

## **El Problema de Aplicación como instrumento de Aprendizaje Operativo de Física Basica**

LEONOR C. DE CUDMANI, SILVIA R. DE LOZANO, ANA M. F. DE LEWIN

Instituto de *Física*, Facultad de *Ciencias Exactas y Tecnología*, Universidad Nacional de Tucuman

Recebido em 22 de Janeiro de 1980

An analysis of the importance of Application level and of the more obvious errors that can be made when exercising or evaluating it has been made. The genuine Application resulting from the internalization of operative schemes is distinguished from the irreflective habits when concrete problematic situations are solved. The operative learning characteristics are analysed and according to them patterns to elaborate or select material in order to prevent the already mentioned disadvantages are proposed. Concrete examples are given for Basic Physics.

Uma análise da importância do nível de Aplicação e dos erros mais óbvios que podem ser feitos quando de sua utilização ou avaliação foi feita. A genuína Aplicação resultante da internalização dos esquemas operativos é distinguida dos hábitos irrefletidos quando situações problemáticas concretas são resolvidas. As características operativas de aprendizagem são analisadas e de acordo com elas, são propostas padrões para elaborar ou selecionar material afim de evitar as desvantagens já mencionadas. Damos exemplos concretos no caso da Física Básica.

### **1. INTRODUCCION**

En la práctica educativa corriente, aparecen normalmente en lugar destacado y de gran relevancia los objetivos de conducta en el nivel de *Aplicación*, como núcleo de gran importancia en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Análizada la práctica educativa a la luz de las escalas taxo-

nómicas de objetivos cognoscitivos de Bloom<sup>1</sup>, se parte de los niveles más elementales de conocimiento (en un sentido restringido) y se extiende hasta los muy complejos de *evaluación* y *síntesis*. En ese proceso el nivel de *Aplicación* tiene, por diversas razones, características muy significativas que lo hacen especialmente válido.

Hemos adoptado la taxonomía de Bloom y colaboradores en razón de ser la más conocida y usada por los educadores de nuestro medio. Sin embargo, cabe destacar aquí que no creemos que la jerarquización de niveles de aprendizaje de Bloom sea incompatible con las taxonomías de Nedelsky<sup>3,4</sup>, de Lafourcade<sup>5</sup> y otras<sup>6</sup>, o con el modelo de adquisición de conocimiento propuesto por Piaget<sup>7,8,9,10</sup>.

Las aparentes discrepancias surgen en todo caso, de las dificultades para definir operacionalmente conceptos como *conocer*, *comprender*, *saber*,... usados por los diferentes autores, lo que hace que el mismo término tenga significados no equivalentes en las distintas concepciones. Así por ejemplo, *comprender* significa para Bloom sólo una de las primeras etapas del proceso de aprendizaje mientras que para Piaget<sup>8</sup> es el proceso cognoscitivo completo.

En los párrafos siguientes trataremos de explicitar y ejemplificar las conductas esperadas en el nivel *Aplicación* a fin de subsanar estos inconvenientes de naturaleza semántica.

Las referencias bibliográficas 1 y 2 dan amplia información acerca de la escala taxonómica usada en el presente trabajo.

En el plano concreto, un estudio de los trabajos habituales propuestos a los estudiantes o de los ejemplos y problemas que la mayoría de los textos proponen para la elaboración de los contenidos desarrollados en cada capítulo, permite concluir que, en general, éstos se ubican en el nivel que nos ocupa. (Ver Ap.1). El problema de *aplicación* o por lo menos lo que se entiende como tal, es el eje de la *ejercitación* y de la *evaluación*. Y en no pocos casos es el nivel que determina el éxito o el fracaso del estudiante frente a una promoción.

Esta preponderancia de la *aplicación* no obedece de ningún modo a actitudes caprichosas. En efecto, encontramos por una parte que, si

este grado de dominio se alcanzó sólidamente, es decir, si lo que se desarrolló o midió fue *auténtica aplicación* de modo tal que implique la superación de las categorías taxonómicas previas: *conocimiento, comprensión, interpretación, traducción, etc.* parecería que en esta etapa (la de *aplicación*), el aprendizaje ha adquirido cierta estabilidad. Las nuevas nociones han llegado a un grado más o menos aceptable de interiorización e integración en la mente del que aprende, de modo que el cambio de conducta adquiere una cierta permanencia en la estructura cognoscitiva.

Por otra parte, en este nivel el conocimiento adquirido comienza a ser útil para resolver situaciones, para calcular y predecir.

En la medida en que los estudiantes pueden aplicar sus conocimientos en circunstancias distintas a la de su aprendizaje, comienza la *transferencia* de lo aprendido. Y esta transferencia es fuertemente valorizada en general por docentes y estudiantes, por cuanto implica la posibilidad de resolver situaciones concretas lo que muestra la utilidad de lo aprendido. Esta valoración afianza cambios de conducta en el dominio afectivo. Se favorece la generación de actitudes positivas y la internalización de modo tal que la respuesta del que aprende gana mucho en autonomía. Este cambio afectivo resulta más difícil de lograr con los niveles más bajos del dominio cognoscitivo.

Pero, sin dejar de apreciar las razones que justifican el papel preponderante que juega la aplicación en el proceso, cabe señalar que encierra, para docentes y estudiantes, un grave peligro. En efecto, tanto en la etapa de la ejercitación como en la de la evaluación, el problema de *aplicación*, a diferencia de los que apuntan a otros niveles taxonómicos, pueden ser y de hecho lo es a menudo, elaborado como un mero mecanismo, como un ejercicio que no *favorece*, que no *ejercita*, que no *evalúa* un aprendizaje auténtico sino la simple incorporación de hábitos *no reflexivos*.

Por otro lado, el sacrificio de las categorías superiores (*análisis, síntesis, evaluación*), sólo puede justificarse en circunstancias especiales cuando las metas generales a las que se dirige el proceso, así lo requieren. Valgan a modo de ejemplo situaciones como las que siguen: cuando la meta es la preparación de un *técnico* de mantenimiento es posible que en muchos campos de la Física sea suficiente alcanzar el nivel

de Aplicación, campos que deberán ser elaborados hasta los más altos niveles cuando se trata de Formar un *investigador* o un *ingeniero* de desarrollo. Hay contenidos, sin embargo, en los cuales los niveles más altos no pueden sacrificarse en ningún caso, por cuanto ellos constituyen el punto de partida para el aprendizaje de contenidos más complejos. En este trabajo nos proponemos analizar las bondades y peligros que se han señalado y elaborar algunos criterios generales que ayuden a planificar con más eficiencia la enseñanza en este nivel.

Es importante señalar que el encuadre general de este trabajo se refiere a observaciones y experiencias en la enseñanza de Física Básica en los primeros cursos para alumnos de Ingenierías y Licenciatura en Física y Matemáticas.

Estos cursos comprenden los temas: Mecánica, Calor y termodinámica, Electromagnetismo y Óptica en niveles introductorios tales como los que encaran las obras citadas en las referencias bibliográficas 14 a 24.

## 2. EL NIVEL DE APLICACIÓN

Trataremos de *primer término*, de explicitar las conductas del estudiante que se pueden considerar como indicios de que el nivel *aplicación* se ha logrado.

De acuerdo con el modelo taxonómico de Bloom<sup>1,2</sup>, se entenderá por *aplicación* conductas que muestran la capacidad y habilidad adquiridas para encarar situaciones particulares concretas, seleccionando y usando correctamente las abstracciones correspondientes. Pero, para que la *aplicación* sea auténtica, estas situaciones deben ser *nuevas* en el sentido que se presentan por primera vez al estudiante.

Puesto que la *aplicación* es una clase de una taxonomía, lo cual implica un *ordenamiento jerárquico*, se exige que previamente se hayan adquirido capacidades y habilidades que la preceden en la clasificación. Así *aplicar* implica *conocer* y *comprender*. Ambos conceptos deben entenderse en este trabajo tal como los defines el modelo: *conocimiento* como

capacidad de *evocar* ( y nada más) hechos, métodos, teorías, en el momento apropiado. *Comprensión*, en un sentido restringido que sólo representa la *intelección* del mensaje contenido en una comunicación (*traducción, interpretación*), sin que necesariamente se lo relacione con otros conocimientos o sin que se perciba la totalidad de sus implicaciones.

La *comprensión* así entendida no corresponde al uso que del término se hace en otras taxonomías de objetivos o estudios del proceso de aprendizaje, como vimos en el párrafo 1.

En estudios realizados por Piaget<sup>7,8</sup> donde se analiza el proceso genético de la *comprensión* en niños de hasta 12 años, el término *comprensión* se usa en un sentido más amplio. Involucra por lo menos lo que en este trabajo consideramos como conductas del nivel *aplicación* y aún, en algunos ejemplos más complejos de *análisis* y *síntesis*. En los casos analizados en dichas obras se considera que se ha llegado a la *comprensión* del fenómeno cuando el niño es capaz de planificar conscientemente por anticipado sus acciones y prever adecuadamente las reacciones del objeto, a fin de tener éxito en la solución de un problema. Así cuando se analiza la última fase del proceso se expresa " *en esta fase... la concepción precede a la acción; no mas planos restrictos y provisionarios que serán revisados y ajustados durante la ejecución, sino una programación de conjunto*". Se refiere a ... "*las analogías y diferencias entre conseguir como resultado de saber hacer y comprender que es propio de la concepción; que ésta suceda a la acción o al contrario que la preceda y oriente*"<sup>11</sup>.

En cambio la *comprensión*, tal como se entiende en la taxonomía de Bloom, no pasaría más allá de la *toma de conciencia* según Piaget, que mostraría la capacidad del sujeto para *interpretar y traducir* correctamente en palabras el fenómeno en cuestión pero sin capacidad para *reestructurar* la situación y enfrentar *cambios* o *modificaciones* de la misma.

Así aclarados los significados que a *comprender* y *aplicar* daremos en lo sucesivo, interesa remarcar las diferencias entre las conductas que manifiesta un sujeto que *conoce* y *comprende* de aquél que *aplica* una abstracción.

En el primer caso, el sujeto será capaz de usar correctamente

una abstracción determinada cuando así se le solicite explícitamente: "*use tal ley o principio para calcular tal o cual magnitud*". Demostrará de este modo que *puede* usarla pero no que la usará por sí mismo cuando una situación lo requiera. En el nivel de *aplicación*, en cambio, el sujeto recurrirá a la abstracción correcta para encarar el problema concreto al que se enfrenta, sin necesidad de tales indicaciones expresas.

Frente a un problema que la situación de aprendizaje o de evaluación plantea, el estudiante debe comenzar por reestructurarlo a fin de darle una forma o un contexto similar a los que conoce en función de las ideas y métodos que espera le serán útiles para resolverlo, y recién entonces usará correctamente estas ideas y métodos para encontrar la respuesta buscada. Para lograrlo deberá analizar entre otras cosas cuáles son las magnitudes pertinentes, si las conoce a todas o no, si el caso en cuestión se encuadra dentro de los límites de validez de la abstracción que va a usar. Y finalmente deberá demostrar que es capaz de *operar* correctamente con los datos y abstracciones seleccionados.

Tanto los docentes como los estudiantes (y con más frecuencia éstos últimos) generalmente aceptan que, si un conocimiento ha sido adquirido y comprendido, su aplicación se dará sin dificultad.

La experiencia docente, confirmada además con estudios efectuados sobre el particular por algunos investigadores muestra que esto no es necesariamente cierto. (Ver apéndice 2).

Una buena *comprensión* de las abstracciones que se usarán es una condición necesaria pero no, en general, suficiente para alcanzar la solución buscada. El estudiante necesita, además, practicar y ejercitarse ante problemas concretos para aprender a reorganizar, a referirlos a estructuras conceptuales conocidas y a usar correctamente esas estructuras.

Para lograr estos propósitos no sólo se deberá dominarlos grados taxonómicos previos: la situación de aprendizaje debe permitir que el estudiante enfrente personalmente el problema y lo reestructure de acuerdo a su propia internalización de las ideas en juego. Por ello, no será suficiente que el docente *desarrolle ejemplos* o dicte *clases de resolución de problemas* donde dé su propia elaboración de la situación concreta. Esas prácticas podrán ser útiles como una primera instancia en la

elaboración del nivel pero no son suficientes. Aún cuando el estudiante haya comprendido perfectamente cómo se llegó a esas soluciones, ésto no garantiza que él sea capaz luego de una *aplicación autónoma*. Es más, se corre el riesgo que el estudiante suponga que porque comprendió, ha aprendido a resolver problemas.

Las formas de salvar las dificultades inherentes a la adquisición de esta *habilidad para aplicar*, son intransferibles y cada estudiante deberá salvarlas por sí mismo, con una práctica suficientemente intensa. Aristóteles dió a la plena capacidad de ejercer esta habilidad el nombre de *sabiduría práctica* y la consideró, "*una habilidad proveniente de la experiencia y más o menos incapaz de ser enseñada o formulada*"; ésto no debe interpretarse en el sentido de que esa capacidad no pueda ser aprendida y adquirida por un individuo, al verse enfrentado con situaciones que se lo exigen. Justamente, es labor docente muy compleja y difícil la de elaborar y crear situaciones de aprendizaje que permitan a los estudiantes alcanzar estos objetivos.

Todo lo que precede se ha estado refiriendo a la *auténtica habilidad de aplicar*, pues, como se verá más adelante, suele ser muy frecuente que ejercicios o situaciones planificadas para este nivel, se puedan encarar y *resolver con hábitos automáticos no reflexivos* que, por supuesto, no implican de ningún modo ni el conocimiento ni la comprensión del tema. A este problema se refiere el parágrafo que sigue.

### **3. HABITOS Y AUTOMATISMOS EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS DE APLICACIÓN**

Se ha hecho referencia en trabajos anteriores<sup>2</sup> a la diferencia entre aprendizaje auténtico y adquisición de hábitos automáticos e automatismos. Resulta de interés reelaborar y ampliar estas ideas en relación con el problema que aquí se plantea.

Una de las teorías más aceptadas sobre la psicología de la inteligencia considera el pensamiento como constituido por operaciones<sup>10-12</sup> que proceden de la interiorización de acciones efectivas, "*la operación es acción interna, y por ello se impone la continuidad que Ziga la operación a la acción verdadera, fuente y medio de la inteligencia*"<sup>10</sup>.

De tal modo, el pensamiento aparece como una forma de acción que integra sistemas estructurales con otras acciones interiorizadas, constituyendo un conjunto organizado de operaciones lógicas, físicas, numéricas.... Así como el niño frente a un objeto desconocido lo mueve, lo huele, lo prueba, lo golpea, tratando de conocerlo, el adulto analiza, compara, sintetiza, relaciona, mide... *opera* con el contenido que busca aprender y como resultado, adquiere sistemas organizados de operaciones: *sus esquemas de asimilación*. Estos esquemas una vez adquiridos se aplicarán a nuevos contenidos, los que a su vez podrán requerir la incorporación de nuevas operaciones que enriquecen los esquemas de asimilación. Cuánto más ricos sean estos agrupamientos mayor será la capacidad del individuo de elaborar un nuevo contenido.

En este trabajo adoptaremos estas ideas sobre la estructura de la inteligencia por las siguientes razones:

a) *Se adapta* particularmente bien a la Física Experimental. Es posible que este modelo, aplicado a otros ámbitos del conocimiento del hombre, no se ajuste convenientemente por ser excesivamente *cientificista*, con fuerte predominio de los aspectos cognoscitivos de las ciencias fácticas. Sin embargo, es probable que responda bastante bien a una ciencia que hace gala de la *operatividad* de sus definiciones.

b) *Se ajusta* bien al modelo usado para estructurar los objetivos cognoscitivos. Los distintos niveles *taxonómicos* de objetivos de conductas son operaciones organizadas en estructuras cada vez más complejas (*agrupamientos*, según el modelo). Ellos explicitan las etapas más importantes en el proceso de adquirir un conocimiento.

c) *Concuerda* con las metodologías que muestran ser las más efectivas para lograr el aprendizaje de la Física. La *técnica del redescubrimiento*, el aprender investigando, son formas operativas de elaborar los contenidos.

En las obras citadas en referencias bibliográficas<sup>7-8</sup> se analiza a través de una serie de situaciones concretas cómo el niño puede obtener éxitos precoces en la consecución de determinados objetivos, sin comprender para nada el proceso de interacción entre él y el objeto. En etapas sucesivas de maduración se van elaborando por un lado las operaciones necesarias en el sujeto y por el otro las leyes físicas que rigen



el comportamiento del objeto. Inicialmente, si bien el objetivo es alcanzado, se trata de un proceso *erreflexivo*, *automático* y meramente *imitativo*.

En lo que concierne a este trabajo, es importante destacar que la mera obtención del éxito en la acción no proporciona información sobre el proceso mediante el cual se lo alcanzó. En las experiencias relatadas por Piaget<sup>7-8</sup> los sujetos se someten a exhaustivos interrogatorios a fin de poder investigar el grado de elaboración reflexiva del suceso. Situaciones análogas, aunque en otros niveles se presentan a menudo frente al estudiante que resuelve un problema de *aplicación* en Física.

Con el objeto de mostrar mejor las características del aprendizaje operativo, las analizaremos en comparación con la adquisición de hábitos más o menos automáticos, incorporados a través de procesos no reflexivos, que con bastante frecuencia reemplazan al primero.

Cualquier docente o estudiante sabe, que en Física, con la mera memorización de definiciones, reglas, fórmulas o principios no se llega lejos en la solución del más simple de los problemas de *aplicación*. Pero, si bien es cierto que este caso límite se presenta pocas veces y se detecta con facilidad, con mucha frecuencia se encuentran casos de comprensión parcial, en los cuales los hábitos automáticos juegan un papel más importante que lo deseable, con el agravante que es más difícil de diferenciar del auténtico aprendizaje operativo. Se crea así un grave problema docente que irradia con gran intensidad, justamente en el nivel de *aplicación*. Insistiremos sobre esto con más detalles y ejemplos en el párrafo 4 de este trabajo.

Es característica fundamental del pensamiento operativo la de seguir, para la interiorización de una abstracción, un camino que es *flexible* y *reversible*. Cuando una operación ha sido internalizada, lo ha sido también su operación inversa. Esta operación inversa no es una nueva operación, la inteligencia puede recorrer el camino de ida y vuelta sin que se modifiquen las ideas implicadas.

El *hábito*, por el contrario, es un estereotipo, es *irreversible*. Adquirir el *hábito inverso* es adquirir un *hábito nuevo*.

Esta movilidad de la operación frente a la rigidez del hábito es consecuencia del hecho de que las operaciones no permanecen aisladas sino que se coordinan continuamente entre sí, *integrando sistemas de conjunto: los agrupamientos*, que se enriquecen continuamente con nuevas operaciones e interrelaciones.

Gracias a esta coordinación, la inteligencia puede recorrer diferentes caminos para llegar a idénticos resultados. Si algún elemento es alterado o modificado, el sistema puede proporcionar caminos alternativos para alcanzar la solución, puede fácilmente *cerrar la brecha*.

Por oposición, los hábitos son conductas relativamente aisladas. A lo sumo uno o más hábitos pueden asociarse entre sí; pero de ningún modo podrán tener las características de *inversión, agrupamiento, asociación y organización* de las operaciones.

De acuerdo con este esquema es fácil ver cuánto más difícil resulta retener en la memoria conjuntos de hábitos que sistemas de operaciones. El hábito no puede ser reconstruido en forma racional, la operación en cambio, como se ha integrado a un sistema de conjunto, podrá reconstruirse a partir de ese sistema.

Por otra parte, y a diferencia de los hábitos, los agrupamientos permiten comprender y encarar situaciones problemáticas sin necesidad de que se proporcionen *signos* o *señales* específicos que desencadenen el automatismo tal como ocurre en los hábitos. Si la *señal* o *clave* no se da explícitamente, no se sabe a qué hábito recurrir y resulta imposible encarar las soluciones.

Así por ejemplo, el estudiante será capaz de resolver un determinado problema si se le da información adicional: *a qué capítulo* del texto pertenece, o si lleva un título que le permita *encasillarlo*. Ambos datos actúan como *claves* desencadenantes del hábito, como *detonadores*.

Por contrapartida, si la palabra clave aparece en la enunciación de otro problema, se da una solución estereotipada que no tiene en general nada que ver con el problema en cuestión. Por ejemplo, en el uso de índices sobre escalas se colocan espejos para corregir errores de paralaje. El estudiante puede incorporar en forma automática, *sin com-*

preñión alguna, la correlación entre *error de paralaje - escala con espejo*. Cuanao en otro trabajo se le pregunta cómo corregiría el paralaje en un antecjo (microscopio, espectroscopio, etc.) responde, . . . *con un espejo*. Sin duda los profesores con experiencia recordarán, ante este ejemplo, múltiples jocosas situaciones de este tipo. Pero lo grave reside en que no siempre la falla se detecta tan fácilmente: qué hubiera ocurrido en efecto, si la pregunta hubiera estado referida a un caso donde el espejo era la solución correcta?.

Se verán más ejemplos concretos en la enseñanza de la Física que puedan ilustrar mejor la diferencia entre hábito y operación.

Una forma de aprendizaje muy frecuente y por cierto nefasta entre los estudiantes, es la de reducirlo a la memorización de fórmulas vinculadas con fenómenos, o conjuntos de fenómenos objeto de estudio, con alguna limitada comprensión del significado físico de cada símbolo. No se trata para nada de comprender las estructuras conceptuales sobre las que se arma la interpretación del o los fenómenos.

El análisis de las estructuras subyacentes en cualquier tema de Física muestra dos aspectos fundamentales: una estructura conceptual que está dada por definiciones, leyes, principios y teorías que constituyen las abstracciones sobre las cuales se elabora el conocimiento, y una estructura sintáctica integrada por las formas o modos como se elaboran esos conceptos, los criterios y métodos mediante los cuales se convalidan las relaciones entre ellos: en una palabra lo que podríamos llamar *la metodología de la ciencia* en cuestión<sup>13</sup>.

Ambas estructuras conceptuales y metodológicas son, en Física, eminentemente *operativas*. Sin embargo, durante el aprendizaje, generalmente no hay comprensión y reflexión suficiente sobre los elementos fundamentales de estas estructuras y los procesos que las han generado, sustituyéndolas por la mera asimilación de los productos terminados y sintetizados en una relación matemática.

Por ello, a menudo todo se centra en recordar series (ni siquiera sistemas) de relaciones matemáticas que ligan símbolos cuyos significado sólo se comprende parcialmente y frente a un problema concreto ... se busca la *formula mágica* que permitirá hallar una respuesta. Lo ma-

lo es que a veces ésta es la correcta. El *producto* es bueno pero el *proceso* no.

Concretando, por ejemplo, ante el problema de un cuerpo que cae en la superficie de la Tierra, se colecciona una serie de expresiones matemáticas: la que da la *velocidad final*, la que da *el tiempo*, la que da la *velocidad inicial*, y muchas más. Si para cada tipo de movimiento se preparan otras colecciones análogas, se termina con un catálogo impresionante de fórmulas que convierten la resolución de un problema concreto en la refinada tortura que significa elegir sin ningún criterio valioso, las expresiones matemáticas adecuadas al problema.

Todo el panorama se modifica, sin embargo, cuando los conceptos básicos de "*desplazamiento*", "*trayectorias*", "*velocidad*" y "*aceleración*", así como las operaciones matemáticas elementales necesarias para traducir y elaborar las relaciones entre ellos, se han incorporado racionalmente, no como hábitos rígidos, separados, irreversibles, sino como un conjunto de *operaciones lógicas, físicas, matemáticas* que se agrupan, se asocian y se interrelacionan entre sí, para dar, a partir de unas pocas ideas fundamentales, todas las variantes y relaciones particulares que permitan encarar cada nueva situación de *aplicación*.

Quizás se comprenda por qué se da con tanta frecuencia esta deformación en el aprendizaje si se tiene en cuenta que, tomado en forma aislada, resulta a menudo más fácil *adquirir* un hábito que *integrar* una operación.

De ese modo si los contenidos se subdividen en múltiples pequeños compartimientos estancos, tanto para enseñarlos como para evaluarlos, la incorporación de estos hábitos con *comprensión* y *reflexión* limitadas se logra con facilidad y en menos tiempo.

El aprendizaje en forma *operativa*, en cambio, es más lento y más difícil. Hay que detenerse a *comprender, traducir, relacionar, comparar, analizar* cada nueva noción en función de los grupos ya asimilados.

Eso lleva tiempo y esfuerzo. Pero a medida que el complejo se enriquece, parte de la tarea ya está hecha y resulta cada vez más simple y más efectiva la incorporación de nuevos elementos.

El primer proceso es sólo *acumulativo*, cada noción implica un nuevo comienzo. El segundo proceso es de *integración*, de real crecimiento.

Conviene en este punto hacer una importante distinción. En todo lo que antecede se hace referencial al *hábito estereotipado*, adquirido en forma más o menos automática, que *reemplaza* a la interiorización de una *operación*. No se trata en cambio, del hábito que se genera *después* de la integración reflexiva de las ideas y como consecuencia del uso frecuente y repetido del conocimiento en cuestión.

Si se considera el hábito como respuesta más o menos permanente e idéntica a un determinado estímulo, se encuentra que la respuesta puede ser mecánica, automática, impuesta desde afuera como pauta rígida de conducta; o puede ser la respuesta, también automática e inmediata pero elaborada luego que la nueva noción ha sido procesada e integrada por la inteligencia. Cuando el lazo entre estímulo y respuesta se ha repetido muchas veces, el proceso se hace *habitual*, en el sentido que la respuesta sigue, sin reflexión, al estímulo. Estos hábitos, incorporados operativamente, son la base del quehacer cotidiano del individuo. No sería posible avanzar eficientemente en el aprendizaje si fuera necesario reelaborar una noción cada vez que se la necesite. Pero si por diversos motivos esa reelaboración fuera necesaria, como por ejemplo para refrescar ideas poco usadas, para incorporar nuevos elementos, para relacionar operaciones o contenidas entre sí, esa reelaboración podrá efectuarse sin mayores problemas, reproduciendo el proceso reflexivo que le dió origen.

En el ejemplo muy simple referido a cuerpos que caen, si el alumno aprendió las leyes de la caída libre como hábito no reflexivo, con comprensión parcial de la simbología pero sin interpretación de la situación física a la que se refieren, el problema del  *tiro*  significará para él la adquisición de nuevos hábitos, de nuevas fórmulas. Si en cambio las nociones se adquirieron operativamente sólo habrá que incluir una variante en el complejo ya asimilado: la introducción de una *velocidad inicial distinta de cero*, operación simple que se integrará fácilmente al esquema conocido.

Estas consideraciones respecto a la forma automática o refle-

xiva de adquirir conductas habituales, permiten establecer algunas relaciones importantes con el problema de la permanencia en la memoria de los conocimientos aprendidos.

Cuando el hábito aparece como consecuencia del uso frecuente de conocimientos integrados operativamente su memorización se da por sí misma. No *precede* al uso y a la aplicación de los conocimientos sino que es su *consecuencia*. A la inversa de la práctica usual de memorizar conceptos y metodologías para usarlas, es el *uso frecuente* de éstos el que llevará a fijarlos en la memoria.

Después de estas digresiones acerca de las dos formas de adquirir hábitos, volveremos a analizar la diferencia entre hábito y operación, a través de problemas concretos que la ejemplifiquen.

Hay múltiples situaciones educativas que ponen de manifiesto estas diferencias. Se verá en primer término el aspecto aludido de la necesidad de una *señal* o *palabra clave* para que se produzca la respuesta, en el caso de mal aprendizaje. Resulta interesante el siguiente ejemplo: es común que se planteen problemas de movimientos de cuerpos que caen por planos inclinados, donde se obtienen soluciones con mucha mayor sencillez y corrección si se los elabora a partir de consideraciones energéticas. Sin embargo, como muchas veces aparecen palabras tales como *velocidad*, *trayectoria*, *aceleración* que son desencadenantes de hábitos incorporados en el dominio de la *Dinámica* o la *Cinemática*, el estudiante recurrirá sin vacilar a las relaciones que aprendió bajo esos rótulos y deberá vencer grandes dificultades para lograr la solución buscada.

En efecto, los hábitos relativos al aprendizaje de la *Dinámica* se han incorporado sin conexión alguna con los desarrollados en el estudio del tema *trabajo y energía*. El estudiante aplicará unos u otros según ciertas claves como *trabajo*, *energía cinética* en un caso, o *velocidad* *aceleración* en otros, se lo sugirieran. No hay para que hablar del caso en que ninguna de estas palabras aparezcan y el problema se plantee por ejemplo en términos de *gasto de combustible*, o de *dimensionamiento de la trayectoria* que un móvil debe seguir, etc.

En ocasiones, la *señal* no es una palabra sino por ejemplo el

título del tema o del capítulo en donde se tratan los conceptos que debe usar. Así encasillado, el estudiante tiene la pista para buscar la solución. Pero al desprenderlo de este contexto no le será posible localizar, dentro de la multiplicidad de hábitos independientes que ha incorporado en su estudio de la disciplina, cuáles son las abstracciones que le permitirán alcanzar la solución, ni cómo adecuarlas a la situación particular.

Con respecto a la característica de irreversibilidad del hábito, se pone de manifiesto cuando el estudiante debe encarar la solución de un problema que implique el proceso inverso al de un hábito ya adquirido. Por ejemplo en el caso de un estudiante que ha aprendido cómo semi- de con un calibre con vernier, siguiendo una serie de *recetas* no reflexivas, sin comprensión del modo en que el instrumento opera, es decir, sin *abstraer* el principio de funcionamiento del conjunto de reglas de la receta (*operaciones fundamentales*). Entonces no podrá, o lo hará con mucha dificultad, transferir el hábito a otro instrumento similar con algunas características diferentes, por ejemplo la escala circular convertible de un goniómetro, o la escala de un barómetro. Le resulta imposible incorporar al estereotipo aprendido operaciones parciales y reestructurar el complejo principal para adecuarlas a la nueva situación, pero menos aún podrá diseñar el vernier que necesita para una situación que requiera características diferentes, por ejemplo de precisión o sensibilidad.

La operación inversa: dado un cierto problema de medición *diseñar o elegir* el instrumento más adecuado, es un problema *nuevo y diferente*. Si por el contrario, las operaciones fundamentales se han adquirido como tales, el estudiante podrá reestructurar estas nociones recorriendo diferentes trayectos en el conjunto de interrelaciones *para buscar* la respuesta correcta. El problema podrá resultar más o menos complicado, pero no se sentirá desarmado frente a él sin ninguna posibilidad de encararlo con éxito, como ocurriría en el otro caso.

Como ya dijimos, este *falso* aprendizaje es particularmente peligroso en el dominio taxonómico de *aplicación*, pues es donde con más facilidad puede confundirse con el aprendizaje *operativo*. Veremos más adelante que con frecuencia los ejercicios o problemas preparados para este

nivel se pueden resolver con un aprendizaje con fuerte componente de hábitos no reflexivos y resulta a menudo muy difícil de detectar.

El panoramâ es más simple cuando la situación de aprendizaje es un *trabajo de laboratorio* donde el estudiante se enfrenta a una situación real que le da acceso más directo a la información pertinente para resolver su problema. Sin embargo, en la mayoría de los cursos básicos universitarios y secundarios con gran número de alumnos, pocas horas asignadas a la disciplina y pobres infraestructuras de laboratorio, el problema de *lápiz y papel* reemplaza a menudo al trabajo práctico de laboratorio.

Sin embargo, el valor de tales experiencias de laboratorio es tan grande, que aún en situaciones adversas esta forma de aprendizaje debe incentivarse.

#### **4. ALGUNAS IDEAS Y PAUTAS GENERALES PARA ELABORAR Y/O SELECCIONAR EJERCICIOS Y PROBLEMAS DE APLICACION**

En los párrafos anteriores hemos tratado de dejar en claro dos aspectos fundamentales relacionados con la *APLICACION*:

1?) La *importancia excepcional* que adquiere el nivel taxonómico de Aplicación en la práctica educativa y el por qué de ese relevante papel.

2?) Los *inconvenientes y riesgos* que encierra su ejercitación, medición y evaluación, a causa de las dificultades para diferenciar conductas de auténtica *Aplicación*, entendidas como esquemas de asimilación integrados operativamente, de aquellas que traducen, en mayor o menor grado, la incorporación de *hábitos automáticos irreflexivos*.

Insistiendo con ejemplos concretos que ponen de manifiesto estos aspectos, se ve que con frecuencia los docentes comprueban que los estudiantes encaran con éxito problemas planeados para el nivel *Aplicación* usando relaciones matemáticas adecuadas, y obtienen res-



puestas numéricas correctas. En cambio si sobre los mismos temas se les plantean preguntas conceptuales que apuntan a la *comprensión* e *interpretación* de las abstracciones, su fracaso es total.

Para ilustrar lo que antecede se presenta el ejemplo siguiente:

### Enunciado 1

Se suspende una masa de 500 gr. de un resorte, cuya constante es  $k = 1,0 \text{ Kg/cm}$ . Se puede aplicar al sistema una fuerza senoidal de amplitud  $F_0 = 2,0 \text{ N}$ . y frecuencia  $f$ . El sistema está en un liquido cuyo coeficiente de viscosidad es  $\eta = 1,0 \text{ cp}$ .

a) De cuáles de los parámetros del sistema ( $m$ ,  $K$ ,  $\eta$ ) depende:

- 1) La frecuencia de oscilación de la masa en el liquido, cuando no está aplicada la fuerza exterior.
- 2) La frecuencia de oscilación forzada.
- 3) La frecuencia de oscilación libre.
- 4) La amplitud de la oscilación en el liquido, sin fuerza exterior.

b) Para que el sistema esté en resonancia, cuánto debería valer la frecuencia de la fuerza aplicada? Cuánto valdría la amplitud de la oscilación en este caso?.

Al analizar las respuestas de los estudiantes, encontramos que más del 50% resolvía correctamente la parte b), que intentaba medir *Aplicación*, pero mostraba grandes erros y confusiones en sus respuestas a los items de la parte a), que sólo apuntaban a medir conductas de *traducción* e *interpretación*.

Estos resultados no reflejan una falla de la taxonomía; sin duda, la capacidad de aplicar *reflexiva* y *racionalmente* un conocimiento a una situación particular no puede lograrse con éxito si no se han *comprendido* e *interpretado* los elementos conceptuales, las leyes y los modelos que se deben utilizar. Lo que en realidad ocurre es que el estudiante resolvió el problema en base a hábitos más o menos automáticos, sin que hubiera una auténtica *Aplicación*.

En el caso presentado como ejemplo, el alumno tomó la parte a) simplemente como *detonador*, de modo que en b) puso usar las relaciones matemáticas que correspondían al tema y reemplazó los datos numéricos del enunciado sin tener muy en claro lo que tales relaciones matemáticas significan.

Esta realidad se presenta con una fuerte incidencia en la *Aplicación*, porque tanto en los niveles más bajos (comprensión, interpretación, traducción) como en los superiores (análisis, síntesis, evaluación) resulta mucho más difícil encarar preguntas y situaciones problemáticas en función de conductas habituales no operativas.

Pero el ejemplo no se agota en este aspecto. Otra forma de presentar el enunciado sería:

### **Enunciado 2**

*Se suspende una masa de 500 gr. de un resorte cuya constante  $k$  es de 1,0 Kg/cm. Se puede aplicar al sistema una fuerza:*

$$F = 2,0 \text{ N sen } (6,28 \cdot 30 \frac{t}{\text{s}})$$

*El sistema está sumergido en agua.*

a) *De cuáles de los parámetros del sistema ( $m$ ,  $K$ ,  $\eta$ ) depende:*

- 1) La frecuencia de oscilación de la masa en el líquido, cuando no está aplicada la fuerza exterior.*
- 2) La frecuencia de oscilación forzada.*
- 3) La frecuencia de oscilación libre.*
- 4) La amplitud de oscilación en el líquido sin fuerza exterior.*

b) *Qué frecuencia debiera tener la fuerza aplicada para que la transferencia de energía de la fuerza exterior al sistema fuera máxima?. Cuánto valdría entonces la amplitud de la oscilación?.*

En este caso, el porcentaje de errores y confusiones se eleva considerablemente.

La diferencia entre ambos enunciados es poco significativa :

en el segundo enunciado los valores de  $F_0$  y  $f$  no están dados directamente sino a través de la ecuación para  $F$ ; falta el valor numérico de la viscosidad del medio que se reemplaza por la especificación de dicho medio: agua; la palabra *resonancia* se ha reemplazado por *condición de máxima transferencia de energía*.

Cuando el estudiante aprendió *operativamente*, el hecho de adecuar sus respuestas a esta nueva forma no genera mayores dificultades, son traducciones u operaciones incorporadas en el agrupamiento de operaciones. Para aquel que sólo incorporó *hábitos* le resulta imposible o muy difícil dar la solución correcta sin la palabra detonadora: *resonancia*, o efectuar la operación inversa: de la expresión para  $F$  identificar  $f$  y  $F_0$ , o para adecuarse a la falta o exceso de datos explícitos.

Se pone así de manifiesto que este segundo enunciado resulta mucho más eficaz que el anterior por cuanto permite corregir y detectar el *falso* aprendizaje.

A continuación concretaremos algunos criterios que sugerimos tener presentes cuando se elabore o seleccione un ejercicio de *Aplicación*, así como cuando se evalúen las soluciones propuestas por los estudiantes.

A este respecto es importante destacar que, si bien el docente planea un ejercicio para un determinado nivel de elaboración, en general parte de un supuesto comportamiento medio esperado. Sin embargo, cuando el problema es de respuesta abierta (y en el nivel *Aplicación* generalmente lo es) puede ocurrir que las respuestas se encuadren en niveles diferentes. A veces, el grado de elaboración y la riqueza de las interrelaciones que el estudiante explicita, excede el marco de la solución esperada, y por consiguiente un problema planteado como de *Aplicación*, resulta encarado en niveles de *análisis*, *síntesis* o *evaluación*.<sup>2</sup> Por contrapartida, la respuesta puede ser tan pobre que no supera la *comprensión* del contenido en cuestión.

Lo que interesa es que los conceptos y abstracciones sean usados correctamente para llegar a la solución y no que se use los que el docente espera. Por lo tanto no corresponde aceptar una única res-

puesta correcta, la esperada, que el estudiante debe *adivinar* para ser bien calificado. Cuando el docente procede de este modo, en favorece la aparición de actitudes negativas en el estudiante: frena su actitud crítica frente al problema, lo empuja a buscar señales o claves de lo que el profesor espera que conteste; en síntesis, le dificulta la adquisición de autonomía en el uso de sus conocimientos. Es necesario evaluar objetivamente la solución que el estudiante presenta, para poder, a partir de ella, planificar eficientemente el curso futuro del proceso enseñanza-aprendizaje. En ocasiones, será necesario volver sobre los mismos objetivos, y en otras, se tendrá un buen punto de partida para la enseñanza de nuevos conocimientos.

Debemos puntualizar que para poder realizar con acierto la tarea de elaborar y/o seleccionar ejercicios de *Aplicación* es fundamental que el docente tenga en cuenta la *historia* del proceso de aprendizaje de los estudiantes. Un problema determinado puede servir para ejercitar ese nivel de *Aplicación* en ciertas circunstancias, pero si el alumno ya ha visto algo similar, el mismo problema sólo servirá para medir *conocimiento* o bien como estímulo para reforzar una respuesta satisfactoria ya obtenida.

Cómo se verá a continuación, muchos de los criterios que sugerimos dependerán de cómo se desarrollaron las etapas previas de la enseñanza.

Los criterios que proponemos a continuación han surgido de la experiencia adquirida en clases teórico-prácticas y de laboratorio de Física Básica para cursos de elevado número (500 - 800) de alumnos de Ingenierías, Física y Matemáticas.

Como ya dijimos, la clasificación de un ejercicio en el nivel *Aplicación* depende de la situación *particular* de aprendizaje del concepto cuyo dominio se intenta lograr. Por tal razón en los casos en que lo consideramos necesario, se describe brevemente la situación de aprendizaje antes de proponer un ejemplo concreto.

## CRITERIOS CONCRETOS PARA LA ELABORACION Y/O SELECCION DE EJERCICIOS DE APLICACION

### 4.1. Requerimiento de dominio de niveles taxonómicos más bajos

Es conveniente que la *enunciación del problema* permita al estudiante demostrar explícitamente que al encararlo es capaz de *comprender e interpretar* la situación física con que se encuentra. Un modo simple es la de incluir preguntas dirigidas concretamente a estos niveles taxonómicos más bajos, o bien presentar los datos de manera que el estudiante deba *interpretarlos* o *traducirlos antes* de poder aplicar formas estereotipadas de solución como sería reemplazar casi mecánicamente datos numéricos en una expresión matemática. De este modo, si estas conductas previas de los primeros niveles no son elaborados correctamente, aún cuando las de nivel de aplicación sean resueltas, se pondrá en evidencia que no se ha logrado un buen *aprendizaje operativo*.

#### Ejemplo 1

Un problema que se plantea comúnmente en los cursos básicos de Física Experimental es del tipo siguiente:

*Un cilindro conductor de radio  $R=2$  cm. lleva una carga de  $+2,0 \times 10^{-8}$  Coulombios.*

*a) Calcule el potencial en un punto a la distancia  $r_1 = 2,5$  cm.  $r_2 = 1,5$  cm. del eje del cilindro (suponga al cilindro muy largo)*

Se hizo el ensayo de incorporar algunas preguntas previas tales como:

*b) Depende el potencial en un punto de la zona que rodea al cilindro:*

- 1) de la carga de prueba que se coloca en dicho punto?*
- 2) de las coordenadas del punto?*
- 3) del tiempo?*

*c) Qué importancia tiene para la solución de su problema el que se pueda suponer que el cilindro es muy largo?.*

El ejemplo elaborado en clase fue referido a dos esferas concéntricas.

Del total de estudiantes que contestaron correctamente a la pregunta a); un 50% falló en sus respuestas a la parte b), y el 30% no fue capaz de responder correctamente a c).

(El número de alumnos tomado para el ensayo fue de 150).

El apartado (a) del problema es del nivel *Aplicación* pero el estudiante puede encarar la solución con elementos que incluyen una fuerte componente de hábitos no reflexivos, sobre todo si antes vió ejemplos de cálculo de potencial para otras distribuciones simétricas de carga. El apartado (b) en cambio, que sólo mide *comprensión* no puede ser resuelto de este modo; lo mismo puede decirse de (c).

Por otra parte, y como ventaja adicional, ensayos de este tipo en los diferentes temas, fueron muy positivos para poner en evidencia las principales fuentes de confusión y dificultades en el aprendizaje de los mismos, permitiendo a los docentes ajustar las técnicas de enseñanza para corregirlas.

#### Ejemplo 1.-2.-

*En los Laboratorios los estudiantes determinaron la capacidad de un condensador usando un galvanómetro balístico para medir la carga total  $Q$ , en una rápida descarga del condensador previamente cargado con una diferencia de potencial  $V$ . Aplicaron así: la relación:*

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Ka}{V} \text{ con } K = \text{constante del galvanómetro y} \\ a = \text{deflexión del haz luminoso en la escala.}$$

Quando a estos mismos estudiantes se les preguntó si  $C$  variaría en caso que se tomara un galvanómetro con  $K$  mayor, un alto porcentaje respondió afirmativamente. Estas respuestas muestran que el análisis de la situación se basó en una interpretación no *reflexiva* de la relación matemática usada, incorporada como hábito: *si  $K$  crece,  $C$  debe crecer*. El concepto mismo no había sido comprendido a pesar que se manejaron símbolos e instrumental y se obtuvo un resultado correcto de la capacidad.

## 4.2. La situación física debe ser nueva

El problema deberá enfrentar al estudiante con una *situación nueva*, de modo que ella debe ser *reestructurada* para darle una forma conocida antes de encarar su solución.

Si la situación es demasiado parecida a otras cuyas soluciones ya se conocen, el estudiante, podrá encararla con meras relaciones analógicas, sin *reflexión* ni *elaboración operativa*.

La práctica corriente del problema *tipo* (no confundir con el problema *ejemplo*) está en contraposición con este criterio. Se dan, en clases o en la bibliografía, problemas resueltos a modo de ejemplos y luego para la ejercitación personal del estudiante se toman problemas que reproducen la misma situación física u otra similar.

No objetamos la conveniencia de enseñar al estudiante en alguna etapa del proceso cómo se deben encarar y resolver los problemas de aplicación (problema ejemplo); lo que se objeta es que luego el estudiante trabaje sobre la misma situación con variaciones poco significativas.

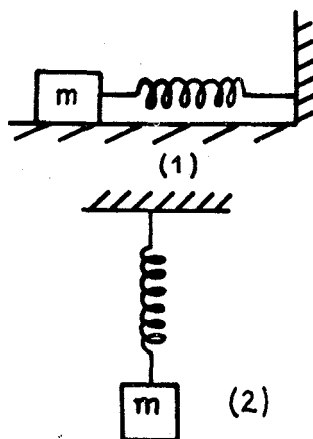
### Ejemplo 2.-1 .-

*En el primer ejemplo del ítem (I/, si en clase se desarrolló el problema genérico del potencial de un cilindro y luego se toma como ejercicio de aplicación el citado ejemplo, el estudiante sólo deberá comprender y traducir correctamente las relaciones matemáticas y no habrá auténtica Aplicación.*

*Si por el contrario, los problemas ejemplos se refirieron a situaciones físicas diferentes, como podría ser una distribución de cargas puntuales o un plano homogéneamente cargado, el estudiante deberá elaborar el nuevo planteo para poder encarar con éxito la solución.*

### Ejemplo 2.-2.-

*Se toma como ejemplo en clase un sistema masa-resorte como muestra la figura (1) para estudiar la ley de fuerzas a que está sometido.*



tido y los movimientos que realiza bajo la acción de esas fuerzas. Si para la aplicación se toma la misma situación física variando sólo los parámetros o las incógnitas, se podrá medir y ejercitar conductas de comprensión, información o traducción, pero no se alcanzará el nivel de Aplicación.

Si en cambio se propone para el sistema una situación como la de la figura (2) en la que la masa se mueve en la vertical, el estudiante deberá reestructurarla para adecuar a este caso las abstracciones que aprendió a aplicar en el ejemplo desarrollado en clase.

#### 4.3. Inclusión de datos prescindibles, implícitos y cualitativos

Generalmente en los enunciados de problemas de Aplicación se dan sólo aquellos datos que son imprescindibles para resolverlos. Se hace así una preselección de las magnitudes relevantes, de modo que, por un lado se facilita el enfoque *irreflexivo* y *automático* del problema, y por otro se acostumbra al estudiante a situaciones muy artificiales que *no reflejan* problemas físicos reales.

Se da a continuación un ejemplo concreto de un problema clásico de este tipo:

*Un automóvil mediano (1000 Kg. de peso) marcha a 70 Km./h. en la tercera marcha y desarrolla una potencia de 80 HP en una carretera horizontal. Qué pendiente tiene la cuesta si la sube con una ve-*



lccidad de 40 Km/h en la misma marcha (tercera)? (Suponga que la fuerza de roce en la subida es  $\frac{2}{5}$  de la fuerza de roce en el tramo horizontal).

A fin de salvar las dificultades aludidas proponemos algunas ideas:

A) Es útil que el enunciado del problema incluya datos que no aparezcan en forma explícita en las relaciones que se usarán para su solución. Sin embargo, la inclusión de este tipo de datos no debe ser arbitraria, sino que conviene elegirlos pertinentes al problema, ya sea para limitar el rango de validez de las abstracciones a usar, o bien para detectar confusiones frecuentes.

También pueden incluirse datos que sólo son relevantes en órdenes de aproximación mucho más rigurosos que el que se está usando.

Cuando se introducen modificaciones de este tipo en ejercicios propuestos a estudiantes acostumbrados a resolver problemas completamente *acotados* (se dan los datos necesarios y sólo ellos) es conveniente advertirles explícitamente que se van a usar estos criterios, a fin de que los nuevos planteos no se transformen en *trampas* para hacer más difícil la solución, sino como una mejor aproximación entre el problema de lápiz y papel y el que plantearía una situación física real. (Ya se vió en el párrafo 3 que enfrentar al alumno con una experiencia concreta, por sencilla que ésta sea, proporciona, a nuestra opinión una situación de aprendizaje en general mucho más rica y efectiva, pero esto no siempre es posible).

#### Ejemplo 3-A.1-

*Se desea diseñar un camino de montaña de modo que los automóviles puedan subir en tercera marcha. Algunos datos característicos de un automóvil mediano son:*

*Peso: 1000 Kg; Potencia 80 HP; Cilindrada: 2800 cm<sup>3</sup>; tercera marcha: entre 40 y 90 Km/h; consumo de combustible a 80 Km/h: 0,2 lt/Km.*

*a) Con los datos dados, puede Ud. calcular la pendiente máxima del camino? Por qué?*

b) Suponiendo que la fuerza disipativa en la cuesta es  $\frac{2}{3}$  de la fuerza disipativa que existe en el tramo horizontal del camino, calcule el valor de dicha pendiente.

#### Ejemplo 3-A-2-

Se hizo la siguiente experiencia para medir la velocidad de un tiburón: se instaló una chara de cine para fotografiarlo cuando pasaba frente a una ventana de 2 m por 1 m de un tanque de agua de 16 m<sup>3</sup>. Una serie de imágenes mostraba el hocico del tiburón entrando por el lado izquierdo de la ventana; ocho imágenes más adelante su cola estaba en la misma posición. La cámara tomaba fotografías a un ritmo de 24 imágenes por segundo. La longitud del tiburón es de 1,8 m. ¿Cuál es la velocidad del animal?.

B) Por contrapartida son también aconsejables aquellos problemas donde no todos los datos necesarios se dan en forma explícita y por lo menos obligan al estudiante a buscarlos, ya sea eligiendo de un conjunto de opciones o recurriendo a la bibliografía pertinente.

Los problemas en que se plantea al estudiante una serie de opciones para que determine cuáles son verdaderas o cuál es la mejor para resolver una situación dada, tienen justamente la ventaja de *no estar acotados* y por lo tanto no pueden resolverse estableciendo una mera correspondencia entre los datos del problema y los que figuran en alguna expresión matemática conocida.

En el trabajo citado en Ref. Bibliog.2, se analizaron estos tipos de pruebas para adecuarlas a la evaluación en Física y se argumenta la necesidad de que el alumno explicita las razones que lo llevan a elegir las respuestas. Si no cumple con este requisito la respuesta carece de valor.

#### Ejemplo 3-B.1-

Se quiere medir una resistencia del orden de 10 ohmios con un error del 10% y se dispone de amperímetros, voltímetros y una fuente de tensión de 6 Volts.

a) *Diagrame el circuito a utilizar.*

b) *Cuál o cuáles de los siguientes instrumentos seleccionaría y por qué?*

*Amperímetros : 0 - 1 A ; 0 - 2 A ; 0 - 0,5 A*

*Voltímetros : 0 - 5 V ; 0 - 10 V ; 0 - 15 V*

*Todos con escalas de 50 divisiones y clase 1.*

*Explique por qué elige o desecha cada instrumento.*

### Ejemplo 3-B.2-

*Se quiere rayar una escala métrica de acero de modo que el error en los intervalos de milímetros no sean mayores que  $1 \times 10^{-4}$  mm a una cierta temperatura. Cuál es la máxima variación de temperatura admisible durante la operación de rayado?*

c) Es también conveniente presentar el problema con *expresiones cualitativas* que incluyen la información pertinente en forma no numérica, pero sí necesaria para su solución. Es importante que el problema no resulte una mera *correspondencia* entre valores numéricos y fórmulas matemáticas sino que oblique al estudiante a un *análisis minucioso* del enunciado para extraer del mismo todos los datos que sean necesarios para la resolución del problema.

### Ejemplo 3-C.1-

*Se desea diseñar un camino de montaña de modo que los automóviles puedan subir en tercera marcha y se quiere hacer el cálculo para un automóvil mediano.*

a) *Qué datos característicos del auto necesita conocer?*

b) *Suponiendo que la fuerza disipativa de la pendiente es  $2/3$  de la fuerza disipativa existente en una carretera horizontal, como calcularía la pendiente del camino?*

### Ejemplo 3-C.2-

*Estime el orden de magnitud de la energía eléctrica que se consume por mes en una casa que tiene: ocho lámparas, una heladera, una plancha, una estufa eléctrica y un lavarropas.*

## **4.4. Exclusión de palabras o frases claves en los enunciados**

Ya hemos señalado que, a diferencia del aprendizaje operativo, los automatismos o hábito necesitan de una *señal* o *detonador* para desencadenarse.

Por ellos es conveniente cuidar que al enunciarse un problema del nivel de *Aplicación*, no aparezcan palabras *claves* que permitan al estudiante encasillarlo y resolverlo mediante analogías o empleo irreflexivo de relaciones matemáticas.

Servirá para ejemplificar el siguiente enunciado:

### **Enunciado I.**

*Del extremo de una cuerda de masa despreciable y longitud  $L$ , se suspende una masa  $m$ , y se la hace oscilar.*

- a) Cuánto vale la fuerza centrípeta sobre  $m$  al pasar por la posición de equilibrio, si en ese instante tiene velocidad  $v$ ?*
- b) Cuánto vale la tensión en la cuerda en ese instante?*

### Ejemplo 4-1.-

*Del extremo de una cuerda de longitud  $L$  se suspende una masa  $m$  y se la hace oscilar con una amplitud  $\theta$ , de modo que pasa por la posición de equilibrio con una velocidad  $v$ . Cuánto vale la tensión en la cuerda cuando  $m$  pasa por la vertical?*

En el primer enunciado se está señalando el camino a seguir y se mediría *comprensión*, o sólo se conseguiría desencadenar hábitos al

incluirse el detonador *fuerza centrípeta*. En el segundo enunciado, en cambio, no sólo no hay palabras claves, sino que se han incluido datos *irrelevantes*.

#### 4.5. Inclusión de la operación inversa

Otra buena práctica será la de preparar ejercicios, o series de ejercicios, que incluyan tanto la operación *directa* como la *inversa*. La respuesta correcta en ambos casos no garantiza que el aprendizaje haya sido operativo, porque podrían haberse aprendido los dos caminos en forma *independiente* y *estereotipada*. Si sólo uno de ellos puede resolverse satisfactoriamente podría ser indicio de falso aprendizaje.

Procediendo de la manera indicada se favorece el aprendizaje operativo, al tornarse más difícil para el estudiante la otra forma de solución, que es la de resolver el problema mediante hábitos.

##### Ejemplo 5-1.-

*La figura reproduce una fotografía del movimiento de una bolilla tomada con una lámpara de destellos a intervalos de 0,1 s. El factor de amplificación entre distancias reales y las medidas sobre la fotografía es de 10:1 cm.*

- a) *Grafique las distancias recorridas en función del tiempo.*
- b) *Grafique las velocidades medias entre destellos en función del tiempo.*
- c) *Encuentre, en base a las mediciones, relaciones matemáticas sencillas que le permitan calcular:*
  - i) *La velocidad y la aceleración en cada punto de la trayectoria dentro del orden de los errores.*
  - 2) *La aceleración media en cada tipo de movimiento.*
- d) *Sin modificar el tipo de movimiento en cada tramo de la trayectoria, cómo lograría Ud. que la bolilla estuviera en la posición marcada con la letra A para el onceavo destello, variando solamente la aceleración media?*



#### 4.6. Diferentes enfoques de la misma situación

Para finalizar, parece conveniente que, a lo largo del proceso sistemático de aprendizaje de los distintos capítulos de la disciplina, se tome para los ejercicios *una misma situación física* y se la estudie a través de *diferentes' enfoques*.

De este modo se favorecerá por una parte, el dar unidad a los contenidos aprendidos y por otra, la integración de las operaciones en *sistemas o agrupamientos*.

Por ejemplo, cuando se estudia el *momento de inercia* de un cuerpo se dan ejercicios en los que se usa un péndulo de *torción* para determinar dicho momento de inercia, midiendo el período de las oscilaciones.

Otro aspecto de la situación física será analizar las características del alambre del péndulo desde el punto de vista de sus *propiedades elásticas*. El mismo sistema Físico podría usarse para planear los ejercicios de aplicación sobre *oscilaciones amortiguadas*. Cuando se estudia el tema *viscosidad de fluidos*, el sistema podrá retomarse para determinar *fuerzas y coeficientes de viscosidad* en base al decrecimiento de la amplitud del péndulo, cuando la oscilación se realiza en el fluido.

El ejemplo podrá ser de nuevo analizado estableciendo analogías que lo relacionan con otro tipo de oscilaciones, por ejemplo las *eléctricas* y derivar de allí nuevas aplicaciones tales como características eléctricas y mecánicas de los *instrumentos eléctricos* de medición.

De este modo convendrá buscar en cada tema la posibilidad de retomar el ejercicio y reelaborarlo, se desde diferentes aspectos de su realidad física, o para incorporar nuevos enfoques que permitan resolver los mismos problemas con métodos diferentes de mayor eficacia. A

este Último caso pertenecen, por ejemplo, los problemas que estudian el movimiento de un cuerpo aplicando las *Leyes de Newton de La dinámica*, en su forma tradicional, y que luego se retoman para ser resueltos a partir de los *principios de conservación* con los conceptos de *energía* o *impulso*.

Los criterios que aquí proponemos tienden fundamentalmente a solucionar las dificultades que se puntualizan en este trabajo. Ellos no agotan de ningún modo los requisitos que un buen problema de *Aplicación* debe reunir.

Aspectos tales como el *interés* que debe despertar, su valor como *agente motivador*, su *conexión* con las experiencias de vida del estudiante son sin duda de gran importancia, pero escapan al propósito de este trabajo.

En base a todas estas ideas propuestas hemos elaborado algunas colecciones de problemas para cursos básicos de Física Experimental de las carreras de Ingeniería y Física, y se espera en el futuro realizar experiencias de medición con el fin de controlar en forma más rigurosa su valor como agentes promotores de un *aprendizaje operativo*.

## APENDICE 1

Con el propósito de tener algunos índices cuantitativos sobre la importancia que reviste en la práctica el nivel *Aplicación*, se analizaron y clasificaron los problemas y ejercicios de fin de capítulo de algunos textos corrientes en los cursos de Física Experimental, tales como:

---

\* Algunos de los ejemplos concretos presentados han sido elaborados por los autores, y el resto fueron seleccionados de la bibliografía citada en el Apendice 1.

- Alonso M. y Finn E. - Física - Ed. Fondo Educativo Interamericano - Barcelona - Octubre de 1970.
- Resnick R. Halliday D. - Física para estudiantes de Ciencia e Ingeniería Compañía Ed. Continental S.A. - México 1965.
- Physical Science Study Committee - Física - Ed. Reverté - Zaragoza 1970.
- Cudmani C. - Fundamentos de Mecánica y Termodinámica - Ed. Librería Universitaria - Tucumán 1978.

Se estudiaron además, conjuntos de Trabajos Prácticos de la asignatura Física Experimental para estudiantes de Ciencias e Ingeniería, seleccionados por distintos profesores durante tres períodos lectivos. Se encontró que en todos los casos, el número de preguntas en el nivel *Aplicación* superaba el 60% y en general se mantenía por encima del 80%.

## APENDICE 2

Bloom<sup>1</sup> cita un trabajo de Honoks y Troyer en el que se describe una experiencia que consistió en someter a un grupo de estudiantes a dos conjuntos de pruebas, uno para medir *conocimiento de hechos y principio* y otro para medir *habilidad de aplicar* estos hechos y principios. Los resultados dieron, inicialmente, una *correlación* de 0,31. Después de corregir todos los probables errores que podrían haber afectado la confiabilidad de estos resultados, se llegó a un valor tope de correlación de 0,54. La experiencia demuestra que, en este caso, ambas capacidades distaron mucho de ser equivalentes.

Queremos dejar constancia del valioso asesoramiento que hemos recibido en todo momento de la Sra. Margarita Sastre de Cabot, Profesora Titular de la Cátedra de Pedagogía de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Tucumán.

Agradecemos también a las autoridades de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, de la Universidad Nacional de Tucumán, el apoyo prestado para la realización de este trabajo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bloom, B.S. - Taxonomía de los objetivos de la educación - El Ateneo 1974 - 1 (a) pag. 103.
- i. Cudmani, L. Ploper, N. Lewin, A.M. Bullaude, E.G. - Propuestas para un nuevo enfoque de la evaluación Física - Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología - U.N.T. - NºEA" 17/76 Parag.13 - Tucumán 1976.
3. Nedelsky, Leo - "Formulation of objectives of Teaching in Physical Science" - American Journal of Physics - 17, 345 (1949).
4. Nedelsky, Leo - "Science Teaching and Testing" - Nueva York - Harcourt, Brace y World, Inc. 1965.
5. Lafourcade, P. - Evaluación de los aprendizajes - Ed. Kapelusz - 1973.
6. Klopfer, Leopoldo E. - Cap. XVII de Bloom y otros - "Evaluación del aprendizaje" - Tomo III - Troquel Bs.As. 1975.
7. Piaget, Jean - "A tomada de consciencia" - Educação Melhoramentos - Ed. Universidade de São Paulo - 1978.
8. Piaget, Jean - "Fazer e compreender" - Educação Melhoramentos - Ed. Universidade de São Paulo - 1978.
9. Piaget, Jean - "Las explicaciones causales" - Ed. Barral - 1973 - Barcelona.
10. Piaget, Jean - Psicología de la Inteligencia - Ed. Psique - Cap. 11 Bs.As. 1973.
11. Piaget, Jean - "Fazer e compreender" - pag. 175 - Educação Melhoramentos - Ed. Universidade de São Paulo - 1978.
12. Aebli, H. - Una didáctica fundada en la Psicología de Piaget - Ed. Kapelusz - Bs.As. 1973.
13. Elam, S. - La Educación y la estructura del conocimiento ( compilación) - Ed. El Ateneo - pag.7 - Bs.As. 1973.
14. Resnick, R. y Halliday, D. - Física - Obras completas (2 Tomos) - C. Ed. Continental - México 1964.
15. Sears, F. - Fundamentos de Física (3 Tomos) - Aguilar - 1958 - Madrid
16. Roederer, J.G. - Mecánica Elemental - Eudeba - Bs.As. 1963.
17. Roederer, J.G. - Electricidad y Magnetismo - C.E.F.M. y H. - Bs. As. 1965.
18. Bueche, F. - Física - Obras completas (3 Tomos) - Mc.Graw Hill - Colombia 1972.

19. Physical Science Study Committee - Física - Obras completas - Ed. Reverté - Barcelona 1970.
20. Alonso y Finn - Fundamental University Physics (3 Tomos) - Addison Wesley Publishing - EE.UU. 1967.
21. Nuffield - Ciencias Avanzadas - Física - Obras completas - Ed. Reverté, Barcelona 1974.
22. Cudmani, C.E. - Fundamentos de Mecánica y Termodinámica - Ed. Librería Universitaria - Tucumán 1978 - 1980.
23. Cudmani, C.E. - Apuntes de Física - Ed. Centro de estudiantes de Ingeniería - U.N.T. Tucumán 1973.
24. Ingand y Kraushaar - *Introducción al estudio de la Mecánica, Materia y Ondas* - Ed. Reverté - Barcelona 1966.

## **BIBLIOGRAFIA GENERAL**

- Berlo, K. - El proceso de la comunicación - El Ateneo - Bs.As. 1971.
- Bloom, B.S. y Otros - Evaluación del aprendizaje - Tomo I - Ed. Troquel Bs.As. 1975.
- Dewey, J. - Democracia y Educación - Mc.Millan - N.York 1916.
- Dewey, J. - Experiencia y Educación - Losada - Bs.As. 1939.
- Knoll, R. - Didáctica de la Enseñanza de la Física - Kapelusz, Bs. As. 1974.
- Piaget, J. - Seis estudios de Psicología - Seix Banai S.A. Barcelona 1970.
- Piaget, J. - Introducción a la Epistemología genética - 2 El Pensamiento Físico - Ed. Paidós - Bs.As. 1975.
- Noraes, M.H. - Psicología de la aptitud creadora - Kapelusz - Bs.As. 1976.
- Zaki Dib, C. - Tecnología de la Educación - Coepla - Bs.As. 1976.