

# EL MÉTODO CIENTÍFICO, LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y SU ENTRENAMIENTO EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA

## THE SCIENTIFIC METHOD, PROBLEM RESOLUTION AND ITS TRAINING IN ENGINEERING CAREERS

F. REPILADO<sup>†</sup>, M. FERNÁNDEZ, B. REY<sup>\*</sup> Y L. AMAYA

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente, Cuba; frepila@uo.edu.cu<sup>†</sup>.

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 30/10/2023; Aceptado 5/11/2023

Se sugiere una variante metodológica para desarrollar las clases de resolución de problemas de Física General en las carreras de ingeniería. Su idea básica es favorecer la comprensión y aplicación de la lógica del método científico desde la perspectiva del enfoque de G. Pólya para enfrentar y resolver esos problemas. A manera de ejemplo ilustrativo se muestra un problema de Mecánica resuelto a partir de esos criterios.

A methodological variant is suggested to develop General Physics problem solving classes in engineering careers. Its basic idea is to favor the understanding and application of the logic of the scientific method from the perspective of the G. Pólya approach to face and solve those problems. As an illustrative example, a Mechanics problem is solved using this criteria.

PACS: Physics education (educación en física), 01.40.-d.; teaching methods (métodos de enseñanza), 01.40.gb; Earth (Tierra), 91.10.Jf; Moon (Luna), 96.20.Dt.

### I. INTRODUCTION

A pesar de los ingentes esfuerzos por perfeccionar el proceso de enseñanza – aprendizaje (PEA) en la resolución de problemas de Física General en las carreras de Ingeniería en Cuba, aún persisten insuficiencias y falencias en la formación que dificultan superar el paradigma de la enseñanza “tradicional”. Éste se caracteriza por: (a) el profesor es el único agente generador de cultura, (b) la lógica de apropiación y aplicación del método científico tiene una presencia muy pálida o está ausente y (c) para el estudiante, resolver un problema de Física General es aplicar las fórmulas que su profesor le “enseña”.

M. Majmutov [1] plantea que el enfoque tradicional de enseñanza (a) no garantiza los intereses ni la independencia cognoscitiva del estudiante (b) no supera la gran dosis de dogmatismo que transmiten sus métodos didácticos y (c) no desarrolla en los estudiantes ideas creativas ni su formación en modelos, relaciones efectivas y afectivas e investigación entre la Física General y los problemas profesionales de las carreras.

Un enfoque más realista y desarrollador debería centrarse más en la preeminencia en el pensamiento y modo de actuación de los estudiantes de los rasgos más importantes de la lógica de apropiación y aplicación del método científico para enfrentar y solucionar disímiles situaciones y problemas ingenieriles.

Las clases prácticas de Mecánica en la Física I en las carreras de ingeniería, son terreno fértil para consolidar conocimientos, habilidades, métodos, procedimientos, etc. Por eso deben concebirse, organizarse y conducirse adecuadamente utilizando métodos productivos, donde predominen la intencionalidad, eficiencia y calidad del proceso, direccionadas a formar un profesional que no se

limite exclusivamente a acumular y aplicar “mecánicamente” el contenido aprendido en las aulas universitarias, sino, a que imagine, especule, teorice, razone e innove.

A pesar de existir innegables aportes del aprendizaje significativo y del pensamiento crítico [1–4], aún es posible perfeccionar más el PEA de la Física General Universitaria sistematizando la lógica de apropiación y aplicación del método científico en armonía con algunos enfoques modernos en la resolución de problemas.

La comprensión y aplicación coherente y consecuente de la lógica del método científico es el eje central en la resolución de problemas y debe entenderse como un gestor de conocimiento científico que usa en su base la medición y el criterio empírico así como, el sometimiento a las pruebas del razonamiento: una serie ordenada de procedimientos lógicos empleados para descubrir las relaciones internas y externas de los fenómenos y procesos. El método científico parece constituirse en la manera más segura y expedita de alcanzar la verdad. Algunas de las etapas trascendentes del método científico se reflejan en su lógica (a) Comienza por la observación activa (b) Construye un modelo interpretativo preliminar de los hechos observado y (c) Corrige –en un proceso recurrente– el modelo preliminar considerando las nuevas observaciones.

Como se ha dicho, persisten importantes falencias en la formación, localizadas, sobre todo, en el dominio de la lógica de apropiación y aplicación” del método científico para resolver problemas. Su aplicación –cuando se realiza– es fragmentada y asistemática e incide desfavorablemente en la formación de habilidades y hábitos en el pensamiento y modo de actuación de los estudiantes.

La mayoría de las publicaciones sobre el método científico consideran, en general, que el mismo se estructura sobre

ocho etapas: Observación, Inducción o preguntas, Hipótesis, Predicción, Experimentación, Antítesis o refutación, Tesis o teoría, Análisis y conclusión. Los autores reconocen la importancia y necesidad de ejecutar todas las etapas, pero resaltan aquellas que introducen elementos novedosos a la comprensión que habitualmente se tiene de las mismas.

**OBSERVACIÓN:** se concreta por la comprensión de: (a) los fenómenos presentes en los textos de los problemas (b) los datos e incógnita y (c) la descripción de la concepción y métodos de un experimento vinculado con el problema y sus resultados.

**INDUCCIÓN O PREGUNTAS:** Proceso de “afinamiento progresivo” de preguntas esenciales, donde se contrasta lo común y diferente del problema nuevo con problemas enfrentados y resueltos con anterioridad.

**EXPERIMENTACIÓN:** se intenta comprobar la hipótesis seleccionada mediante la reproducción del fenómeno en un ambiente controlado. En las clases de resolución de problemas de los llamados de “lápiz y papel” [5] se considera “experimentación” a la aplicación de la “ecuación de trabajo”, en otros contextos, reales o ideales, para comparar el resultado obtenido con aquellos valores que aparecen en tablas reconocidas.

**ANTÍTESIS O REFUTACIÓN:** se intenta refutar la hipótesis con ayuda de un contraejemplo experimental. Sirve como contraejemplo aplicar la hipótesis en una región nueva de fenómenos donde se valora su posible funcionamiento.

**TESIS O TEORÍA:** si no se logra refutar la hipótesis, ésta se transformará paulatinamente en regularidad, ley o teoría. Si se refuta, entonces, hay que mejorarla y comenzar de nuevo.

**ANÁLISIS Y CONCLUSIONES:** buscando incongruencias o contradicciones se efectúa un detallado análisis de la investigación realizada y sus resultados. Si éste es negativo, se presentan las conclusiones y los aspectos alcanzados como nuevo conocimiento científico.

Un criterio o enfoque docente de resolución de problemas cercano a la investigación científica y su método, lo ofreció G. Pólya.

G. Pólya (1887 -1985), en su libro “How to solve it” (“Como plantear y resolver problemas”) [6] asume que resolver un problema implica vencer las siguientes etapas (a) Comprender el problema, (b) Concebir un plan, (c) Ejecutar el plan y (d) Examinar la solución obtenida.

Lo que Pólya propone es básicamente un proceso de modelización, que, según Caselles, ... “es una ayuda al descubrimiento, a la creatividad, al diseño o la construcción de sistemas reales” [7] y ... “es esencialmente cíclico, es decir, que vuelve atrás para corregir resultados de etapas anteriores como consecuencia de etapas posteriores que conllevan contrastes con la realidad” [7]. Éste comienza con la comprensión multilateral del problema y culmina con el examen exhaustivo de la solución alcanzada.

En esencia, concebir, organizar y conducir el PEA con esos presupuestos brinda entrenamiento efectivo a los estudiantes

en el método científico para la resolución de problemas con ayuda de la teoría de los modelos mentales de Johnson – Laird [8] y el diálogo socrático, reconociendo que, con ello, se revelan las representaciones y modelos mentales de los estudiantes y sus falencias y errores en aquello que creían conocer muy bien, permitiendo su corrección [9].

G. Bachelard apuntaba: “Siempre me sorprendió el hecho de que los profesores de ciencias, más que los otros, no comprenden que no se pueda comprender. Pocos son aquellos que profundizan la psicología del error” [10].

El presente trabajo aborda la solución de un problema de Mecánica sobre el movimiento planetario y constituye el primero de una trilogía referida a la aplicación del método científico, inserto en el enfoque de Pólya, para la resolución de problemas de Mecánica, Electroestática y Teoría de Bohr del átomo de Hidrógeno.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

1. Programas de Física General
2. Textos de Física más usados
3. Análisis de la bibliografía científico – metodológica y filosófica sobre el método científico, los enfoques didácticos para la resolución de problemas, la construcción de modelos, etc.
4. Análisis de las deficiencias y falencias de los estudiantes en el aprendizaje

Los métodos empleados fueron:

5. Entrevistas a estudiantes y profesores
6. Controles a clases
7. Tribunales de examen oral
8. Experiencia docente de los autores en la concepción y desenvolvimiento del PEA de la Física

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*Ejemplo ilustrativo de aplicación del método científico en la solución de un problema de Mecánica usando el enfoque de Pólya.*

El objetivo de la resolución de este problema es mostrar las aristas básicas en el empleo del método científico en el marco del enfoque de Pólya de resolución de problemas, pero sin pretender constituirse en patrón para desarrollar la clase. El modo de desenvolverla queda a voluntad y propósito de los docentes. La propuesta apenas sugiere algunos aspectos que pudieran tratarse por el profesor en elaboración conjunta con los estudiantes, inicialmente de manera literal para incentivar su pensamiento científico, y posteriormente con valores numéricos como parte de la “experimentación”, apoyándose en preguntas “socráticas”.

EL PROBLEMA “Un planeta gira en torno a una estrella. Hallar el período  $T_p$  de su rotación”.

Este problema posee un carácter general (tipo problema abierto), requiriendo una modelización adecuada que permita su concreción. Las ideas esenciales que la soportan son dos:

a) Con el modelo primario como referente, despreciar aquello que resulte superfluo o secundario en el contexto de modelación de condiciones físicas básicas para alcanzar la solución más esencial, sencilla o “pura” posible.

b) Reincorporar paulatinamente y por etapas - siempre que sea posible y no se altere la aplicabilidad y comprensión del modelo - aquello que con anterioridad no fue considerado, con el propósito de que, al final, se logre una solución lo más próxima posible a la realidad. Un ejemplo sería el sistema cuerpo resorte, limitado primero a sus oscilaciones libres, incluyendo luego la fricción viscosa lineal y posteriormente una fuerza externa sinusoidal.

Es trascendente cuidar que la situación física presentada se perciba como un problema a resolver teniendo al modelo físico como guía.

#### IV. ETAPAS DE LA MODELIZACIÓN

##### *Entender el problema*

Una cuestión de interés es el uso inadecuado que se hace del aseguramiento del nivel de partida de la clase, reduciéndolo a un insustancial y extenso «recordatorio» de las fórmulas y los conceptos físicos a emplear; cuestión ésta, con la que no se coincide.

Desde la perspectiva de los autores esa opción exhibe como principales desventajas: (a) “contaminar” el pensamiento y modo de actuar de los estudiantes en la medida que inducen una manera única y ajena de utilizarlos, y (b) “desviar el foco de atención” del escaso tiempo disponible que debiera emplearse en la interpretación exhaustiva de la situación física presente en el problema, las condiciones físicas concretas involucradas, la selección de modelos físicos y su pertinencia; así como las probables vías de solución del mismo.

Tal vez sea interesante comenzar la actividad a partir de las siguientes preguntas:

- ¿Cómo Usted comprendió el problema?
- ¿Cómo Usted considera que se mueve el planeta y qué lo provoca?
- ¿Cómo enfrentaría la solución del problema?

##### *IV.1. Observación*

Se centrará en los datos y la incógnita, el estado y las condiciones; la interpretación o construcción de figuras, esquemas o gráficos y posible funcionamiento del proceso o fenómeno presente en el problema.

Extracción de datos

¿Cuáles son los datos explícitos del problema?

Se trata de un planeta, o sea, “cuerpo celeste opaco que solo brilla por la luz reflejada del sol, alrededor del cual describe su órbita más o menos circular o elíptica con un movimiento propio o periódico propio y periódico” [11].

Otras posibles magnitudes importantes implicadas, aunque no declaradas, son:

$m_p$ - masa del planeta.

$M_e$ - masa de la estrella

$R_o$ - radio de la órbita

G - Constante de gravitación universal

¿Cuál es la incógnita?

Período de rotación del planeta en torno a la estrella

##### *IV.2. Suposiciones preliminares*

Mediante la discusión y búsqueda de contradicciones, se puede llevar al estudiante a las siguientes suposiciones:

i. Ya que el planeta gira en torno a la estrella, constituye un sistema planetario. La estrella es el cuerpo central y el planeta, el satélite; además,  $M_e \gg m_p$ , luego, la estrella estaría en reposo durante la interacción mutua con el planeta

ii. En realidad, los planetas se mueven según órbitas elípticas (la estrella está situada en uno de sus focos y la excentricidad  $\epsilon < 1$ ), sin embargo, en la “práctica” ellas son circulares y  $\epsilon \cong 0$  y radio  $R_o =$  constante

iii. Se considera que actúa únicamente la fuerza gravitacional entre la estrella y el planeta, ignorando cualquier otra interacción, por ejemplo, con algún satélite del planeta

iv. La velocidad tangencial  $v_t =$  constante en todos los puntos de la órbita, por tanto, la aceleración tangencial será nula y aproximadamente el movimiento será circular uniforme.

##### **Concebir un plan I. Inducción o preguntas**

En el desarrollo de esta parte del problema podrían formularse, entre otras, las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las características esenciales del sistema físico supuesto?
- ¿Tendrá aceleración ese sistema?
- ¿Cuáles fenómenos o procesos están presentes?
- ¿Cuáles son las características básicas del movimiento circular uniforme?
- ¿Cómo Usted representaría en un esquema ese sistema físico?

Como norma, los planetas giran alrededor de un eje “fijo” en la estrella, pero también lo hacen respecto a un eje “fijo” en el propio planeta.

*Si el planeta gira según una órbita circular: ¿Por qué no “escapa” tangencialmente de la órbita ni cae sobre la estrella?*

Si por un instante se admitiera la idea de que existe un planeta estático, efectivamente, éste debería “caer” sobre la estrella debido a la interacción gravitatoria entre ambos. Si, por el

contrario, “no existiera” interacción gravitatoria, entonces, el planeta saldría expelido tangencialmente de la órbita. Sin embargo, el planeta gira y existe interacción gravitatoria con la estrella. Luego, ¿Qué es lo que sucede realmente?

Para poder explicar lo que sucede, es necesario consignar las características del movimiento circular.

¿Habrá aceleración  $\vec{a}_c$  en el movimiento circular?

Existe una componente de la aceleración, llamada *tangencial*, que es la componente tangencial de la derivada respecto al tiempo del módulo de la velocidad de la partícula igual a:

$$a_t = \frac{d|\vec{v}|}{dt} \quad (1)$$

y otra componente de la aceleración, llamada normal o *centrípeta*, dirigida hacia el centro del sistema e igual a:

$$|\vec{a}_c| = \frac{v^2}{R_0} \quad (2)$$

entonces, la aceleración para el movimiento circular será:

$$\vec{a}_c = a_t \vec{t} + a_n \vec{n} \quad (3)$$

donde  $\vec{t}$  y  $\vec{n}$  son los vectores unitarios tangenciales y normales a la trayectoria, respectivamente.

¿Habrá aceleración  $\vec{a}_c$  en el movimiento circular uniforme?

Para el movimiento circular uniforme:

$$a_t = 0 \quad (4)$$

y

$$a_n \neq 0 \quad (5)$$

luego

$$|\vec{a}_c| = a_n = \frac{v^2}{R_0} \quad (6)$$

Tarea: Investigue:

1. ¿Son posibles las situaciones físicas para el movimiento del planeta que se muestran abajo?

2. ¿Cuál “sería” el movimiento del planeta en cada una de ellas?

$$a_t \neq 0 \text{ y } a_n = 0$$

$$a_t \neq 0 \text{ y } a_n \neq 0$$

$$a_t = 0 \text{ y } a_n = 0$$

Justifique sus respuestas en base a las leyes correspondientes y ponga ejemplos que refuten o reafirmen la posibilidad de ocurrencia de estos casos.

El análisis exhaustivo de estas condiciones permitiría no sólo comprender mejor el significado de la aceleración en el movimiento, sino, además, clasificar los diferentes tipos de movimientos a partir del comportamiento de ese concepto.

Si apenas se prestara atención a la velocidad tangencial, en efecto, el planeta debería abandonar tangencialmente la órbita. Sin embargo, la presencia de la aceleración normal (centrípeta) hacen que la trayectoria del planeta se “rectifique” a cada instante; por eso, el planeta no abandona la órbita ni cae en la estrella. En esencia, la fuerza de interacción gravitatoria “se comporta” como la fuerza centrípeta. En resumen, en el movimiento circular uniforme el planeta se mueve con velocidad constante por una órbita circular y tendrá una aceleración normal dirigida al centro de la órbita.

En particular, el movimiento circular de los cuerpos celestes es similar al movimiento circular de una piedra que gira sujeta a una cuerda.

En función de lo expresado: ¿Qué plan concibe para resolver el problema?

¿Qué modelo físico – matemático emplearía en el problema que cumpla con las exigencias expuestas?

## V. MODELO FÍSICO - MATEMÁTICO

1. En un sistema planetario, en torno a una estrella gira el planeta según determinada órbita
2. La fuerza que se manifiesta en ese sistema es la fuerza de interacción gravitatoria que se comporta como la fuerza centrípeta
3. La fuerza neta que obra sobre el planeta se expresa como:

$$|\sum \vec{F}_n| = m_p a_n = m_p \frac{v^2}{R_0} \quad (7)$$

¿Cuál será la fuerza neta?

## VI. HIPÓTESIS

Si

$$\sum F_n = G \frac{m_p M_e}{R_0^2} \quad (8)$$

o sea,

$$G \frac{m_p M_e}{R_0^2} = m_p \frac{v^2}{R_0} \quad (9)$$

y, teniendo en cuenta que la velocidad lineal es:

$$v = \omega R_0 \quad (10)$$

Y la velocidad angular es:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_p} \quad (11)$$

entonces, es posible calcular el período de rotación del planeta en torno a la estrella,  $T_p$ .

En función de lo expresado: *¿Qué plan concibe para resolver el problema?*

El plan podría ser:

Despejar  $v^2$  de (9), o sea

$$v^2 = \frac{GM_e}{R_o} \quad (12)$$

y considerando, (10) y (11), entonces:

$$(\omega R_{oi})^2 = \frac{4\pi^2}{T_p^2} R_o^2 \quad (13)$$

$$T_p^2 = \frac{4\pi^2 R_o^3}{GM_e} \quad (14)$$

La ecuación (14) es la conocida tercera ley de Kepler, la cual afirma que ... "Los cuadrados de los períodos de revolución de los planetas alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de las distancias medias de los planetas al Sol (sistema planetario)" [12]

Finalmente, queda:

$$T_p = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_o^3}{GM_e}} \quad (15)$$

*Análisis dimensional*

$$[T_p] = \left[ \sqrt{\frac{L^3}{\frac{MLL^2}{T^2 M^2}}} \right] = \left[ \sqrt{T_t^2} \right] = T_t \quad (16)$$

Lo que implica que  $s = s$  y la expresión (15) es correcta dimensionalmente.

**PREDICCIONES:**

Posibles predicciones a considerar por sus implicaciones:

- De (15) se aprecia que  $T_p$  no depende de la masa del planeta, sino de la masa de la estrella y del radio de la órbita, es decir, si hipotéticamente en lugar del planeta se pusiera - en la misma órbita y con  $m_c \ll M_e$  - otro cuerpo celeste similar, su período de rotación sería el mismo
- Para órbitas muy alejadas de la estrella ( $\frac{R}{R_o} \gg 1$ ). As, de (15) se observa que  $T_p$  será muy grande y de (12) la velocidad más pequeña y viceversa
- De (12), como  $GM_e = \text{constante}$ , para un planeta dado,  $v$  es función de  $R_o$ , pues éste último determina a la rapidez

## VII. EXPERIMENTACIÓN

La experimentación se concibe concretando la "ecuación de trabajo" (15) con valores numéricos del sistema Sol -Tierra y comparando el resultado obtenido con el valor que aparece en los datos de tablas reconocidas internacionalmente.

## VIII. EJECUTAR EL PLAN

(12) El sistema planetario Sol (estrella) – Tierra (planeta) tiene como datos significativos:

$M_e$  masa del Sol =  $1.99 \cdot 10^{30}$  kg

$R_o = 150 \cdot 10^6$  km =  $1.50 \cdot 10^{11}$  m

$G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  ( $N \cdot m^2$ )(kg)<sup>2</sup>

De la ecuación (15) se obtiene:

$$T_p = \sqrt{\frac{4 \cdot (3.14)^2 (1.50 \cdot 10^{11})^3}{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 1.99 \cdot 10^{30}}} = 3.16 \cdot 10^7 \text{s} \quad (17)$$

## ANTÍTESIS O REFUTACIÓN

La hipótesis es válida para el sistema Tierra – Sol. *¿Será también válida para el sistema Luna - Tierra?*

Para comprobarlo, basta hallar  $T_L$  según la propia ecuación (15) pero con los datos correspondientes al nuevo sistema y compararlo con el valor numérico que ofrecen las tablas astronómicas.

## TESIS O TEORÍA

Una vez confirmada la hipótesis, es lícito inferir que las leyes de la Mecánica empleadas son aplicables no sólo a las relaciones Tierra – Sol y Tierra - Luna, sino a cualquier planeta del Sistema Solar y, probablemente, a otros sistemas con similares configuraciones.

## ANÁLISIS DEL RESULTADO

La coincidencia de los valores calculados según la ecuación (15) con los de las tablas astronómicas – en el orden de las centésimas de por ciento - es un resultado remarcable. No obstante, en la docencia esto no se puede reducir apenas a la coincidencia numérica: hay que profundizar en las posibles consecuencias que se deriven de la confrontación modelo físico – matemático vs. hipótesis seleccionados:

Hipótesis 1) *Se supuso que solamente actúa la fuerza gravitacional entre la estrella y el planeta y se ignoraron las fuerzas gravitacionales de otros cuerpos celestes.* Esta simplificación, al parecer, es algo excesiva ya que se están ignorando las perturbaciones de Marte, Venus, Júpiter, etc. *¿Se ha forzado la modelización para obtener resultados coincidentes? De ninguna manera. La modelización efectuada es bastante próxima a la realidad y la pequeña diferencia obtenida se justifica porque los valores despreciados son en realidad pequeños. Sería interesante calcular la influencia de la Luna y Júpiter sobre el período de rotación de la Tierra.*

Hipótesis 2) *La modelación, al pasar de órbitas elípticas (Sol en uno de los focos y excentricidad  $\epsilon < 1$ ) a circulares (excentricidad nula*

y  $R_o = \text{const.}$  en todos los puntos de la órbita) da la impresión que introduce una contradicción.

Esa supuesta contradicción es superable pues, para la órbita circular, el Sol se encontraría en el centro de dicha órbita de radio constante, cuyo diámetro sería aproximadamente igual al eje mayor de la elipse. De ahí que la diferencia en el comportamiento del sistema sería mínima.

Hipótesis 3) El movimiento del planeta se asume como circular uniforme, por tanto, su velocidad tangencial  $v_t = \text{const.}$  en la órbita.

Si  $v_t \neq \text{const.}$ , entonces, la aceleración normal sería diferente en cada punto, pero una velocidad constante en la órbita, en módulo, supone un movimiento circular uniforme.

## IX. CONCLUSIONES

La apropiación y aplicación de la lógica del método científico en las clases de resolución de problemas se erige como una de las vías más fértiles y expeditas para la formación y desarrollo del modo de pensar y actuar del ingeniero, por lo que debe sistematizarse significativamente.

El dominio de la lógica del método científico constituye un método efectivo no sólo para desempeño de los estudiantes en la disciplina Física General, sino, además, trasciende esa moldura para realizar el trabajo de Diploma, participar en tareas de investigación científica, e incluso, en su futura ejecutoria laboral.

El enfoque de G. Pólya para las clases de resolución de problemas de Física en las carreras de Ingeniería es una de las mejores herramientas para concebir, organizar y conducir la formación de habilidades para enfrentarlos y resolverlos. La teoría de los modelos mentales de Johnson – Laird, en estrecha comunión con la aplicación sistemática del diálogo socrático,

constituyen dos de los recursos didácticos más eficientes para consolidar la apropiación y aplicación de la lógica del método científico en la docencia.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia y los compañeros del Departamento de Física Aplicada de la U. Oriente por su apoyo y comprensión.

## REFERENCIAS

- [1] M. Majmutov, *La enseñanza problémica* (Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1983).
- [2] J. Piaget y otros, *Epistemología genética y equilibración* (Editorial Fundamentos, Madrid, España, 1980).
- [3] D. Ausubel, *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo* (Trillas, México, 1976).
- [4] A. Fisher, *Critical Thinking. An introduction* (University Press, Cambridge, 2001).
- [5] D. Gil, y otros, *Enseñanza de la Ciencia* **17**, 2 (1999).
- [6] G. Pólya, *¿Cómo plantear y resolver problemas?* (Editorial Trillas, México, 1965).
- [7] A. Caselles, *Modelización y simulación de sistemas complejos* (Universitat de València, España, 2008).
- [8] P. Johnson-Laird, *Mental models*, (Harvard University Press, Cambridge, 1983).
- [9] M. Fernández, F. Repilado, y Z. Pérez, *Rev. Cub. Fis.* **33**, 1 (2016).
- [10] G. Bachelard, *O racionalismo aplicado* (Editorial Zahar, Río de Janeiro, Brasil, 1977).
- [11] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua castellana* (Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, España, 2014).
- [12] B. M. Yavorski, y otros, *Fundamentos de Física* (Editorial MIR, Moscú, 1983).

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

