

## LA COMPRENSIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS EN ALUMNOS DEL BACHILLERATO

*Víctor M. Ponce\**

A fines de mayo de 1994, con la colaboración del profesor de física de una preparatoria incorporada a la Universidad de Guadalajara,<sup>1</sup> realizamos una pequeña indagación. En ella pretendíamos, entre otras cosas, verificar, al finalizar el curso introductorio de física, el grado de comprensión<sup>2</sup> de las nociones básicas del curso leyes del movimiento. Para ello se aplicó una prueba a aproximadamente doscientos alumnos, en los últimos días del curso escolar. Es importante señalar que esta prueba fue conducida por el que escribe, no por el profesor.

La prueba trató cuatro diferentes fenómenos físicos relativos al movimiento; después de la presentación del fenómeno, los alumnos, lo representaban gráficamente y posteriormente contestaban algunas preguntas. La prueba se iba contestando por tema o fenómeno, es decir, hasta que terminaban un tema o fenómeno, se pasaba al siguiente. El cuadro número uno muestra los fenómenos o temas y sus preguntas correspondientes.

Intencionalmente desechamos el examen de opciones porque consideramos que no era muy confiable para nuestros propósitos; queríamos conocer con la mayor naturalidad posible las nociones de los alumnos.<sup>3</sup>

---

\*Coordinador y maestro en la escuela José Guadalupe Zuno y Juan José Arreola, maestro de la Universidad de Guadalajara.

### Temas y preguntas abordados durante el examen aplicado

Fenómeno Físico	Preguntas
Se dejan caer dos esferas de un metro de altura, una de acero y la otra de plástico	¿Cuál cae primero?
Se deja caer una pelotita de goma	¿Qué ocurrió? ¿Por qué cae la pelotita? ¿Influye el peso en la velocidad de caída? ¿Por qué?
La pelota esta en reposo en el piso, recibe un pequeño impulso. Se mueve dos o tres metros, luego se detiene	¿Por qué se mueve la pelota? ¿Por qué se detiene?
Si arrojáramos la pelota en un espacio ideal carente de cualquier cuerpo cósmico...	¿Qué ocurrirá con la pelota? Tiene masa, peso, ambos o ninguna Enuncia la ley de la inercia ¿Qué relación tiene la ley de la inercia con los fenómenos observados?

Para ilustrar las ideas más sobresalientes de nuestros estudiantes, seleccionamos las respuestas a tres preguntas. Creemos que son lo más representativas de los descubrimientos obtenidos.

Fenómeno	Preguntas	Respuestas de más del 90% de los alumnos
La comparación de la caída libre de una esfera de plástico con otra de acero.	¿Cuál cae primero?	Cae primero la esfera de acero por su mayor peso.
Se le proporciona un pequeño impulso a la pelota, se mueve algunos dos metros y se detiene.	¿Por qué se detiene?	Porque se terminó la fuerza y por tanto la velocidad. Por que se terminó el impulso aplicado
Si arrojáramos la pelota en un espacio ideal carente de cualquier cuerpo cósmico: planeta, estrella, etcétera	¿Qué ocurriría con la pelota? ¿Cómo sería su movimiento?	El objeto arrojado al espacio se moverá por algunos momentos, mientras le dure la fuerza aplicada, después caerá. Se le acabaría la fuerza y luego se quedará flotando.

## ¿Qué descubrimos?

La mayoría de los alumnos acreditaron los exámenes formales, sin embargo, no sólo no habían comprendido realmente las nociones básicas del curso, sino que manifestaban graves errores en sus concepciones, respuestas erróneas y extrañas a los propósitos del curso.

Suponen que el peso influye en la caída de los objetos;<sup>4</sup> a pesar de que el libro de texto<sup>5</sup> afirma que es erróneo considerar el peso como variable en la caída libre. Ninguna de las fórmulas abordadas en el curso incluye el peso como variable en los fenómenos investigados; dichas fórmulas fueron utilizadas por alumnos para resolver correctamente los problemas de los exámenes que acreditaron.

La mayoría de los alumnos enunció correctamente la ley de la inercia todo objeto en movimiento tiende a conservarlo, a no ser que exista una fuerza contraria. Sin embargo, no fueron capaces de aplicarla en la prueba.<sup>6</sup> Esta podría ser una evidencia de que la memorización de conocimientos no necesariamente se identifica con la comprensión o el aprendizaje significativo de los mismos.

Los alumnos no consideraron en sus respuestas la fuerza de gravedad como la fuerza que se opone al movimiento del objeto impulsado -para el caso planteado en el cuadro dos, fila dos, también influye la fricción; además, predicen el movimiento de los objetos en función de la cantidad de la fuerza aplicada. Coinciden con la física del ímpetu, característica fundamental de la teoría física aristotélica o prenewtoniana, es decir, que el movimiento de los objetos estará determinado por la cantidad de fuerza aplicada al móvil; esta concepción no considera la noción gravitatoria que aparecerá hasta Newton.

De acuerdo con la concepción de Piaget-García,<sup>7</sup> nuestros alumnos del bachillerato coinciden con las creencias aristotélicas o prenewtoniana de la realidad física; utilizaron sus convicciones que coinciden con la física del ímpetu aristotélica, no la física de Newton, que debería haberse aprendido durante el curso. Para estos pensadores, Piaget-García, el desarrollo de los individuos -y la historia de las ciencias- pasan por etapas de menor a mayor equilibración cognitiva. La etapa anterior es superada por la nueva. En este sentido nuestros alumnos no han superado la concepción física aristotélica, errónea, ingenua; no han logrado el nuevo equilibrio del pensamiento físico representado por la física de Newton.

Otra forma de explicar lo ocurrido es utilizar la teoría del aprendizaje significativo<sup>8</sup> que afirmaría que las nociones físicas -científicas- fueron aprendidas de una manera no significativa, queremos decir con esto, que a estas nociones no les fueron asignados verdaderas significaciones por los alumnos; no se constituyeron en instrumentos de comprensión de la realidad. Los productos del aprendizaje no significativo tendría una sola utilidad: acreditar el curso.

Posteriormente hemos ido descubriendo que otros investigadores han llegado a las mismas conclusiones en investigaciones análogas. Por ejemplo, Pozo señala que diversos alumnos

A pesar de haber sido instruidos en física durante varios años, no llegaban a comprender conceptos como la inercia o el movimiento parabólico en la caída libre.

[...] Estos errores conceptuales se deberían a la existencia de fuertes concepciones espontáneas o teorías implícitas o erróneas sobre el movimiento de los objetos [...] diversos estudios coinciden en encontrar en los alumnos fuertes ideas, generalmente implícitas, sobre los fenómenos físicos, que suelen ser contrarias a los conceptos científicos que se les pretende transmitir.<sup>9</sup>

Por otro lado, Gardner<sup>10</sup> expone diversos casos similares, uno de ellos es el de Jane, estudiante del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), que fue investigado por Di Sessa; esta brillante alumna conocía todos los formalismos

Que se enseñan durante el primer año universitario de Física [...] sin embargo, cuando se le planteaban situaciones de juego computacional revelaba todo su aristotelismo empecinado.

Las predicciones de Jane, basadas en supuestos de la física prenewtoniana no coincidían con las predicciones de Newton. La explicación de Di Sessa refiere de la alumna investigada que:

Su física ingenua y la física que había aprendido en clase permanecían no relacionadas, y en este caso aplicaba la física ingenua.

En el alumno sobreviven dos entidades explicativas: la vulgar o errónea aprendida espontáneamente antes de la escuela y la científica expuesta por el maestro dentro del aula. Esta última no es verdaderamente aprendida o asimilada, sino retenida momentáneamente, mientras acredita las pruebas o evaluaciones formales. El alumno es capaz de memorizar las ecuaciones, definiciones y demostraciones físicas que se le pidan y puede incluso reproducirlas en los exámenes del propio profesor. Sin embargo, en otro contexto, no convencional, es decir, fuera de la relación formal con su profesor, el alumno recurrirá a sus más profundas convicciones inconscientes o implícitas. Como lo hemos afirmado, la única función social de estos nuevos conocimientos retenidos momentáneamente, sin la incorporación significativa a la memoria de largo plazo del alumno, es la simple acreditación de la asignatura.

### **Cómo aparecen las nociones físicas erróneas y cómo se superan**

Todas las personas construimos, durante el desarrollo de nuestras vidas, teorías o sistemas explicativos de la realidad. No en el sentido de sistemas consistentes y objetivos, sino en el sentido de estructuras o sistemas de nociones -correctas e incorrectas- explicativas y predictivas, útiles para enfrentarnos cotidianamente con la realidad física inmediata.

Esas concepciones espontáneas tienen su origen en la actividad cotidiana de las personas. Surgen en la interacción espontánea con el entorno cotidiano y viven, ante todo, para predecir la conducta de su entorno.<sup>11</sup>

Así como sobrevivimos con errores, tales como la expresión común de que el sol sale y se oculta, también podemos sobrevivir más o menos normalmente con errores o concepciones ingenuas de una física vulgar; como la convicción de que la velocidad en la caída libre de los objetos es directamente proporcional a su peso o

de que al cesar la fuerza debe necesariamente terminar el movimiento de los objetos.

Dichos esquemas explicativos pueden sobrevivir en la conciencia indefinidamente, hasta que se produzca un desequilibrio cognitivo, es decir, un cierto desajuste entre nuestros marcos de asimilación o explicación con algunos fenómenos de la realidad.<sup>12</sup>

Si se presentan las condiciones adecuadas, el sujeto podrá superar el desequilibrio mediante la construcción de esquemas explicativos o de asimilación superiores a los esquemas anteriores. A este proceso le denomina Piaget construcción de estructuras cognitivas o proceso de equilibración cognitiva, responsable de promover nuevos esquemas más acordes con la realidad aprendida. Estos nuevos esquemas permitirán asimilar mejor los fenómenos de la realidad a la estructura cognitiva del sujeto.

Hecht recoge en su obra una interesante observación de William James:

Cada individuo tiene un repertorio de ya viejas opiniones, pero se encuentra con una creencia que lo pone en tensión [...] Alguien lo contradice o [él mismo] descubre que sus creencias se contradicen [...] el resultado es una duda interior de la cual busca escapar modificando su conjunto previo de opiniones.<sup>13</sup>

Ese es precisamente el papel que le corresponde a la educación, particularmente a los profesores que pretendan enseñar el placer de pensar en la física: promover intencionadamente tensiones en los alumnos, como resultado de las contradicciones entre sus viejas opiniones con las creencias científicas y lograr la modificación del conjunto previo de opiniones. Esas diferencias o contradicciones entre sus concepciones erróneas y las verdades científicas deben hacerse evidentes al alumno como condición para la superación de las viejas opiniones equivocadas.

### **Hacia un modelo de clase o práctica**

Estoy de acuerdo con Gardner y con Pozo al afirmar que las ideas vulgares y erróneas, no son fáciles de erradicar, como lo señala el primero se ha comprobado que no se abandonan por simple exposición a los conceptos científicos correctos.

Cuando señalamos que el alumno debe superar las ideas erróneas de la física, no estamos hablando simplemente de sustituir mecánicamente las ideas erróneas por las ideas científicas, no se trata de reemplazar mecánicamente unas ideas por otras, sino de cierta conexión genética entre la teoría espontánea y la teoría científica que se pretende transmitir.

Es necesario enfrentar al alumno a situaciones conflictivas que supongan un reto para sus ideas [...] debe darse cuenta que su teoría previa no se cumple en ciertas condiciones.<sup>14</sup>

Deben hacerse explícitos sus supuestos erróneos para que pueda, conscientemente, modificarlos y sustituirlos por los supuestos de la ciencia. El alumno no cambiará una teoría por otra sino hasta que se encuentre con otra mejor que lo convenza verdaderamente.

Con el objeto de hacer posible la superación de esas concepciones erróneas, y a partir de algunas proposiciones de Pozo, sugiero un modelo de clase o práctica de laboratorio, que tendría las siguientes secuencias:

- Plantear un problema físico. Se pueden mostrar las condiciones de cierto problema, por ejemplo, la caída en un plano inclinado de objetos de diferente peso. Sin realizar el experimento.
- Pedir al alumno, que haga sus predicciones, es decir, que elabore suposiciones acerca de las posibles trayectorias que seguirán los objetos. Debe dibujar esquemas que representen esas predicciones.
- Pedirle que anote los supuestos en que basa sus predicciones.
- Promover la discusión en pequeños grupos acerca de sus predicciones y los supuestos que sustentan dichas predicciones. Aprendizaje cooperativo.
- Realizar la prueba o el experimento físico. Que el alumno anote claramente los resultados observados en el experimento.
- Pedirle que contraste sus predicciones y supuestos con los resultados del experimento.
- Que discuta en pequeños equipos lo ocurrido con el objeto de aclarar o redefinir los supuestos y predicciones iniciales.
- Que construya una teoría más acorde con los datos aportados por el experimento.

La intención de los primeros momentos consiste en explicitar las nociones erróneas, si es que las hay -en las predicciones y los supuestos falsos- de los propios alumnos; el trabajo de reflexión sería primero individual, luego por equipos. Las predicciones de las trayectorias de los objetos deben representarse a través de esquemas o dibujos. Los supuestos deben redactarse.

Sólo cuando se clarifiquen las predicciones y los supuestos que las sustentan, debe mostrarse el experimento. El experimento pretende mostrar los contrastes o las similitudes, entre las nociones previas contra las nociones científicas. Sin embargo, se requieren otros momentos de fuerte reflexión de los alumnos con el objeto de evidenciar los contrastes y el diseño de una teoría mejor del fenómeno experimentado.

En este proceso el grado y la calidad de la intervención del profesor dependerá de las condiciones específicas del grupo; de sus habilidades, como la habilidad para explicitar el propio pensamiento, la habilidad para interactuar en el trabajo de discusión grupal o la habilidad para generalizar explicaciones a partir de determinados hechos, etcétera. Es probable incluso que dichas habilidades no estén desarrolladas en los alumnos; mi postura en este sentido es que durante la clase dichas habilidades deben desarrollarse. Las habilidades de pensamiento no pueden quedar fuera del trabajo escolar, ni relegadas a una asignatura específica al margen del currículum -como una materia más; deben desarrollarse en todas las asignaturas.

## La comprensión<sup>15</sup> en la enseñanza de la física

Una reforma en la enseñanza de la física debe atravesar, además de lo expuesto, otras variables; ya que si dejáramos hasta aquí el asunto pudiera parecer que toda la educación la identificamos con la reestructuración cognitiva, y no es así; la educación debe considerar ese aspecto y otros aspectos más que también son relevantes.

- Pozo afirma que el aprendizaje puede seguir dos diferentes caminos, que coinciden además con las corrientes más sobresalientes de la psicología cognitiva contemporánea. La primera forma de aprendizaje consiste en la agregación o aumento de conocimientos o conceptos asimilados, sin conflicto cognitivo, mediante la incorporación de nuevos conocimientos a las estructuras previas o a la memoria de largo plazo, así es conceptualizado desde la propia perspectiva de este paradigma procesamiento de la información; y en segundo lugar, mediante la equilibración-reestructuración de las nociones erróneas versus las correctas.<sup>16</sup> Es importante señalarlo: no todo conocimiento se asimila por reestructuración, es decir, mediante la construcción de esquemas superiores en relación con los previos, producto de la superación del desequilibrio cognitivo, como podría proponerse desde una concepción centrada en la ortodoxia piagetiana. Algunos conocimientos - los físicos no son la excepción- se asimilan, sin conflicto, a esquemas previos compatibles.
- Si el profesor desconoce las construcciones previas, erróneas, de los fenómenos físicos que el alumno ha elaborado en su experiencia cotidiana, no tendrá otra opción que simplemente exponer las nociones ya construidas por la ciencia; y al alumno no le quedará otra opción que aprender por repetición, no por comprensión; dichos conocimientos efímeros, pronto se olvidarán, pues carecen de significado a la estructura cognitiva del sujeto. Entonces, la primer condición para la enseñanza constructivista es que el profesor debe de considerar los conocimientos previos de los contenidos que pretenda enseñar a sus alumnos.<sup>17</sup>
- En bastantes casos observados, en diversas preparatorias, la enseñanza de la física ha sido reducida a cierta álgebra; se ha privilegiado el aspecto cuantitativo, descuidando el lado cualitativo. Si el profesor pretende, por ejemplo, explicar los problemas de caída libre, anotará la fórmula en el pizarrón y resolverá un problema como modelo y pedirá a los alumnos que resuelvan otros. Todo lo anterior significa que la física así enseñada se caracteriza más por su naturaleza cuantitativa que cualitativa, álgebra en lugar de física. A lo sumo se trata de habilidades para la resolución de determinados problemas: identificar los datos e incógnita del problema con la fórmula que los contenga; despejar la fórmula- si es necesario; sustituir las variables por los valores de los datos dados en el problema; resolver las operaciones indicadas y anotar el resultado.
- Otro de los problemas en la enseñanza de la física lo apunta Halbwachs,<sup>18</sup> señala que la enseñanza de la física del profesor va dirigida a unos cuantos; a los alumnos que manifiestan una cierta intuición por la física, descuidando a

la mayoría de los estudiantes del grupo escolar que terminan por odiar la materia. Halbwachs reconoce que: Si queremos que la enseñanza de la física tenga un mínimo de eficacia, es preciso explorar y conocer esa estructura de recepción [del alumno] tal y como es, no como se ha querido construir. Sugiere que la física enseñada por el profesor debe situarse entre la física del físico y la física del alumno.

- La enseñanza debe distinguir claramente dos situaciones diferentes y necesarias: lo cualitativo o comprensivo, es decir, la comprensión de las nociones y las relaciones entre éstas para la construcción de marcos o teorías explicativos o esquemas de conocimientos;<sup>19</sup> en segundo lugar, lo cuantitativo o procedual, es decir, la aplicación de las nociones y sus relaciones formales, cuantitativas para la resolución de problemas físicos. Estos dos tipos de habilidades de pensamiento aplicadas al aprendizaje de la física, es decir, la comprensión de las nociones o lo declarativo y el de la adquisición de estrategias y habilidades proceduales para la resolución de problemas se ilustran con bastante claridad en diferentes textos como en la obra de Robert Marzano<sup>20</sup> o en Mayer.<sup>21</sup>

### **Ideas para la reflexión y debate**

Finalmente se exponen dos temas con la intención de proponer un debate que por supuesto que enriquezca y proporcione luz a los temas en cuestión.

El primero es una propuesta para eliminar el tema de los vectores y algunos otros recursos matemáticos, del curso del programa introductorio de física que impiden, por el tiempo invertido para ello, el abordaje serio de una física comprensiva.

Sostengo que la teoría vectorial es un modelo o herramienta matemática de la física contemporánea. No fue utilizada para el análisis del movimiento en la teoría clásica del movimiento. La teoría vectorial es un instrumento muy eficaz que permite mostrar el comportamiento multifactorial de los fenómenos físicos; es una herramienta poderosa de la física actual para analizar los componentes de diversos fenómenos físicos como fuerzas, cargas o movimientos.

Es más exacta a la realidad la noción multifactorial que proporciona la teoría vectorial, que la noción simplista de causa-efecto. La resultante es el producto del análisis de ese conjunto de fuerzas. En este sentido, efectivamente la teoría vectorial está más cercana a la física del físico. Ciertamente, pero más alejada al desarrollo del alumno. Estoy de acuerdo con Halbwachs, no es posible convertir a alumnos novatos en físicos expertos en los cursos introductorios de la física del bachillerato. Debe trasladarse la teoría vectorial a cursos avanzados, física II o III. Por otro lado, no es correcto pretender un repaso de los recursos matemáticos útiles para la física, como la aritmética, el álgebra y la trigonometría, en sólo un mes o mes y medio. Sabemos que la saturación de información en la memoria de trabajo impide su incorporación a la memoria de largo plazo.<sup>22</sup> Los recursos matemáticos necesarios para la física deben impartirse en el propio curso de matemáticas; sólo una vez que sean abordados oportunamente en ese espacio curricular deberán considerarse para el curso de física. El tiempo ahorrado debe destinarse efectivamente a comprender significativamente la física clásica del movimiento.

Dos textos de la física giran en la dirección apuntada, el primero Física en perspectiva de Hech<sup>23</sup> utiliza espacios sustanciosos para explicar el origen de las nociones erróneas, su superación y la promoción de las nociones científicas. Como afirma el autor una introducción a la física que apenas hace uso de las matemáticas para aquellos que todavía no saben mucho del tema. El otro texto lo están trabajando en algunos cursos introductorios a la física de algunas carreras del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara; texto parecido al de Hecht, es el Física Conceptual. Dice el autor de esta obra que:

La naturaleza tiene más significado para los que entienden sus reglas que para los que [no por ello la física] se presenta en forma conceptual más que en forma matemática. Comenzaremos por la comprensión y si más tarde tienes que hacer cálculos será con entendimiento.<sup>24</sup>

El segundo tema sugiere una hipótesis: es muy probable que lo que pasa en física pasa en otras o en todas partes.

Esta pequeña indagación nos muestra las dificultades en la enseñanza de la comprensión de las nociones físicas. Sin embargo, estamos seguros de que podríamos descubrir también graves dificultades en la comprensión de las otras ciencias y no sólo en la enseñanza de la física. Gardner<sup>25</sup> aporta algunas ideas; dice por ejemplo que en la matemática se observan aprendizajes de algoritmos rígidos, es decir, la memorización de procedimientos matemáticos, pero sin la comprensión suficiente -sobre todo de las reglas de transformación del algoritmo- ni la flexibilidad del pensamiento que permita su aplicación a diferentes contextos de resolución de problemas.

Lo hemos constatado repetidamente en estudiantes del primer semestre de la preparatoria; manifiestan graves dificultades en la resolución de problemas aritméticos. En la mayoría de los casos sus limitaciones no se manifiestan en el dominio de las operaciones aritméticas básicas, sino en la selección y la aplicación de la operación o el método aritmético correcto para la resolución de problemas. En verdad conocen, o logran dominar durante el curso, los algoritmos aritméticos; lo que muchos no logran dominar es su uso o aplicación flexible e inteligente.<sup>26</sup>

Por otro lado, también reconocemos dificultades y resistencias en los estudiantes para abandonar las concepciones superficiales, las creencias y actitudes maniqueas en el aprendizaje de las ciencias sociales; por ejemplo la creencia de que la historia de México está constituida sólo por la participación de héroes -absolutamente perfectos- versus villanos -totalmente desalmados- o las explicaciones superficiales e ingenuas de cualquiera de las etapas fundamentales de nuestra historia nacional. Me cuestiona la afirmación de Gardner y otros investigadores acerca de que la enseñanza de las ciencias sociales se ha caracterizado por la simple memorización de conceptos aislados, superficiales y vacíos de contenidos significativos para los alumnos. Por supuesto, estos problemas no son los únicos cuellos de botella de la educación, existen muchos otros, como la lectura de comprensión -no reducido a la lectura de textos literarios, sino de cualquier ciencia - o la capacidad para expresar con claridad lo que se piensa, sea verbal o escrito, etcétera.

Estas ideas son apenas indicios para la realización de otras indagaciones necesarias, para conocer mejor los procesos y los productos de nuestras acciones pedagógicas en las otras asignaturas. Considero urgente el diseño de diagnósticos bien elaborados que podamos aplicar antes y después de los cursos o de determinados ciclos de enseñanza, con el objeto de conocer objetivamente el grado de progreso que realmente han logrado nuestros estudiantes; sin estos diagnósticos estamos viviendo en supuestos, entre la fantasía y la realidad. Esos diagnósticos nos podrían servir para conservar, corregir o diseñar nuevas estrategias de enseñanza cada vez más eficaces.

Me pregunto ¿Cuánto comprenden realmente nuestros alumnos de las ciencias que les enseñamos? ¿Cómo podemos verificar si verdaderamente logramos modificaciones sustanciales en la comprensión o en el uso pertinente de los conocimientos que supuestamente enseñamos? ¿Cuánto de lo que les enseñamos simplemente memorizan sin comprender y olvidan inmediatamente después de nuestros exámenes? ¿Qué debemos hacer para obtener comprensiones más significativas en los contenidos que enseñamos?

## Notas

1. Preparatoria J. Guadalupe Zuno Hernández. La investigación se realizó dentro del curso de física del plan de estudios anterior; después de la reforma, el programa no ha sufrido modificaciones fuera del ámbito de este ensayo, es decir, lo que se dice en este documento se aplica a las condiciones de los programas vigentes de las preparatorias de la Universidad de Guadalajara.

2. Para Perkins, la comprensión no es algo que se da o no se da, es abierta y gradual, de ahí que anote grado de comprensión.

. Perkins, David. *La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*, Gedisa, Barcelona, España, 1995.

3. El autor sugiere que las respuestas de opciones aunque fáciles de calificar, dificultan verificar la comprensión de los conocimientos.

. Gardner, Howard. "La mente no escolarizada. Cómo piensan los niños y cómo deberían enseñar las escuelas", *Temas de educación*, Paidós, Barcelona, 1993.

4. Ver la primer fila del cuadro anterior.

5. Beiser, Arthur. *Física aplicada*, segunda edición, Mc.Graw Hill, México, 1991.

6. Vea la segunda y tercer fila del cuadro anterior. La pelota que recibe un pequeño impulso, se mueve algunos metros, luego se detiene; además el movimiento ideal de la pelota en el espacio exterior.

7. Piaget, J., García, R. *Psicogénesis e Historia de la ciencia*. Siglo XXI, México, 1982.

8. Ausubel D., Novak, J., Hanesian, H. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*, Trillas, México, 1976.

En esta obra se expone la Teoría del Aprendizaje Significativo. César Coll dice que esta teoría es uno de los componentes mas importantes de las teorías actuales del aprendizaje y la educación. . Coll, César. "Psicología y currículum", *Cuadernos de pedagogía* Paidós, México, 1995.

9. Pozo, M., Juan Ignacio. *Teorías cognoscitivas del aprendizaje*, Morata, Madrid, 1989.

10. Gardner, Howard. Op.cit.
11. Pozo, op.cit.
12. Piaget, Jean. *La equilibración de las estructuras cognitivas. Problemas central del desarrollo*, Siglo XXI, México, 1978.
13. Hecht, Eugene. *Física en perspectiva*. Addison-Wesley Iberoamericana, Delaware, EUA, 1987.
14. Pozo, op.cit.
15. Perkins, David. *La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*, Gedisa, Barcelona, España, 1995.
16. Op. cit. Pozo realiza una exposición seria y consistente que pretende conciliar los dos modelos teóricos o paradigmas dominantes en la psicología cognitiva actual: la escuela anglosajona: neosociacionismo o procesamiento de información y la escuela con mayor desarrollo en europa, la psicogenética o constructivismo.
17. Coll, op. cit.
18. Halbwachs, Francis. "La física del profesor, entre la física del físico y la física del alumno", *Revista Francesa de Pedagogía*, 1975. Reproducida por el ISIDEM, Antología de lecturas de Pedagogía operatoria.
19. Bruer T. John. "Escuelas para pensar. Una ciencia de aprendizaje en el aula". *Temas de educación* Paidos. Ministerio de Educación y Ciencia. Barcelona, España, 1995.
20. Marzano, Robert. *Dimensiones del aprendizaje*. ITESO, Guadalajara, México, 1992.
21. Mayer, R.E. *Pensamiento, Resolución de problemas y Cognición*. Paidos, Barcelona, 1986.
22. De Vega, Manuel. *Introducción a la psicología cognitiva*. Alianza Editorial Mexicana, México, 1992.
23. Hecht, op. Cit.
24. Hewittt, G. Paul. *Física Conceptual*, Addison Wesley.
25. Gardner, op.cit.
26. Una de las preguntas que formulamos en actividades específicas de aprendizaje para promover intencionalmente insights es ¿Cuál de los métodos u operaciones que has aprendido debes aplicar para la solución del problema en cuestión?