s.	n.s.
Calificación global C.O.U.	n.s.	n.s.
Calificación Física C.O.U.	n.s.	n.s.
Calificación Matemáticas C.O.U.	0,05	0,05
Calificación Selectividad	n.s.	0,01
Calificación Química Magisterio	0,01	0,01
Calificación Matemáticas Magisterio	0,01	0,01

Por lo que se refiere al número de etapas heurísticas puestas en juego por los "expertos" y "novatos", esta condición se asignó a los alumnos en función de la calificación obtenida en la prueba de evaluación, de forma que los que la "aprobaron" fueron identificados como "expertos" y en caso contrario lo fueron como "novatos". El contraste se realizó en ambas muestras mediante el estadístico "t de Student", obteniéndose una diferencia de medias no significativa para el grupo de control y de $p < 0,10$ para el grupo experimental.

Finalmente establecimos la comparación de las variables dependientes entre el grupo de control y el grupo experimental. Comenzando por el número de etapas heurísticas, éste fue en promedio muy superior ($p < 0,01$) para el grupo experimental frente al de control. Por el contrario, la calificación media lograda en la resolución de problemas objeto de la investigación no presentó diferencias significativas en la comparación intergrupos. Debemos de añadir que, previamente a este contraste estadístico, realizamos un estudio de la homogeneidad de ambos grupos con relación a las variables educativas introducidas en el estudio, confirmándose tal homogeneidad mediante un análisis de varianza.

4. ANALISIS DE RESULTADOS E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

a) Tanto el grupo de control como el experimental presentan una tendencia -a pesar de las reglas heurísticas impuestas en el segundo caso- a resolver los problemas escribiendo los datos, recordando las ecuaciones precisas ("fórmulas") y sustituyendo en ellas los datos, buscando "desesperadamente" la solución. Se obvian, por otra parte, procesos esenciales en la resolución de problemas, tales como el plantear las hipótesis precisas, reformular el problema de forma diferente, reflexionar sobre el resultado, etc. De cualquier modo, la instrucción sobre la heurística en el grupo experimental promueve un incremento significativo del número de etapas utilizadas por estos alumnos.

b) Se detecta una "relajación" en el seguimiento del método heurístico al ir resolviendo los alumnos los ejercicios propuestos, en una especie de frenesí por finalizarlos a medida que se sucede la sesión de evaluación. Este hecho es especialmente relevante cuando se resuelven problemas cualitativos, los cuales se consideran como de ejecución automática, es decir, sin recurrir a una planificación racional previa.

c) Si se separan los alumnos en "expertos" y "novatos", los primeros tienden a hacer uso de un número ligeramente mayor de etapas que los segundos en el proceso de resolución de los problemas.

d) Por lo que atañe a los datos del análisis correlacional, parece ser que el hecho de que los alumnos del grupo experimental sean instruidos y condicionados a utilizar el método heurístico, altera las dependencias correlacionales entre el número de etapas puestas en juego y las variables incluidas en el estudio. En este contexto cabe destacar la significación de los coeficientes de correlación entre el número de etapas heurísticas utilizadas espontáneamente (grupo de control) y la calificación lograda en la resolución de problemas, así como con respecto de calificaciones académicas previas. Por el contrario, cuando dicha utilización es "forzada" estas dependencias se diluyen y sólo parecen tener una cierta incidencia el sexo y la edad (favoreciendo a los alumnos varones y a los de menor edad). Sería conveniente, a nuestro juicio, profundizar en el papel de las variables

actitudinales sobre la utilización de procedimientos heurísticos y el logro en la resolución de problemas.

En cuanto a los datos de la Tabla IV sólo se aprecian diferencias en los coeficientes de correlación entre los resultados de la evaluación mediante resolución de problemas y las calificaciones de Matemáticas de C.O.U. y de Selectividad, esto es, el método de instrucción experimental sólo parece influir en el sentido de adecuar más estrechamente los resultados de la resolución de problemas a las variables académicas previas.

e) Del contraste experimental entre los dos grupos de alumnos no se deduce un incremento de la capacidad de resolver problemas para el grupo experimental, aunque sí se consigue que éstos sean más diligentes en el proceso de resolución. En cualquier caso, el método heurístico parece resultarles como un corsé del que tratan de desprenderse lo más pronto posible.

Podemos concluir que la instrucción en el método heurístico de resolución de problemas -al menos dentro de las limitaciones muestrales de este estudio- no garantiza un mayor éxito académico, pero sí un proceso más sistemático.

Finalmente y, desde el punto de vista de la praxis educativa, podemos apuntar algunas ventajas e inconvenientes observados en la implantación de la heurística:

Comenzaremos por las *ventajas*:

- Para el alumno: (a) Mayor sistematización del proceso de resolución de problemas y habituación al mismo. (b) Posibilidad de autoevaluación a través de la identificación de las etapas en que se han cometido errores.

- Para el profesor: (a) Facilidad para abordar la corrección de los ejercicios en función de las etapas de la heurística, evitándose en gran medida el olvido de algún tramo de la resolución. (b) Diagnóstico de los errores más comunes entre los alumnos.

Inconvenientes:

Para el alumno y para el profesor: mayor coste temporal en la resolución de los ejercicios y en su evaluación, respectivamente.

ANEXO I: PRUEBA DE EVALUACION

1. Dejamos caer un cuerpo en el interior de un ascensor desde 2 m de altura, cuando está parado y cuando asciende con movimiento rectilíneo y uniforme de velocidad 1 m/s. ¿A qué altura sobre el suelo se encontrará el cuerpo a los 0,5 s en cada uno de los casos? ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

2. En los extremos A y B de dos radios perpendiculares de una circunferencia de centro O se atan respectivamente dos masas: $M = 1732 \text{ g}$ y $m = 1000 \text{ g}$. Determine el ángulo - formado por el radio de extremo B con la vertical.

3. El vector de posición de un punto móvil queda determinado por las siguientes componentes: $x = 4 + 3.t$; $y = t^3 + 5$; $z = 2.t + 4.t^2$, en las que x, y, z vienen expresadas en

centímetros y t en segundos. Determine la velocidad y aceleración del punto en el instante $t = 1$ s.

4. El principio de inercia, ¿permite afirmar que: a) un cuerpo no puede desplazarse sin que una fuerza actúe sobre él?; b) toda variación de la velocidad de un cuerpo exige el concurso de una fuerza?; c) un cuerpo se para si la fuerza que se ejercía sobre él se hace cero y se mantiene nula? Justifique su respuesta.

5. La energía cinética de un cuerpo de masa m que se mueve en un instante determinado a la velocidad v se define como $E_c = (1/2).m.v^2$. La masa del cuerpo se ha determinado con una balanza que apreciaba el centígramo, resultando la medida, $m = 2,36$ g; la velocidad pudo calcularse a partir de la medición de un espacio recorrido, $(100 \pm 0,1)$ cm, y del tiempo empleado, $(2,2 \pm 0,2)$ s (ya que se trata de un movimiento rectilíneo uniforme). Determine la medida de la energía cinética, así como el error absoluto y relativo (en %) que le afecten.

6. Un cuerpo tarda teóricamente 1 s en caer a lo largo de un plano inclinado, pero debido al rozamiento este tiempo se duplica. Sabiendo que el ángulo del plano inclinado es de 60° , calcule el coeficiente de rozamiento entre éste y el cuerpo ($g = 10$ m/s²).

7. Un coche circula a velocidad constante por una carretera. Reduce su velocidad al entrar en un pueblo hasta mantener la autorizada y se detiene en un semáforo. Acelera nuevamente hasta la velocidad permitida y lo hace de nuevo al salir del pueblo hasta alcanzar la velocidad primitiva. Represente las gráficas s-t, v-t, y a-t de este movimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- FAUCHER, G. (1984): *Resolution de problemes et enseignement individualisé*. Atelier International d'été: Recherche en didactique de la Physique, La Londe les Maures, 1983. CNRS, Paris.
- GARRET, R.M.; SATTERLY, D.; GIL, D. y MARTINEZ, J. (1990): "Turning exercises into problems: An experimental study with teachers in training". *International Journal of Science Education* 12, (1), 1-12.
- KRAMERS-PALS, H.; LAMBRECHETS, J. y WOLFF, P.J. (1983): "The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry". *European Journal of Science Education*.
- PERALES, F.J. (1993): "La resolución de problemas en Física: Fundamentos e investigación". *Enseñanza de las Ciencias* 11 (2).
- POLYA, G. (1945): *How to solve it*. Princeton University Press, New Jersey.
- RAMIREZ, J.L. (1990): *La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media: Un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.
- STEWART, J.H. y ATKIN, J.A. (1982): "Information processing psychology: A promising paradigm for research in science teaching". *Journal of Research in Science Teaching* 19 (4), 321-332.
- Van WEEREN, J.H.; de MUL, F.F.M.; PETERS, M.J.; KRAMERS-PALS, H. y ROOSINK, H. (1982): "Teaching problem-solving in physics: A course in electromagnetism". *American Journal of Physics*, 50, 725-732.