

**INVESTIGACIONES EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN CIENCIAS\***  
**(Research on problem solving in science)**

Zulma Gangoso [zulma@mail.famaf.unc.edu.ar]  
Facultad de Matemática, Astronomía y Física  
Universidad Nacional de Córdoba  
(5000) Córdoba, Argentina

**Resumen**

A partir de un profundo estudio bibliográfico, se enfoca la investigación en resolución de problemas desde el punto de vista de las teorías psicológicas subyacentes y de factores explicativos – como la naturaleza de la tarea, la persona que resuelve y el entorno – con el objetivo de apoyar futuras investigaciones en este campo. Se incluye como anexo, una breve presentación de la V de Gowin, la que se propone como herramienta heurística para analizar críticamente las investigaciones.

Palabras-clave: resolución de problemas; enseñanza de las ciencias, V de Gowin.

**Abstract**

Based an in depth bibliographical study, problem solving in science is focused from the point of view of the underlying psychological theories and of explaining factors – such as the nature of the task, the problem solver, and the context – aiming at supporting additional research on this field. A brief presentation of Gowin's Vee is included as a heuristic tool to critically analyse research studies.

Key-words: problem solving; science teaching; Gowin's Vee

**Introducción**

*¿Cómo se mejoran los resultados en la resolución de problemas en ciencias? ¿Cuál es el rol de los conceptos en el proceso de resolución? ¿Cómo influye el aprendizaje de procedimientos? ¿Tienen las herramientas matemáticas, una importancia decisiva en la performance? ¿Cómo se ayuda a un alumno a mejorar sus producciones? ¿Es posible dar orientaciones al menos generales a los profesores? ¿Cómo se explica que una actividad en la que existen pocos avances, sea mayoritariamente usada como instrumento de evaluación? ¿Es la resolución de problemas, su manera de abordarla y sus resultados en la escuela media, una de las causas del rechazo de los alumnos hacia las ciencias? ¿Cuál es el rol del lenguaje natural en la representación de los sujetos? ¿Es posible fundamentar teóricamente las orientaciones didácticas en esta área de modo que el profesor no deba actuar por ensayo y error? ¿Es el tipo de razonamiento favorecido en la resolución de problemas, transferible a la vida cotidiana o viceversa?*

Son algunas de las numerosas preguntas que se hacen miembros de un heterogéneo colectivo. Diferentes facetas del tema son objeto de preocupación por parte de profesores, epistemólogos, psicólogos, especialistas disciplinares, lingüistas, sociólogos, diseñadores de curriculum, investigadores en aprendizaje en diversas disciplinas, etc. Aún cuando en casi todos subyace la idea de obtener resultados que, en el mediano o largo plazo, mejoren las performances de sujetos ante

---

\* Artículo invitado.

problemas, con tan variado grupo abocado al asunto, resulta natural aceptar que cada uno de ellos se plantee preguntas diversas, y busque las respuestas desde marcos diferentes.

En principio, no todos ellos están dispuestos -porque entienden que no es su rol- a demandar respuestas desde un proceso sistemático de búsqueda. Y aún, entre aquellos que abordan la investigación del asunto, podríamos decir a la manera de Gowin, que tienen en común la “filosofía que guía su tarea”, pero no tienen porqué coincidir- y no coinciden- en las preguntas, ni en la definición de los eventos que estudian, ni en las teorías que sustentan los conceptos involucrados y, obviamente tampoco en las metodologías utilizadas en la búsqueda de afirmaciones de conocimiento.

Resulta claro que los elementos mencionados sean notoriamente diferentes si, por ejemplo, es el profesor de un aula quien se pregunta qué tipo de problemas incluye en su asignatura para mejorar el interés de sus alumnos, a si es un psicólogo que se interesa por saber cuál es el rol de la memoria en la representación de un sujeto ante un enunciado. También serán distintos si la búsqueda se orienta a cotejar los roles de ejercicios y problemas a la luz de diferentes epistemologías, o a la puesta a prueba de diferentes teorías de representación del conocimiento o al desarrollo de un modelo instruccional.

Distinguir estos aspectos, es crucial en una introducción destinada a investigadores. Es necesario comprender que el tópico “investigación en resolución de problemas” enunciado de manera general es de tal complejidad que resulta atóxico ya que, al momento, no es posible disponer de teorías general de educación ni de la cognición capaces de abrazar y dar respuesta a tan diferentes aspectos del pensamiento y de la actividad humana. Otra consecuencia obvia e inmediata es que los instrumentos utilizados en distintas investigaciones son prácticamente incomparables, de modo que la generalización de resultados, aún entre un mismo colectivo de investigadores, carece de todo sentido.

Una caracterización de investigaciones en resolución de problemas, que permita sintetizar preguntas y hallazgos, necesita de una revisión de los estudios realizados. Se adopta en principio un criterio cronológico con la idea de buscar, si es posible separar etapas marcadas por “saltos cualitativos” en los planteos y cuestiones y/o en la forma de buscar respuestas a las mismas.

La revisión no resulta simple dada la extensión en el tiempo y la gran cantidad de publicaciones que han enfocado el tema. Helgeson (1994) refiere un estudio realizado por Champagne y Klopfer (1977) quienes, en una revisión de 60 años de los artículos publicados en la *Science Education*, encuentran que el primer artículo en el primer volumen de esta revista (entonces llamada *General Science Quarterly*) fue escrito por John Dewey acerca del *método de la ciencia a través de la resolución de problemas*.

Según sea la concepción acerca de la resolución de problemas, la búsqueda lleva a los inicios de los estudios sobre psicología y pensamiento. La revisión, mostrará la diversidad de enfoques teóricos y metodológicos a lo largo del tiempo, tanto en la definición y caracterización de las variables como del problema investigado. Esta circunstancia hace muy difícil encontrar similitudes y diferencias aún en estudios contemporáneos entre sí. Esta simultaneidad de enfoques diferentes puede ser, entre otros, uno de los factores de fuerte incidencia por los que la investigación en el área ha dado magros resultados en las aulas.

### **La solución de problemas, primeras dificultades**

La resolución de problemas como actividad cognitiva es para muchos autores indistinguible del mismo pensamiento.

Mayer (1983, pág. 21) utiliza indistintamente, a lo largo de su estudio, los términos *pensamiento*, *cognición* y *resolución de problemas* sobre la base de la siguiente caracterización:

1- El pensamiento es *cognitivo*, pero se infiere de la conducta. Ocurre internamente y debe ser inferido indirectamente.

2- El pensamiento es un *proceso* que implica alguna manipulación de, o establece un conjunto de operaciones sobre, el conocimiento en el sistema cognitivo.

3- El pensamiento es *dirigido* y tiene como resultado la “resolución” de problemas o se dirige hacia la solución.

De este modo Mayer justifica que *pensamiento es lo que sucede cuando una persona resuelve un problema*, es decir, produce un comportamiento que mueve al individuo desde un estado inicial a un estado final, o al menos trata de lograr ese cambio.

El tema del pensamiento, *ha fascinado a los psicólogos dentro y fuera del laboratorio y lo han roído como un perro roe a un hueso. Siempre ha estado allí, algunas veces enterrado, otras extraído, nunca bastante masticado o digerido, nunca olvidado.* Mandler y Mandler (1964), en Mayer op. cit. pág. 23.

De manera concurrente, Simon (1992), justifica esta *fascinación* de los psicólogos por el campo de la solución de problemas “*porque quizá, en la conducta de enfrentarse y resolver situaciones problemáticas, es donde mejor se manifiestan las capacidades cognitivas de nuestra especie*” Simon, H en Carretero, M. y García Madruga, J.A. (comp.). Para este autor, la solución de problemas es un aspecto central de cualquier actividad profesional y aún en momentos de ocio, el ser humano se divierte resolviendo problemas en forma de juegos.

Podríamos decir, de manera general, que los educadores y/o investigadores en educación en ciencia a menudo han tratado de caracterizar y describir el proceso de solución de problemas utilizando términos tales como pensamiento crítico, pensamiento científico, formulación de hipótesis, método científico, etc. sin que en todos los casos hubiera acuerdo en los significados de cada término.

Polya (1968), en Mayer op. cit. pág. 21, sugiere que *la resolución de problemas está basada en procesos cognitivos* que tienen como resultado encontrar una salida a una dificultad, una vía alrededor de un obstáculo, alcanzando un objetivo que no era inmediatamente alcanzable. Johnson (1972), en Mayer pág. 21, directamente define *pensamiento como resolución de problemas*. Newell y Simon (1972), en Maloney (1994), establecen: “*Una persona es enfrentada a un problema, cuando desea algo y no conoce inmediatamente qué serie de acciones debe llevar a cabo para alcanzarlo*”. Novak (1977), en Perales Palacios (1993), define la actividad de solucionar problemas como “*la reorganización de la información almacenada en la estructura cognitiva, es decir, un aprendizaje*”. Hayes (1981), en Maloney op. cit. define: “*siempre que hay un salto entre donde está y donde quiere llegar y no sabe cómo encontrar el camino para salvar este salto, usted tiene un problema*”.

Garret (1977) citado por Helgeson (1994), define la actividad como un proceso en el cual “*el aprendiz descubre una combinación de reglas previamente aprendidas las cuales pueden ser aplicadas para lograr la solución de situaciones nuevas*”. El mismo autor, posteriormente, (1987) citado por Maloney plantea la diferencia entre *problemas* para los cuales la solución puede no existir y *rompecabezas (puzzles)* para los que sí existe solución. Establecida esta diferencia de las cuales saca consecuencias didácticas dice “*La resolución de problemas puede ser vista como un elemento del pensamiento pero, probablemente es más apropiado considerarla como una compleja actividad de aprendizaje que involucra pensamiento*”. Perales Palacios en su revisión (1993), define “*un problema genéricamente es cualquier situación prevista o espontánea que produce, por un lado, un cierto grado de incertidumbre y, por el otro, una conducta tendiente a la búsqueda de su solución*”. Shaw, T. J. (1983), citado por Helgeson (1994), definió las habilidades para resolver problemas como la integración de interpretar datos, controlar variables, definir las operacionalmente y formular hipótesis.

A pesar de haber mencionado sólo unos pocos ejemplos, puede verse que los inconvenientes al organizar una revisión van mucho más allá de la dificultad para sistematizar los estudios en torno a algunos factores. El conflicto se genera en la misma concepción de problema y en qué significa “resolver un problema”. Del conjunto de definiciones anteriores, se advierte que hay autores que definen la actividad cognitiva, otros el tipo de tarea. Algunos se refieren a tareas completamente abiertas, otros a tareas intelectuales, que difieren entre sí según consideren situaciones espontáneas o provocadas. Otros investigadores la definen con relación al aprendizaje. Existe además un conjunto de investigaciones en las que tales asuntos no se hallan abordados explícitamente, y el lector debe interpretar por sí mismo las concepciones asumidas por el investigador.

En los próximos capítulos se presentan revisiones de estudios, en el Capítulo 2 con un criterio cronológico, buscando un paralelo entre distintos desarrollos y diversas teorías psicológicas. Posteriormente se adopta un criterio que permita caracterizar los estudios desde la variable que predominantemente aparece como “variable independiente”.

Se pretende mostrar que aún revisando investigaciones en un área específica, su abordaje sigue siendo sumamente complejo. Recién en los últimos veinte años aparece una tendencia a consensuar, al menos desde el punto de vista instruccional, que existen como mínimo tres fuentes - diferentes pero relacionadas- desde donde se definen las variables independientes. Tales son: naturaleza del problema, características de la persona y entorno de aprendizaje.

En el capítulo 3, se adopta un criterio de categorización el que se aplica a diferentes artículos en el área de las ciencias. La mayoría de los estudios analizados corresponden al área de la física, abarcando diferentes niveles de instrucción. En primer lugar, por ser el área de dominio de la autora, pero además porque esto facilita mantener un eje que permita alguna comparación en los casos posibles. Sin embargo, se ofrece también, información sobre estudios realizados en áreas de química y biología, los que eventualmente pueden ser consultados y analizados por el lector si ésta fuera su área de interés.

Finalmente, dado que el objeto de estas notas es favorecer el debate y análisis crítico de investigaciones en resolución de problemas, se incluye un anexo en el que se presenta la denominada V de Gowin. Esta herramienta, desarrollada en ambientes educativos, pretende facilitar el estudio y brindar una base común para apoyar las discusiones.

## **Resolución de problemas y teorías psicológicas**

Según quedó planteado en la introducción, los educadores en ciencia acuerdan sustancialmente en la importancia del rol de la solución de problemas en las aulas de cualquier nivel, pero existe dispersión e inconsistencia en el uso de terminología relacionada con tal actividad.

Pretender recopilar y analizar los estudios sobre el pensamiento desde sus orígenes, aparte de escapar a nuestras posibilidades - por ser un tópico netamente psicológico-, nos alejaría de nuestra meta que es revisar la resolución de problemas en ciencias. Por ello, a pesar de haber ya adoptado un criterio cronológico, la separación de las etapas necesita de algunas pautas.

De modo general, si aceptamos que la resolución de un problema está estrechamente vinculada al proceso de pensamiento, resulta claro que la posición sea fuertemente dependiente de la corriente psicológica dominante. Se advierte también que los instrumentos usados en la investigación son, en general, fuertemente dependientes de las posiciones anteriores.

La mayor parte de los manuales de psicología, como señala Pozo (1987), establecen la diferencia entre teorías conductuales y teorías cognitivas. Esta categorización atiende fundamentalmente a cuál es la concepción de aprendizaje que mantienen. La diferencia está dada según se conciba que se aprenden conductas observables o por el contrario interesan los cambios en procesos subyacentes

como pueden ser percepción, memoria o atención. Otra vez, las situaciones e instrumentos diseñados para medir tales cambios son esencialmente diferentes.

El reflejo de estas posiciones en las aulas en cuanto a la resolución de problemas, es claro y ha sido muchas veces extremado. Sin duda, son las aplicaciones en resolución de problemas desarrolladas a la luz del conductismo las de mayor incidencia y tradición en nuestras escuelas. En este marco, el alumno ha resuelto un problema cuando es capaz de manifestar conductas / resultados, los cuales a su vez han sido enunciados como objetivos por el docente.

En lugar de la clasificación tradicional, Pozo (1987), propone una en la que, en lugar de poner el énfasis en *qué* se aprende, ponerlo en el *cómo* se aprende. Con este criterio sería posible establecer dos clases según se conciba al aprendizaje *por asociación* o por *reestructuración*. Obviamente la clasificación no resulta esencialmente diferente ya que el *qué* y el *cómo* dentro de cada teoría están conectados entre sí. Resulta interesante hacerlo ya que en particular un grupo de investigaciones fundadas en las teorías de procesamiento de la información pueden cambiar de clase.

De todos modos, no es nuestro interés discutir una criterios de categorización de teorías, sino llamar la atención sobre las dificultades intrínsecas que presenta el estudio científico de la mente humana. Debe tenerse en cuenta que cada una de las corrientes que se pueda mencionar, ha debido afrontar un objeto de estudio- el sistema cognitivo- que es: inaccesible a la observación directa, con gran velocidad de procesamiento y cuyos componentes (aún en el caso de poderlos identificar) funcionan de manera interactiva. Cada una de estas características constituye un serio obstáculo para las estrategias típicas de la investigación científica.

Para esta revisión, adoptamos una categorización que pretende recoger, de manera general, las principales diferencias entre supuestos básicos y métodos de investigación que hayan incidido en la concepción de problema y proceso de solución. No perdemos de vista que nuestro interés se centra especialmente en la solución de problemas en ciencias, relacionados con la instrucción formal. Con este criterio hemos separados los desarrollos según:

- ◆ *Psicologías conductistas.*
- ◆ *Psicología de la Gestalt.*
- ◆ *Psicologías Cognitivas*

Para cada categoría daremos características teóricas muy generales mencionando algunos estudios. Los ejemplos propuestos en cada una de las clases, intentan solamente representar si hay alguna línea teórica dominante. En algunos, tal marco debe ser inferido a partir de las actividades propuestas o instrumentos utilizados. A pesar que en esta categorización, varios de ellos, puedan pertenecer a una misma clase, mantienen diferencias en cuanto a sujetos, contextos, niveles estudiados, instrumentos utilizados y aún variables explicativas. Esta circunstancia los hace incomparables. Notar estas características disímiles, es parte del interés de este tópico en un curso de introducción para investigadores.

#### ◆ **La solución de problemas en el marco de psicologías conductistas**

No se pretende establecer una definición del conductismo la que es asumida como difícil por los propios especialistas del área. Pozo (1989), plantea si acaso el conductismo no es un “concepto natural” que, a diferencia de los conceptos lógicamente definidos, se caracterizan por tener una estructura difusa, en muchos casos oscura y con límites borrosos. De modo general y atendiendo los objetivos de este texto, se lo puede caracterizar como un movimiento generado en la segunda década de este siglo que surge como respuesta al subjetivismo y al abuso del método introspectivo. Movimiento basado en los estudios de aprendizaje mediante condicionamiento que considera innecesario el estudio de los procesos mentales superiores para la comprensión de la conducta humana. Se puede hablar de un conductismo radical que niega la existencia de la conciencia y de un

conductismo metodológico, que si bien no la niega, descrea que pueda estudiársela por métodos objetivos es decir, a través de índices conductuales.

El núcleo central del programa conductista es su concepción *asociacionista* del conocimiento y del aprendizaje. Toda conducta por compleja que sea, es reducible a una serie de asociaciones entre elementos simples. En esta visión, el conocimiento humano está constituido exclusivamente de impresiones e ideas. Las impresiones son los datos primitivos recibidos a través de los sentidos y las ideas son las copias que recoge la mente de esas impresiones.

Esta posición trae algunas consecuencias directas a la teoría psicológica. Entre ellas interesa destacar *el principio de correspondencia*. Según éste, cualquier variable que se defina para los procesos mentales ha de ser isomorfa con las variables observables. En los primeros tiempos los conductistas definieron *aprendizaje como cambio de conducta*. Otro rasgo coherente con la posición asociacionista es *la equipotencialidad*. Las leyes del aprendizaje son igualmente aplicables a todos los contextos, especies e individuos. Para mantener esto será necesario sostener la idea de la *tábula rasa*. Aprender es tomar algo del entorno e incorporarlo sin modificación alguna al depósito individual de saberes.

Se desprende casi naturalmente de lo anterior, que en este marco el proceso de resolución de problemas es la respuesta y su mecanismo de selección asociado. Los trabajos de esta época, son esencialmente instruccionales y están orientados a la búsqueda de pasos o etapas en la resolución que permitan el entrenamiento. El pensamiento es concebido en término de estímulos-respuestas. La solución de un problema consiste en intentar soluciones posibles hasta encontrar la que funcione.

Una de las primeras propuestas para secuenciar el proceso es la de Dewey (1910), citado por Kempa (1986), quien propuso “*cinco etapas lógicamente diferentes*”

*Identificación del problema*

*Definición del problema*

*Producción de hipótesis sobre posibles soluciones*

*Desarrollo de estas hipótesis y deducción de sus propiedades*

*Comprobación de las hipótesis*

Posteriormente, Polya (1945), a partir de su experiencia como matemático y de las observaciones como profesor, elaboró una propuesta similar, la que ha sido estudiada en repetidas oportunidades. Su intención era ayudar a los estudiantes en la tarea de aprender a resolver problemas “difíciles”, para lo cual propuso el fraccionamiento en problemas más simples con solución accesible. Sugirió las siguientes etapas:

- \* *comprensión de problema*
- \* *elaboración de un plan*
- \* *puesta en marcha del plan*
- \* *reflexión*

Existen algunas divergencias en la literatura (Mayer, 1983 y Perales 1993), acerca de si los desarrollos de Polya deben o no ser categorizados como conductistas. Abordamos esta discusión en el próximo apartado. Un aspecto que indicaría la pertinencia de ubicar la propuesta de Polya entre estos desarrollos, es la manifiesta independencia con el contenido. Es decir, supone que existen procedimientos heurísticos generales que pueden ser aprendidos, generalizados y transferidos a distintas situaciones. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que esta propuesta fue desarrollada para problemas en matemática los que en esa época se presentaban como problemas bien definidos y cerrados.

La corriente conductista, como bien plantea de Vega (1992, reimpresión 1995), *hace un tratamiento de la resolución de problemas que es superficial y confuso*. Claramente esto significa una fuerte dificultad aún para aquéllos que hubieran pretendido utilizarla como marco interpretativo de investigaciones. En nuestra indagación, no hemos accedido a investigaciones en resolución de problemas en ámbitos escolares, que asuman como marco interpretativo alguna teoría de las denominadas conductistas, pero no podemos dejar de resaltar la enorme influencia de éstas en la escuela en general y en la resolución de problemas en particular.

Son característicos y perdura aún en nuestras aulas el planteo de ejercicios, muchas veces denominados problemas en el final de capítulos de libros. La instrucción consiste en la solución de un “problema tipo” el que se ejercita con problemas similares. La dificultad básica no está en transferir a situaciones diferentes sino que radica, en primer lugar, en el reconocimiento del “estímulo” por parte de quien resuelve, reconocimiento que muchas veces se identifica con el hallazgo de la expresión matemática a utilizar. A modo de ejemplo transcribimos: (*Física aplicada. Teoría y problemas resueltos. Serie Schaum, Cap.3, 1978*)

Problemas resueltos en el texto:

3.7 Un carro parte del reposo y alcanza una velocidad de 12 m/s en 10 s. a) ¿Cuál es su aceleración? b) Si su aceleración permanece constante ¿cuál será su velocidad al cabo de los 15 s?

3.8 a) ¿Cuál es la aceleración de un carro que cambia su velocidad de 20 km/h a 30 km/h en 1,5 s. b) Con la misma aceleración, cuánto tiempo emplea el carro para pasar de 30 km/h a 36 km/h?

3.10 Los frenos de un carro pueden producir una aceleración de  $6 \text{ m/s}^2$  ¿Cuánto tiempo necesita para detenerse si tiene una velocidad de 30 m/s?

Problemas suplementarios:

3.19 Un carro que viaja a 30 m/s se detiene en 6 s. a) Hallar su aceleración. b) Si viaja a 40 m/s hallar el tiempo que requiere para detenerse considerando la misma aceleración.

3.20 Los frenos de un carro reducen su velocidad de 60 km/h a 40 km/h. en 2 s. Si la velocidad inicial del carro es de 25 km/h, hallar el tiempo que requiere para detenerse considerando la misma aceleración.

La visión conductista se refleja no sólo en el tipo de problemas propuestos y su forma de resolverlos sino también en la manera de evaluar su resolución. Claramente cuanto más ejercicios refuerzan la asociación correcta mayor será la probabilidad de acierto. Una vez identificada correctamente o no la expresión matemática, es ésta la que guía la solución, de aquí que las dificultades algebraicas suelen determinar el fracaso. En este tratamiento las unidades de las magnitudes (que no necesariamente significan conceptos para el alumno) son una asociación más, desligada muchas veces del objeto medido. Sobran los ejemplos de soluciones por parte de alumnos con unidades asignadas acríticamente.

Compatibles con las posiciones mencionadas se han desarrollado diversos programas de instrucción en resolución de problemas, basados en su mayoría en la imitación y el entrenamiento. Entre ellos podemos mencionar *Recuperación de resolución de problemas en estudiantes universitarios*, Bloom y Broder (1950) citados por Mayer (1983). Otro programa llevado a cabo durante períodos prolongados es *Patrones de Resolución de Problemas*, (1975-1980), Rubinstein 1980. En ellos, si bien aumenta la eficiencia para resolver problemas similares a aquellos con que fueron entrenados, no existe ninguna evidencia de que las destrezas generales puedan aprenderse al margen de conocimientos específicos.

### ◆ La solución de problemas en el marco de la Gestalt

Informar brevemente las condiciones en que nace y se desarrolla la escuela de la Gestalt puede ser ilustrativo para comprender los principales aportes de esta orientación contemporánea de las corrientes conductistas. A principios de siglo, el fracaso de estudios analíticos de la conciencia mediante introspección era claro tanto en América como en Europa, pero las respuestas fueron absolutamente diferentes. Mientras la psicología americana responde con una profundización de las ideas asociacionistas dando lugar al conductismo, en Alemania se opta por continuar estudiando procesos mentales superiores pero dejando de lado el asociacionismo. Se desarrolla así la escuela de la *Gestalt* (que suele traducirse como *configuración o forma*), que rechaza totalmente el atomismo conductista cambiando de este modo la unidad de análisis. Para esta escuela, la psicología debe estudiar el significado y éste no es pasible de divisiones en elementos más simples. Las unidades de análisis deben ser totalidades significativas. Estas ideas cambian la concepción de problema y de aprendizaje.

En buena medida, los psicólogos de la Gestalt son considerados pioneros en el estudio de la conducta de resolución de problemas. Son los primeros que relacionan esta actividad con aspectos creativos, de reestructuración perceptiva que, llegado el momento permiten una “comprensión súbita” al sujeto. Esta comprensión súbita o *insight*, supone que el sujeto sabe que ha encontrado la solución antes de ponerla en práctica, destacándose el carácter novedoso de la solución encontrada. Para la Gestalt el proceso de resolución de un problema es un intento de relacionar un aspecto de una situación problemática con otro, intento que tiene como resultado una *comprensión estructural*. *Esto implica reorganizar los elementos de la situación problemática, de una forma tal que resuelvan el problema.* (Mayer, pág. 55). Es de notar que las teorías de la Gestalt operan con procesos más complicados, son más vagas que las asociacionistas y más difíciles de comprobar.

El concepto de *insight*, se ilustra de manera interesante en la observación de Kohler con el mono “Sultán” encerrado en una jaula. Se ubicó una banana colgada del techo fuera de la jaula y, dentro de ella se dejó un palo y una caja. El chimpancé intentó alternativamente utilizando el palo y subiéndose a la caja por separado. Después de cada intento parecía abandonar desanimado. Pero de pronto, se dirigió con decisión al palo, subió a la caja y encontró la solución. Al decir de Kohler, Sultán *experimentó una reorganización constructiva de los elementos del problema comprendiendo una relación nueva entre ellos que le condujo a la solución.* Kohler en de Vega, 1995

La insistencia de esta teoría en una *estructura global* lleva a la distinción entre comprensión y acumulación de conocimientos en forma lineal. Un importante aporte a la solución de problemas dado por los gestaltistas consiste en la diferenciación entre lo que denominan *pensamiento reproductivo* y *pensamiento productivo*. Otros autores los mencionan como “*insight*” y “*ensayo y error*”, “*comprensión estructural*” y “*memoria mecánica*” o “*aprehensión con sentido de las relaciones*” y “*asociaciones arbitrarias*”.

El *pensamiento reproductivo* consiste en la aplicación de destrezas o conocimientos adquiridos con anterioridad. En el *pensamiento productivo* en cambio, hay una reorganización que da lugar a la creación de solución a un problema nuevo. La ventaja de la comprensión o solución productiva de un problema frente a un aprendizaje memorístico radica en la potencialidad de transferencia.

Mayer, pág. 56, resume en el cuadro que reproducimos las diferencias esenciales entre los enfoques asociacionistas y de la Gestalt.

	ASOCIACIONISMO	GESTALT
<b>Tipo de tarea</b>	reproductiva	productiva
<b>Actividad mental</b>	vincular estímulo-respuesta	reorganiza elementos
<b>Unidad de pensamiento</b>	eslabón estímulo-respuesta	organizaciones
<b>Detalles de la teoría</b>	precisos	vagos

Otro aporte importante de la posición gestáltica, es la valoración de la experiencia previa, la cual se acepta pueda tener efectos positivos o negativos. Se admite que para la resolución de problemas, la experiencia anterior puede generar una “actitud” o “fijeza funcional”, la que actúa como impedimento en la comprensión de problemas nuevos. (Duncker 1945, en Mayer 1983). (Debe aclararse que se refieren a ciertos aprendizajes anteriores que pueden actuar como obstáculo y no a una experiencia general, amplia y no específica la que es necesaria para la reorganización). Maier (1945) en Mayer op. cit, encuentra evidencia de “transferencia positiva” de experiencias anteriores que ponen a disposición del sujeto elementos favorecedores para la reorganización.

En esta corriente se desarrolla la “*técnica de pensamiento en voz alta*” para la recogida de la información. En particular los registros de Duncker sugirieron que la solución de un problema avanza por “estadios” que van desde las soluciones más generales a las más específicas.

Sin embargo, la vaguedad de la teoría de la Gestalt y su dificultad de comprobación, se refleja en la diferencia entre los mismos adherentes al momento de plantear métodos instructivos y el consiguiente enfoque en la resolución de problemas. La cuestión central que queda sin respuesta es cómo ayudar a los estudiantes a “comprender” de modo que se transformen en pensadores productivos capaces de transferir su experiencia a problemas nuevos. Se plantea también de una manera imprecisa que la diferencia entre pensamiento productivo y reproductivo, podría ser resultados de aprendizajes por métodos de instrucción también vagamente diferenciados denominados “métodos de descubrimiento” y “métodos expositivos”.

Podemos ubicar en esta corriente los aportes de Wallas (1926), que como Polya (1945) propone fases o etapas en la resolución. La diferencia entre ambos estudios radica en que Wallas basa su propuesta en la introspección, mientras que Polya lo hace sobre la base de su experiencia en resolver problemas y a las observaciones realizadas como profesor.

Wallas en su obra *The Art of Thought*, 1926 (citado por Mayer 1983) describió las siguientes etapas en el proceso de resolución:

- *preparación (acumulación de la información).*
- *incubación (marginación transitoria del problema).*
- *iluminación (un darse cuenta).*
- *verificación (hallazgo de la solución).*

Perales (1993) ubica los desarrollos de Wallas junto a los de Polya como desarrollos en el marco de un paradigma conductista, Mayer por su parte los identifica como aportes de las teorías de la Gestalt. Aunque desde nuestro estudio nos inclinamos por la categorización de Mayer, no resulta fácil discrepar categóricamente con Perales. Si bien ambos plantean pasos o etapas en el proceso de resolución, lo que los alejaría de una explicación en términos de estímulo-respuesta hay expresiones, concretamente en el desarrollo de Polya, que hablarían cuando menos de un pensamiento reproductivo. Por ejemplo en la etapa de “como concebir un plan”, que sería la que

puede indicar con claridad si se orienta hacia una asociación o una reestructuración Polya (reimpresión 1992, pág. 19) sugiere:

- *¿conoce un problema relacionado con este? ¿conoce algún teorema que le pueda ser útil?. Mire atentamente la incógnita y trate de recordar un problema que le sea familiar y que tenga la misma incógnita o una incógnita similar.*

- *Si no puede resolver el problema propuesto, trate de resolver primero algún problema similar.*

Como puede verse, mientras advierte que las preguntas antedichas son útiles para discernir la acción sugerida, en el mismo párrafo dice que se corresponden con las operaciones intelectuales útiles a la resolución. Más adelante manifiesta que tales preguntas intentan hacer explícitas conductas que deben presentarse en forma natural en la mente de cualquier persona que tenga un cierto sentido común y un deseo de resolver el problema que se le ha propuesto. (pág. 26).

Cuando se refiere a la interacción maestro-alumno, define la actividad de resolución de problemas como una actividad práctica que compara con el nadar. *La habilidad práctica se adquiere mediante la imitación y la práctica. Al tratar de resolver problemas, hay que observar e imitar lo que otras personas hacen en casos semejantes, y así aprendemos problemas ejercitándolos al resolverlos*. Claramente en esta afirmación no se tiene en cuenta la percepción, uno de los aportes significativos de la Gestalt y daría la sensación de que recupera el concepto de tabula rasa del paradigma conductista.

Sin embargo cuando justifica la separación en etapas (pág. 28), a la par que valora “ideas excepcionalmente brillantes por casualidad” o “golpes de suerte deseables”, requiere del aprendiz “comprensión del problema” para lo que el maestro debe seleccionar adecuadamente el problema y exponerlo con naturalidad. Sugiere que para comprobar la comprensión “el alumno debe repetir el enunciado *“sin titubeos”*”. Pero, en el breve diccionario de heurística que propone Polya en su obra, define una idea brillante como un “*acto de sagacidad, un destello de ingenio*”, lo que nos pondría frente al insight de los gestaltistas.

De todos modos, hemos ya mencionado la vaguedad de la teoría de la Gestalt para definir el pensamiento y las dificultades que surgen a la hora de su aplicación, por ello no debe resultar extraño que propuestas típicamente instructivas como la de Polya resulten de difícil categorización.

Como programas de instrucción en resolución de problemas desarrollados en este marco, cabe mencionar un conjunto de estudios agrupados por Mayer bajo el título de *Enseñanza del pensamiento productivo a los escolares (1960-1970)*. Corresponden a un programa destinado a alumnos de escuela elemental, centrado en la enseñanza de procesos y que utiliza la imitación como técnica de adiestramiento. Estudios posteriores pretendieron valorar la efectividad de estos programas dando resultados positivos, pero no fueron investigaciones teóricamente guiadas ni se estudió la eficacia de tal entrenamiento con problemas de formato diferente al dado en la instrucción y menos aún problemas de la vida diaria.

#### ♦ **La solución de problemas en el marco de psicologías cognitivas**

El enfoque conductista dominante durante las primeras décadas, postulaba un análisis asociacionista de la conducta, negando o minimizando el valor funcional de los procesos mentales. Su influencia fue tal, que muchos psicólogos creen ver en el conductismo un auténtico paradigma caracterizado por una matriz disciplinar dominante durante un periodo de ciencia normal. Alrededor de 1960, sobreviene la crisis del conductismo, en la que se cuestionan sus presupuestos fundamentales, en particular: la insuficiencia del asociacionismo, la interpretación inadecuada del evolucionismo y la crisis de la noción de ciencia asumida por los conductistas que se apoyaba en el positivismo lógico.

En el nuevo paradigma empiezan a utilizarse conceptos mentalistas como *imagen mental*, *planes* y *estrategias*. Encontramos aquí un conjunto de intentos por desarrollar teorías de la cognición que abarcan un amplio abanico de posturas en su concepción de aprendizaje. La sola afirmación de que el hombre es un procesador de información, no especifica cuáles son las representaciones básicas, cuál es la fortaleza de la analogía hombre-máquina en caso que la suponga, cuál es el rol y origen de los significados. Estos aspectos son necesarios, porque dentro de esta orientación se cobijan desde posturas computacionales en su versión fuerte, en las que el corazón asociacionista del conductismo se encuentra reforzado, hasta versiones con enfoque fuertemente semántico con pretensión constructivistas. Es decir, no resulta sencillo mantener la categorización clásica de “psicología cognitiva” porque es el propio adjetivo *cognitivo* el que, en algún modo, ha perdido significado preciso.

Resulta interesante la reflexión de Rivière, A. (1987), pág.14. “*Dado que casi todos somos cognitivos, ha llegado el momento oportuno de hacer la pregunta más inoportuna: ¿en qué consiste ser cognitivo?, ¿qué es, en realidad, la psicología cognitiva?*” La preocupación de Rivière en dar respuesta se basa, según expone, en que cuando un concepto va adquiriendo un significado tan pluriforme y límites tan imprecisos, su carácter de “emblema paradigmático” no es garantía (sino más bien lo contrario) de significado compartido. (Vale la pena mencionar que en estos días la pregunta es igualmente pertinente para el vocablo *constructivismo*). Según Rivière (pág. 21), “*lo más general y común que podemos decir de la Psicología cognitiva es que refiere la explicación de la conducta a entidades mentales, a estados, procesos y disposiciones de naturaleza mental, para los que reclama un nivel de discurso propio*”.

Bajo este criterio, incluimos como enfoques cognitivos tanto a los desarrollos clásicos de procesamiento de la información y los actuales -integrados al marco de la ciencia cognitiva-, como a la psicología genética de Piaget, la psicolingüística de Chomsky, y las psicologías educativas de Vigotsky y Ausubel, por mencionar sólo algunos. De todos modos, quizá valga la pena resaltar que entre los desarrollos de procesamiento de información (clásicos o actuales) y aquellos denominados constructivistas, las diferencias más sustanciales se encuentran en el plano de los principios. Piaget, asume un metapostulado constructivista según el cual el sujeto construye su conocimiento del mundo a partir de la acción. Por el contrario, el procesamiento de la información, postula una relación inversa entre conocimiento y acción, pretende explicar cómo las representaciones mentales del individuo determinan su comportamiento.

Mayor, expresa: “*No existe una perspectiva unitaria en la psicología cognitiva actual, sino más bien una gran variedad de enfoques o paradigmas que apenas tienen en común su énfasis en los fenómenos mentales como agentes causales del comportamiento*” Mayor (1980) en de Vega, 1995.

El sujeto de la epistemología genética tiene una orientación epistemológica (pretende comprender la realidad), en cambio el sujeto del procesamiento de la información tiene orientación pragmática (desea controlar la realidad alcanzando metas). De este modo, cuando unos u otros estudian la resolución de problemas sus metas teóricas se alejan. Este el criterio por el cual separamos en: desarrollos pragmáticos y desarrollos constructivistas.

De todos modos, en los desarrollos que hemos denominados pragmáticos existe también una gran variedad de planteos. Quizá el único aspecto en común es que casi todos aceptan que en la mente existen representaciones estructuradas y procedimientos que operan sobre estas estructuras. La dispersión se produce acerca de cuál es la naturaleza de las representaciones. A lo largo del tiempo, se ha puesto mayor o menor énfasis en formatos representacionales para reglas, concepto o analogías. De este modo, enfoques esencialmente sintácticos han sido gradualmente superados por otros que incorporan el problema del significado.

#### ▪ **Desarrollos pragmáticos**

Hemos planteado que la crisis del conductismo, empieza por cuestionamientos internos que socavan presupuestos fundamentales. Pero esta crisis, se ve profundizada por lo que de Vega

denomina *factores ajenos a la psicología*. Entre ellos menciona los desarrollos de la teoría de la comunicación, la psicolingüística y las ciencias del ordenador. Sin duda estas últimas, favorecen la similitud funcional entre mente y ordenador y tienen una influencia determinante en el nuevo paradigma. Esta analogía consiste en concebir a ambos como sistemas de procesamiento de propósito general, ambos codifican, retienen y operan con símbolos y representaciones internas.

Un ejemplo prototipo de teoría de aprendizaje computacional es el desarrollo ACT (Adaptative Control of Thought) de John R. Anderson (1976-1983) basado en que “*todos los procesos cognitivos superiores, como memoria, lenguaje, solución de problemas, imágenes, deducción e inducción son manifestaciones diferentes de un mismo sistema subyacente*”. (Anderson en Pozo 1989, pág. 119). El sistema de procesamiento ACT está compuesto por tres memorias relacionadas: memoria declarativa, memoria procedural o de producciones y memoria de trabajo. Las primeras almacenan tipos distintos de conocimiento que interactúan en la memoria de trabajo. El conocimiento declarativo es estable y normalmente inactivo y el conocimiento procedural es el responsable de las acciones.

Dejando de lado los problemas que plantea la metáfora del computador (véase de Vega, 1995), uno de los resultados más fructíferos que presenta esta orientación en el campo de la resolución de problemas, ha sido el análisis de los componentes básicos que implica la simulación por computadora. Se propugna un análisis detallado de la secuencia de pasos o movimientos que debe realizar el sujeto en la resolución de un problema. La solución de un problema, parte de un estado inicial y trata de llegar a un estado final o meta, mediante la aplicación de operadores que transforman el estado inicial en otros intermedios.

Uno de los primeros programas destinados a la instrucción de resolutores de problemas desarrollados en este marco es el GPS (*General Problem Solver*), Ernst y Newell 1969, citado por Mayer 1983 y Newell y Simon 1972 citado por Simon H. A. 1980. El GPS trabaja a partir de un sistema de memoria de gran capacidad que almacena, entre otras cosas, estrategias complejas (programas) que son evocados por los estímulos. En sus primeras versiones partía de sistemas de procesamiento dotados de gran capacidad sintáctica que supuestamente le permitía enfrentarse a cualquier tarea con escasos conocimientos específicos. Debe notarse que los conocimientos específicos, debían ser “cargados” lo que traía aparejado problemas teóricos en cuanto a la necesidad de postular mecanismos de adquisición de esos conocimientos en humanos.

Estos modelos de procesamiento de la información son objetados por algunos autores (Mayer, 1983) en su pretensión de desarrollar teorías sobre la cognición, aduciendo que generan más bien un conjunto de instrumentos para analizarla. Dado que nuestro interés está centrado en las investigaciones en resolución de problemas, encontramos que es uno de los mejores aportes: haber podido proporcionar técnicas particulares de análisis y mostrar caminos para estudiar el proceso en partes.

Las investigaciones dentro de esta línea en las décadas de los 70 y 80, muestran que la preocupación básica es estudiar *cómo se representa* la información en la memoria y no la forma en que se adquieren o modifican tales representaciones, siendo poco probable entonces que se pueda elaborar una teoría de aprendizaje suficiente. Pozo cita al respecto palabras de Fodor “*la diferencia esencial entre el asociacionismo clásico y el computacional es sencillamente que en este último brilla por su ausencia cualquier teoría del aprendizaje*” (en Pozo 1989, pág. 56).

Este ha sido el marco teórico dominante de la mayor parte de las investigaciones recientes en resolución de problemas. En él se estudia cómo un procesador de información, humano o máquina, toma un problema establecido en “lenguaje natural”, lo convierte en una *representación interna* sobre la cual él puede operar, lleva a cabo las operaciones apropiadas necesarias y luego responde (“outputs”) el resultado. Las investigaciones mayormente buscan conocer cuál es el rol del conocimiento personal aportado a la tarea y cómo se usa con relación a la información dada en el problema. Obtener esta información detallada lleva a que los estudios son posibles con pocos individuos.

Los trabajos de mayor trascendencia, han estudiado diferencias entre expertos resolutores (habitualmente colegas de los investigadores) y novicios (habitualmente estudiantes). Esto ha dado lugar a una de las más importantes líneas de investigación en resolución de problemas en áreas específicas, conocida como “*diferencias entre expertos y novatos*”. Existen varios trabajos relevantes particularmente porque avanzan en la definición de variables explicativas y desarrollo de instrumentos para la investigación. Esta orientación, actualmente trasciende la resolución de problemas en el aula guiando otros estudios de procesos en los que se ponen en juego conceptos, actitudes y procedimientos como por ejemplo lectura comprensiva y producción de textos o actuación de profesores.

Existen numerosos trabajos en resolución de problemas en ciencias desarrollados en este marco, de los cuales citaremos algunos aportes significativos. Uno de los primeros son los estudios de Reif, Larkin y Brackett (1976). A partir de protocolos de “pensamiento en voz alta” encuentran que los estudiantes empiezan a resolver directamente sin tener en cuenta ninguna estrategia que guíe el proceso. Diseñaron un breve curso dirigido a un pequeño número de estudiantes, basado en las etapas de Polya. Si bien obtuvieron resultados alentadores, la brevedad del curso y los pocos alumnos dificultaron cualquier inferencia.

Otro estudio considerado pionero en el área de la física, es el llevado a cabo por Simon H. (1978), quien establece tres componentes principales a estudiar:

- *el que resuelve el problema, al que denomina “sistema de procesamiento de información”*
- *el problema denominado “entorno de la tarea”*
- *la representación del problema denominado “espacio del problema”.*

De estas tres componentes resulta especialmente útil la noción de *espacio del problema* que definen como la *representación interna* de quien resuelve el problema y que va desde un *estado inicial* (condiciones dadas o iniciales) hasta el *estado final* pasando por *estados intermedios del problema* por la aplicación de *operadores*.

Existen diversas estrategias para moverse en el espacio problema, interesa mencionar la denominada *análisis de medios fines*. Esta estrategia consiste en trabajar siempre en un objetivo a la vez, cada estado intermedio es *pensado como* un estado final.

Larkin (1979) trabaja con dos profesores de Berkeley y un muy buen alumno encontrando diferencias cualitativas en el almacenamiento de la información entre unos y otro. Reif y Heller (1981), a partir de observar cómo resuelven los especialistas, proponen estrategias de instrucción consistente en enseñar explícitamente un método que llaman de “refinamiento sucesivo” donde los diversos pasos se analicen por separado.

Larkin, Mac Dermott, Simon y Simon (1980), proponen un estudio con el objeto de “*descubrir que hay detrás de palabras como talento, intuición física, criterio o imaginación si es que queremos comprender la diferente performance de los expertos*”. Encontraron que estudiantes de física introductoria resuelven los problemas utilizando la estrategia de medios fines, mientras que físicos experimentados utilizan un camino más sinuoso pero con menos subobjetivos, es lo que denominaron “*unidad funcional amplia*”. Los expertos disponen de estrategias que les permiten “*saber qué hacer cuando*”.

La preocupación por un enfoque semántico, da lugar a otro conjunto de teorías denominadas teorías de los esquemas.

Pozo (1989), pág. 138, menciona a Rumelhart (1984) como uno de los autores prototípicos de las teorías de los esquemas, para quien los esquemas son: *paquetes de conocimiento en los que, además del propio conocimiento, hay información sobre cómo debe usarse ese conocimiento*. Es decir los esquemas son tanto declarativos como procedurales. Si bien estas teorías incorporan el concepto de reestructuración para la formación de nuevos esquemas son incapaces de explicar cómo se adquiere

los nuevos significados, situación grave dado el fuerte contenido semántico de la propuesta. Así en versiones posteriores del GPS ya mencionado, se desarrollaron los “sistemas expertos” en áreas temáticas específicas, programas denominados *semánticamente ricos*. Pozo, 1989, pág. 117. Estos programas eran dotados de gran cantidad de conocimientos en determinadas áreas, lo que les permitía resolver problemas muy complejos, siempre que pertenecieran a ese dominio de conocimientos.

Resulta natural que en esta época aumente la cantidad de estudios de resolución de problemas en áreas específicas y muy particularmente en las ciencias naturales, en las que la actividad de resolver problemas tiene una alta valoración por la comunidad que las practica. Mencionaremos sólo algunos y volveremos sobre otros en el próximo capítulo al estudiar los factores explicativos en las investigaciones. De todos modos, justamente por ser el marco teórico de mayor producción interesa aclarar que esta presentación no es en absoluto exhaustiva y puede, bajo otro criterio, no ser la más representativa. Enunciamos algunos, con sus características salientes.

Chi, Feltovich y Glaser (1981), estudian la clasificación de un conjunto de problemas que hacen expertos y novicios. Los especialistas atienden a la estructura profunda del problema mientras los novatos los clasifican por los aspectos superficiales. Esto llevaría a que unos y otros “no ven” los mismos problemas. Un estudio con características similares hacen Hardiman, Dufresne y Mestre (1988) involucrando 45 estudiantes que han cursado Mecánica Clásica, 8 doctores en física y dos estudiantes de posgrado, confirman los resultados obtenidos por Chi y otros. Zajchowsky y Martin (1993) trabajan con 10 estudiantes de primer año de la carrera de Física y estudian su desempeño ante dos problemas, uno fácil y otro difícil y su relación con la organización del conocimiento. Encuentran correlación positiva.

Como puede verse, la mayor parte de los trabajos de esta línea a partir de la década de los 80, está orientada por dos ideas fundamentales: para resolver exitosamente problemas es necesario tanto aprender conocimientos específicos como adquirir procedimientos generales que puedan aplicarse al conocimiento básico.

Existen otros desarrollos actuales también categorizados como enfoques pragmáticos que, en el marco de la ciencia cognitiva, pretenden recoger las bondades de los enfoques sintáctico y semántico. Debe tenerse en cuenta que la categorización de pragmáticos se hace sobre la base del sentido entre el conocimiento y la acción y no porque nieguen la construcción del conocimiento. Tal es el caso de desarrollos que proponen la representación del conocimiento mediante *modelos mentales*. Este concepto surge bajo la idea que los sistemas cognitivos construyen modelos de las situaciones con las que interactúan que les permiten no sólo interpretarlas sino también hacer predicciones a partir de ellas. La diferencia esencial con los esquemas es que además de estar dotados de sintaxis, los modelos mentales se construyen en ocasión de cada interacción.

Johnson Laird (1983), elaboró una teoría general del razonamiento humano en la que están ausentes las reglas de inferencia de las teorías racionalistas. La resolución de tareas se basa en la construcción de modelos mentales dotados de recursividad. Esta teoría es capaz de interpretar tanto las respuestas racionales como los errores más frecuentes en el razonamiento humano. Según el autor, habría diferencias estructurales según el modelo mental da cuenta de una situación según sea *percibida o concebida*. En el primer caso, se construye un modelo *mental físico* que incorpora elementos y relaciones concretas. La única relación abstracta posible en un modelo mental físico es la relación causal. Los segundos, los denomina *modelos mentales conceptuales* formados por elementos y relaciones abstractas incorporando operadores y cuantificadores lógicos. Esta característica sumada a la recursividad les otorga gran potencia explicativa. Otra ventaja radica en que estos modelos incorporan también cuantificadores del lenguaje natural tales como *la mayoría, muchos, varios, pocos*. Johnson Laird, dedica especial atención al problema del significado enunciando una teoría de la comprensión.

Está claro que en caso de poder desarrollar una teoría de aprendizaje en este marco, ésta sería realmente fructífera para la resolución de problemas ya que finalmente se podría hablar de modelos

que den cuenta de la performance de individuos ante determinadas situaciones que involucren el *saber qué y saber cómo*.

#### ▪ La solución de problemas en el marco de teorías constructivistas

Mientras se producían importantes avances en las teorías computacionales, el camino seguido paralelamente por otro conjunto de psicólogos difería notablemente. La preocupación estaba centrada en los significados y, a pesar de diferencias entre ellos, coincidían en rechazar las asociaciones como mecanismos causalmente eficientes. Consideraron al sistema como un organismo y no como un mecanismo. Aparece aquí el concepto de *aprendizaje significativo*.

En este apartado nos referiremos a aquellos desarrollos que denominados clásicamente cognitivos conciben el aprendizaje como reestructuración de conocimientos, línea que Pozo (1989) caracteriza como de carácter organicista y estructuralista. Este enfoque tiene como precursor los estudios de la Gestalt y en alguna medida las teorías de los esquemas desarrolladas por Bartlett. Prevalece en ellos una negación al principio de correspondencia proporcionando una concepción “*constructivista*”.

De los muchos aportes nos referiremos solamente a los de Piaget y Ausubel. El primero porque traduce con claridad la influencia de las concepciones biológicas, así el sujeto es ante todo un ser vivo que por su propia naturaleza es cambiante. De este modo, si bien Piaget se ocupó en muy pocas ocasiones explícitamente del aprendizaje, admite el cambio continuo de conocimientos y destrezas aceptando de este modo que el aprendizaje es intrínseco a los seres vivos. *Para presentar una noción adecuada de aprendizaje, hay primero que explicar cómo procede el sujeto para construir, inventar, no simplemente cómo repite y copia*” (Piaget, 1970 en Pozo, 1989 pág. 178).

La elección de Ausubel se justifica por ser uno de los desarrollos que con una posición constructivista está claramente orientado hacia la enseñanza, con referencia explícita a otras variables instruccionales. Por otro lado, Ausubel se ocupa específicamente de los procesos de aprendizaje y de enseñanza de conceptos científicos a partir de los conceptos previamente formados en la vida cotidiana, constituyendo una de las primeras propuestas que tiene en cuenta los conocimientos previos de los aprendices. “*Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese consecuentemente.*” ( Ausubel, reimpresión 1992).

#### Desarrollos piagetianos

No sería posible intentar resumir ni dar lineamientos generales de la teoría de Piaget en estas pocas páginas. Mencionaremos sólo algunos de los aspectos más salientes que, a nuestro criterio, puedan estar más relacionados con el tema que nos ocupa y permita marcar similitudes y diferencias con los desarrollos mencionados anteriormente. Hemos ya citado la orientación epistemológica de los desarrollos piagetianos, pero además, existen diferencias en el lenguaje teórico utilizado. Piaget utiliza el lenguaje de la lógica simbólica, para lo cual asume un isomorfismo entre las estructuras mentales y las reglas lógicas.

A riesgo de una excesiva simplificación, si tuviéramos que resumir en una frase elegiríamos “*La Epistemología Genética piagetiana es un intento de establecer los procesos y estructuras mediante los cuales las personas construyen el conocimiento científico*” (Pozo, 1996, pág. 114). Esta sola afirmación da cuenta de la importancia que para el aprendizaje de la ciencia y la resolución de problemas tienen estos desarrollos. Consecuente con la búsqueda de procesos y estructuras, Piaget propone un modelo evolutivo basado en el cambio, de modo que a cada estado de desarrollo le corresponderían estructuras y formas de pensar cualitativamente diferentes. De este modo, “*según la teoría piagetiana la capacidad de aprendizaje científico de los alumnos depende de su nivel de desarrollo de capacidades intelectuales generales*” (Pozo, 1996, pág.113). Interesa valorar las características funcionales de estas estructuras, que serían las que determinan el abordaje y solución

de problemas científicos. Piaget distingue entre operaciones concretas y operaciones formales. Estas últimas se basan en representaciones proposicionales de los objetos, más que en los objetos mismos y necesitan un tipo de lenguaje más analítico que las operaciones concretas. “*El rasgo funcional más importante del pensamiento formal es su naturaleza hipotético-deductiva, ... esto supone un rasgo esencial del pensamiento científico que lo diferencia de otros tipos de pensamientos abstractos*” (Pozo, 1996, pág. 115)

Otro de los aspectos de la teoría piagetiana, relacionado al aprendizaje de las ciencias que interesa destacar, es lo que ha sido denominado la Teoría de la Causalidad de Piaget. Los desarrollos piagetianos dan lugar a numerosas investigaciones sobre causalidad. En particular, Piaget es autor de los primeros trabajos sobre las ideas causales en problemas de mecánica. (Piaget, 1972, 1973). A punto tal que Pozo (1987), pág. 39 expresa “*Si la obra de Kant puede considerarse como un intento consumado de establecer una metafísica newtoniana, la Epistemología Genética de Piaget sería un intento de elevar dicha metafísica al rango científico de epistemología, adoptando para ello un enfoque historicista genético.*” La importancia de la causalidad se acrecienta en sus últimos trabajos en los que pasa a ocupar un lugar relevante en el proceso de *equilibración*.

Para Piaget el aprendizaje está regido por un proceso de *equilibración*. De este modo el aprendizaje se produciría sólo cuando antes ha tenido lugar un *desequilibrio* o *conflicto cognitivo*. Esto es un aspecto central en la resolución de problemas. La *equilibración* se da entre los procesos de *asimilación* y *acomodación*. La asimilación en términos psicológicos es el proceso por el cual el individuo “*interpreta la información que proviene del medio, en función de sus esquemas o estructuras conceptuales disponibles*”. (Pozo, 1989, pág. 178). Pero, si el conocimiento fuera basado sólo en la asimilación, si fuese sólo interpretación en función de los esquemas disponibles, el individuo podría “conocer” un mundo irreal. Es necesario un proceso complementario que Piaget denomina *acomodación* y define; “*llamaremos acomodación a cualquier modificación de un esquema asimilador o de una estructura, modificación causada por los elementos que se asimilan*”. (Piaget, 1970 en Pozo, 1989 pág. 180). Ambos procesos, asimilación y acomodación, se implican necesariamente. No hay asimilación sin acomodación, ni acomodación sin asimilación. Según Piaget, el progreso de las estructuras cognitivas se basa en una tendencia creciente al equilibrio entre ambos procesos. La teoría también prevé que cuanto mayor sea ese equilibrio menores serán los errores o fracasos producidos por asimilaciones. Queda claro que sólo de los *desequilibrios* entre estos procesos surge el aprendizaje, para lo cual la *toma de conciencia* del conflicto por parte del sujeto es condición necesaria. Esta circunstancia es sumamente importante en la solución de problemas.

A partir de la obra de Piaget se desarrollan numerosos estudios a fin de indagar cómo funciona el pensamiento causal en la mayor parte de los adultos, cómo en los niños y qué tiene en común con el pensamiento causal de un científico.

Otro aporte significativo a los estudios en resolución de problemas, dentro de este enfoque, lo constituyen las investigaciones sobre covariaciones (reglas de inferencia), en particular los desarrollos en estudios de control de variables. En todos los casos se presentaba a un individuo un aparato que debía manipular y descubrir las leyes físicas que lo gobiernan. Numerosos estudios con varillas, péndulos, balanzas y planos inclinados, se han desarrollado posteriormente para replicar los trabajos piagetianos.

La investigación piagetiana, ha tenido especial desarrollo en las ciencias biológicas y ha incluido tanto las concepciones que tienen los estudiantes acerca de fenómenos como las operaciones cognitivas que se supone subyacen en el pensamiento científico. En particular en genética hay abordajes para buscar correlaciones entre niveles operacionales piagetianos y éxito en resolución de problemas. (Gipson y Abraham, 1985; Gipson, Abraham y Renner, 1989; Walker, Mertens y Hendrix, 1979, citados en Stewart y Hafner 1994).

Sin embargo, Steward (1982), refiere: "*en la tradición piagetiana se ha hecho poco análisis de solución de problemas en aquellos dominios donde se visualizan simultáneamente los conocimientos conceptuales y las estrategias de solución*".

En el área de la física, entre los estudios que reconocen explícitamente el marco piagetiano podemos citar Mandell\*\* (1980) que busca, a partir de entrevistas grabadas, características en el proceso de solución de problemas de alumnos de ciencias, en particular frente a tareas piagetianas. Arons\*\* (1981) trabaja con profesores de física y alumnos de cursos introductorios investigando las dificultades en el uso de razonamiento proporcional, en conceptos que denomina "claves": instante, velocidad y posición instantánea y la consiguiente dificultad con las leyes de Newton. Aguirre de Carcer\*\* (1983), cita a Piaget como marco para un estudio en el que investiga la relación entre explicaciones de textos de física de escuelas secundarias españolas y el desarrollo de una etapa formal de los alumnos. Linn\*\* (1983) estudia, con alumnos de 18 - 19 años, factores que inciden para la utilización o no de mecanismos de control de variable. Gorodetsky, Hoz y Vinner\*\* (1986), trabajan con 563 alumnos de física de 12 escuelas diferentes. Se les plantea problemas aparentemente similares que involucran los conceptos de velocidad, tiempo y desplazamiento, pero con dificultades y soluciones diferentes y pretenden caracterizar el conocimiento conceptual y procedural de los estudiantes. (\*\* en da Costa, 1997)

Interesa también mencionar, el desarrollo de la *entrevista clínica* lo que representa un aporte significativo para las investigaciones en resolución de problemas. Este instrumento, de carácter psicoanalítico ha completado las tradicionales pruebas de lápiz y papel pero, si bien proporciona información muy rica, es escasamente estructurada y difícil de replicar en otras investigaciones.

Desde el punto de vista de la instrucción, la teoría de Piaget enfrenta algunos problemas cuando se intenta trasladarla a las aulas. Por un lado, el mismo carácter general de los desarrollos piagetianos para explicar el pensamiento formal al margen del contenido, hace difícil su uso como criterio de análisis de tareas científicas específicas. Y por otro, existe una marcada defensa de la enseñanza por descubrimiento y poca o ninguna preocupación por la educación formal. Transcribimos una de las frases más conocidas que dan cuenta de ello: "*cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente*" (Piaget, 1970 en Pozo 1989 pág. 191). Esto representa, quizá, una de las diferencias más fuertes con la posición ausubeliana.

### **Desarrollos ausubelianos**

Seleccionamos la teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel, fundamentalmente por ser una de las pocas que, en un marco constructivista, se define a sí misma como una *psicología educacional*, que manifiesta desde su primera página una seria preocupación por los aprendizajes ocurridos en las aulas. En este marco advierte que como *ciencia aplicada no trata las leyes generales del aprendizaje en sí mismas, sino tan sólo aquellas propiedades del aprendizaje que pueden relacionarse con las maneras eficaces de efectuar deliberadamente cambios cognoscitivos estables que tengan valor social*. (Ausubel, 1953 en Ausubel, Novak y Hanesian, 1992, pág. 22).

Como en los otros casos, daremos sólo características muy generales que puedan significar aportes a las investigaciones en resolución de problemas. Un primer aspecto que interesa destacar es la diferencia establecida por Ausubel entre aprendizaje y enseñanza. Retoma ideas de Smith (1960) para decir que *aprendizaje y enseñanza son fenómenos diferentes e identificables como tales* (pág.

26). Con esta afirmación sale al paso de lo que denomina una confusión semántica puesta en evidencia con frases como “*si el alumno no entendió es porque el profesor no le enseñó o lo hizo mal*”. Agrega: “*Enseñar y aprender no son coextensivos, pues enseñar es tan sólo una de las condiciones que pueden influir en el aprendizaje.*” Ciertamente reconoce la interdependencia de los dos procesos pero las teorías de aprendizaje y enseñanza no pueden una ser sustituida por la otra.

Se ocupa explícitamente de la investigación educativa. Al respecto analiza las dificultades de extrapolar al aula investigaciones educativas de “laboratorio”. Dificultades que tienen que ver no sólo con la pertinencia sino también con la posibilidad de generalizar. De este modo revaloriza lo que denomina “*investigaciones a nivel aplicado que traten con los problemas reales de la educación, al nivel de complejidad en que existen y bajo las condiciones en que se encuentran en la práctica*” (pág. 32). Estima que las dificultades que encuentra el investigador al planificar su tarea en un aula real, los problemas para controlar variables, la dificultad en las mediciones; se ven recompensadas cuando se resuelve un problema. Por otro lado, considera que muchas de las generalizaciones de la psicología educativa son “*ideas interesantes y potencialmente útiles*” para especialistas en planes de estudio o tecnólogos, pero de escasa utilidad para la práctica educativa

Ausubel define *aprendizaje significativo*, a nuestro criterio uno de los conceptos más corrientemente mencionados en la actualidad en la investigación y práctica educativa. Si bien lo considera opuesto al *aprendizaje mecánico o memorístico*, establece que no son dicotómicos, sino que existiría un continuo entre uno y otro. Revaloriza el *aprendizaje por recepción*, por esa época enfrentado al *aprendizaje por descubrimiento autónomo*, proponiendo también un continuo entre ellos, pero en una dimensión diferente a la de significatividad. En esta instancia hace referencia explícita a la solución de problemas, a los que pone como ejemplo cumbre de significatividad y autonomía. Establece con claridad que tanto el aprendizaje por recepción como por descubrimiento autónomo pueden ser mecánicos o significativos dependiendo de las condiciones en que ha sido aprendido.

La concepción de problema mantenida por Ausubel, se infiere claramente de su crítica a los denominados “*problema-tipo*” y lo que denomina “*una proeza*” de los estudiantes: *poder memorizar un conjunto de expresiones algebraicas que sin entender aplican para llegar a la solución.* (pág. 38). Pone a estos problemas tipo, en el mismo nivel de aprendizaje mecánico que a las experiencias de laboratorio a la manera de “*receta de cocina*”. Expone que para que estas experiencias sean genuinamente significativas sería necesario que se den dos condiciones:

- ✓ Deben fundarse en conceptos y principios claramente comprendidos.
- ✓ Las operaciones constitutivas deben ser significativas por sí mismas.

Para Ausubel, la resolución de problemas es una forma de aprendizaje significativo por descubrimiento, sin embargo cuando analiza el proceso distingue:

- ✓ La comprensión de las condiciones del problema y la asimilación de la solución son momentos de aprendizaje significativo por recepción.
- ✓ La transformación y reintegración de conocimientos existentes para adaptarlos a las demandas de la tarea son momentos de aprendizaje por descubrimiento.

De lo anterior infiere que las variables más importantes que influyen en los resultados de la resolución de problemas son:

- La disponibilidad de conceptos y principios en la estructura cognitiva, pertinentes con las demandas del problema particular.

➤ Características cognitivas y de personalidad como la agudeza, capacidad de integración, estilo cognitivo, entre otros.

Puede verse que existe una similitud entre los factores apuntados por Ausubel y los conceptos de “conocimiento declarativo” y “conocimiento procedural” desarrollados por las teorías de procesamiento de la información.

Como con los otros factores estudiados, Ausubel hace expresa referencia a la implementación de resolución de problemas en el aula. Al respecto señala que, si bien la resolución de problemas es un tipo de aprendizaje por descubrimiento, (al que ya ha comparado con la actividad científica), en realidad en el aula no es un descubrimiento autónomo, sino que lo cataloga como descubrimiento guiado.

Se refiere también a la utilización de los “problemas tipo”. Consistente con su posición frente a la práctica o ejercitación (desarrollada en el ítem II.1). Entiende que tal actividad no es negativa, en tanto los alumnos puedan identificarlos como problemas que pertenecen a una clase mayor. De este modo, quien resuelve, comprende los principios, por qué se aplican en ese caso particular, cuál es la relación entre ellos y cuáles las operaciones que se han realizado. Reconoce, sin embargo, que no es ésta su función habitual en las aulas, en las que son utilizados como ejercicios repetitivos.

Plantea que existen diferencias individuales en el tipo de abordaje a los problemas, de los que reconoce dos en particular y que denomina “por ensayo y error” y “por discernimiento”. Para Ausubel, estas maneras en que una persona enfrenta un problema dependen del tipo de problema, la edad, experiencia previa e inteligencia del sujeto. El ensayo y error consiste en la variación y correlación, aleatoria o sistemática, de respuestas hasta dar con la solución. El enfoque por discernimiento, en cambio, supone una disposición hacia el descubrimiento de una relación significativa de medios-fines que fundamente la resolución. En este último, la solución “parece” surgir súbitamente, pero está acompañada invariablemente cuando menos, de una comprensión implícita del principio que fundamenta la solución, aún cuando no pueda expresarse verbalmente. La comprensión se evidencia tanto porque el sujeto posteriormente, puede reproducir la solución al mismo problema, cuanto porque es transferible a problemas similares. “*La transferencia es, quizá el criterio más importante del discernimiento. La comprensión, verbalizada con exactitud, de un principio general facilita enormemente (por transferencia) la resolución de problemas particulares que ejemplifica*” pág. 487.

El aprendizaje significativo de conceptos o proposiciones, se pone en evidencia en la resolución de problemas que los involucra, y a su vez la resolución de problemas puede ser un tipo de aprendizaje significativo de los conceptos que lo sostienen. De este modo, la actividad de resolver problemas, *se facilita* por la comprensión de los conceptos o principios. Advertimos que utilizamos el término *facilita*, toda vez que hemos analizado la complejidad de la actividad de resolver problemas. En todo caso estamos diciendo que *el aprendizaje significativo de conceptos y principios es condición necesaria para la resolución de problemas en física. (nos referimos a una resolución como la que Ausubel categoriza por discernimiento)*. Establecemos asimismo, que como se desprende de la teoría, tal aprendizaje significativo no es el resultado de una enseñanza incidental sino que toda la instrucción debe estar diseñada e implementada coherentemente a tal fin.

Ausubel se refiere también a la emisión de hipótesis durante el proceso de resolución de problemas. Establece que ésta es condición necesaria, pero no asegura una resolución por discernimiento. “*Formular hipótesis es condición necesaria pero no suficiente para resolver problemas comprensivamente, y de ninguna manera asegura que se esté adoptando un enfoque perspicaz al resolver un problema particular. A menos que las hipótesis incorporen relaciones de medios-fines, representarán simplemente la eliminación sistemática por ensayo y error de las opciones existentes*”. pág. 487. De este modo deja claro, que el discernimiento surge de la

disposición para emitir hipótesis con objeto de entender las relaciones que existen entre los medios y los fines de un problema.

Es obvio entonces, que la estructura cognitiva juega en este proceso, un rol decisivo. Si los conocimientos existentes en la estructura cognitiva son claros, estables y discernibles, facilitan la resolución de problemas. Sin tales conocimientos la resolución de problemas es imposible, en principio porque la persona no podría ni siquiera entender la naturaleza del problema que enfrenta.

Con esta brevísima descripción es posible comprender que la mayor parte de las investigaciones en resolución de problemas en el marco de desarrollos ausubelianos, han estado hechas para analizar efectos de intervenciones instruccionales o al menos se han llevado a cabo en contextos de aula.

Una de los primeros trabajos es el de Thorsland y Novak (1974) que investigaron la manera en que abordan la resolución de problemas, estudiantes de física en un curso regular. Encontraron que podían categorizar a los alumnos en dos clases: abordaje analítico o intuitivo y, a partir de la teoría de Ausubel justificar diferencias en sus estructuras cognitivas. Novak, Gowin y Johansen (1983) ponen a prueba una estrategia instruccional en la que incorporan mapas conceptuales y V epistemológica para mejorar el desempeño de los alumnos en resolución de problemas. Bascones y Novak (1985) llevan a cabo en Venezuela un estudio con 76 estudiantes secundarios en clases de física. Ponen a prueba un diseño instruccional basado en la teoría de Ausubel, incorporando mapas conceptuales y estudian su incidencia en la resolución de problemas. Trabajan con un grupo control instruido de manera tradicional. El grupo experimental obtiene mejores resultados. Encuentran que la comprensión verbal es una variable relevante en la resolución de problemas. Otro estudio con este marco, fue desarrollado por Rosa, Moreira y Buchweitz\*\* (1992), que busca relacionar los resultados en resolución de problemas con los de un test de asociación de conceptos, para de allí inferir diferencias en la manera que los conceptos son almacenados en la estructura cognitiva. Peduzzi, Moreira y Zylberstajn\*\* (1992), utilizan la resolución de problemas en el marco del aprendizaje significativo para enfrentar las ideas intuitivas de los alumnos reflexionando sobre los aspectos conceptuales de la situación. Lang da Silveira, Moreira y Axt\*\* (1992) realizan el estudio (1985-1989) con alumnos de ingeniería encontrando que el dominio conceptual es condición necesaria pero no suficiente para resolver problemas. (\*\* en da Costa, 1997).

## Conclusiones

Ha sido nuestra intención mostrar que la diversidad de enfoque teóricos, los que por otro lado encuentran diferentes factores que inciden en la resolución de un problema en áreas específicas, hace que sea prácticamente imposible arribar a una conclusión. Podemos en todo caso destacar algún aspecto de cada lineamiento teórico que, a nuestro criterio sea sobresaliente o pueda aportar al desarrollo de una teoría unificada.

De los primeros desarrollos es necesario revalorizar aportes a la instrucción del tipo de Polya. La investigación posterior, si bien ha descartado la posibilidad de generalizar estos planteos independientemente del contenido, ha seguido trabajando sobre ellos. Lo mismo sucede con la insistencia de los conductistas en la necesidad de favorecer una abundante práctica extendida en el tiempo. Si bien desde otros lineamientos más ligados al significado, es un aspecto reconocido aún desde los planteos más constructivistas. A partir de estos desarrollos, no existen avances en la comprensión de los procesos, lo cual es razonable dada las características de las concepciones que mantienen. Para el conductismo, los procesos o no existen o considera imposible estudiarlos por métodos objetivos.

En cuanto a la teoría de la Gestalt, es necesario rescatar la noción de pensamiento productivo y reproductivo así como la valoración de la experiencia previa la que puede actuar favorablemente en la resolución (transferencia positiva) o como obstáculo (fijeza funcional). No proporcionan aportes

claros y evaluables a la instrucción, lo cual es compatible con la misma vaguedad en la definición de pensamiento y escaso desarrollo de instrumentos.

Los desarrollos a la luz de los modelos de procesamiento de la información, son sin lugar a dudas los de mayor aporte al conocimiento de los procesos involucrados en la resolución de problemas. A nuestro criterio esto puede también ser consecuencia de que, con mayor o menor éxito se organizan programas de investigación. Es decir existen simultáneamente un conjunto de investigadores que trabajan desde un mismo marco, haciendo posible la invaluable etapa de contrastación y discusión de resultados. En este marco también se desarrollan una serie de instrumentos para analizar los procesos y diferencias individuales. Sin embargo, dadas las características de las investigaciones, en las que mayoritariamente se estudian procesos en individuos, los trabajos involucran escasísimo número de sujetos y en ambientes fuera del aula. Esto naturalmente hace que los aportes a la instrucción sean muy limitados.

En cuanto a los aportes piagetianos, destacamos el estudio de la evolución del pensamiento, desde el pensamiento cotidiano al científico; el desarrollo de tareas muchas de ellas específicamente en ciencias y el desarrollo de la entrevista clínica. En lo que hace a sus aportes a la instrucción, si bien muchos currículos de la época se modificaron a la luz de los desarrollos piagetianos, no se ha demostrado ni que el pensamiento formal sea tan general e independiente del contenido como podría presuponerse y menos aún que todos los adolescentes (ni adultos) utilicen el pensamiento formal.

Finalmente, de los desarrollos ausubelianos rescatamos el concepto de aprendizaje significativo, que además el mismo Ausubel liga fuertemente a la resolución de problemas. También encontramos sumamente valioso su descripción de investigación educativa con un fuerte compromiso con el aula. Pero justamente por ello, las investigaciones ausubelianas en resolución de problemas, llevadas adelante generalmente en contexto de aula, enfrentan problemas en la definición de variables más precisas como las estudiadas en el marco del procesamiento de la información.

A nuestro criterio, mientras no se consiga coordinar las acciones entre investigadores al menos en la definición de algunas variables relevantes que puedan ser estudiadas como factores explicativos, definición de un conjunto de tareas que puedan considerarse problemas y algunos instrumentos válidos y confiables, será muy difícil producir avances significativos en el área.

Se ha visto entonces, que esta diversidad constituye un obstáculo para quien intente conocer el estado actual en el tema. En el capítulo siguiente, adoptando un criterio, presentamos una clasificación de investigaciones en resolución de problemas en ciencias.

### **Investigaciones en resolución de problemas y factores explicativos**

La revisión de la sección anterior ha pretendido mostrar la diversidad de enfoques no sólo teóricos y metodológicos, a lo largo del tiempo, sino también la variedad de factores que inciden en la resolución de problemas en física. Claramente, la revisión cronológica representa una dificultad para quien desee conocer el estado del arte en ésta área.

En las últimas décadas, sin embargo, aparece una tendencia más organizada en las investigaciones, lo que permite intentar una categorización. Existen varias publicaciones, que con diferentes criterios pretenden agrupar distintos estudios (Steward, 1982; Mayer, 1983; Perales Palacios, 1993; Ault, 1994; Barr, 1994, Gabel y Bunce, 1994; Helgeson, 1994; Maloney, 1994; Steward y Hafner, 1994).

Entendemos que en general (independientemente del enfoque teórico al que adhiera), en toda investigación están presentes: una descripción del problema que se plantea (las preguntas que se intenta responder), los factores o variables que se utilizan para intentar explicar a aquellas (que

suelen denominarse “variables independientes”), algún modelo o enunciados teóricos en el que cobran sentido las variables y alguna referencia a los procesos de recolección de información.

Hemos visto que, por la propia complejidad del objeto en estudio, la pretensión de agrupar los trabajos por lineamientos teóricos, no es fructífera. Proponemos entonces clasificar las investigaciones en torno a los factores explicativos, es decir aquellos que han sido seleccionados como variables independientes por los investigadores. Del conjunto de factores posibles, adaptamos una selección hecha por Lester (1983) para la resolución de problemas en matemática. Este criterio, para los estudios en ciencias, aún sin ser exhaustivo da una idea bastante representativa de los avances de los últimos tiempos. Debe quedar establecido que, tratándose de un área esencialmente aplicada, interdisciplinaria y aún atórica, no existen trabajos “puros”, es decir esta clasificación no significa una partición de los estudios. Un trabajo puede intentar explicar más de una variable o no estar todas ellas perfectamente definidas. Para cada factor, daremos un conjunto de referencias y luego explicitaremos algunos de los trabajos con objeto de ejemplificar la clasificación. Los factores explicativos que hemos agrupado son:

- **La tarea.** Investigaciones que estudian el efecto de la tarea propuesta como problema, se interesan por el contenido, la estructura del problema, la sintaxis, problemas académicos, problemas de la vida cotidiana, problemas con enfoque tecnológico, etc.

Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1983; Anzai y Yokoyama\*, 1984; Sweller, 1988; Reusser\*, 1988; Bassok\*, 1990; Garret, Satterly, Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1990; Ward y Sweller, 1990; Hegarty\*, 1991; Lesgold y Lajoie\*, 1991; Van Heuvelen\*, 1991; Johsua y Dupin, 1991; Heller, Keith y Anderson, 1992; Heller y Hollabaugh, 1992; Maloney y Siegler\*, 1993; son algunos de los trabajos que estudian características de problemas de ciencias, vinculadas a alguna otra variable que puede ser la performance, la posibilidad de transferencia o procesos entre otras.

\* **La persona que resuelve.** Estudios que intentan explicar el efecto de lo que la persona “trae” al problema. Características del individuo: experiencia previa, conceptos previos, edad, reacción bajo estrés, tolerancia al fracaso, independencia de campo, etc. Thorsland y Novak, 1974; Shavelson y Stanton\*, 1975; Larkin, Mc Dermott, Simon y Simon, 1980; Chi, Feltovich, y Glaser, 1981; Peduzzi y Moreira, 1981; Reif\*\*, 1982; Larkin\*, 1983; Perales y Cervantes\*\*, 1984; Eylon y Reif\*, 1984; Larkin\*, 1985; Veldhuis\*, 1986; de Jong y Ferguson-Hesler\*, 1986; Walker, 1987; Hardiman, Dufresne y Mestre\*\*, 1988; Chi, Bassock, Lewis, Reimann y Glaser, 1989; Robertson, 1990; Veldhuis, 1990; Ferguson-Hesler y de Jong, 1990; Rozier y Viennot, 1991; Lang da Silveira, Moreira y Axt\*\* 1992; Reif y Allen, 1992; Zajchwski y Martin\*\*, 1993; Chambers y Andre, 1997; son estudios que ubicamos en esta clase.

\* **El proceso puesto en juego.** Trabajos que investigan acerca de las actividades físicas o mentales del sujeto que resuelve problemas y que generalmente se estudian junto a las categorías anteriores. Reif, Larkin y Bracket, 1976; Bhaskar y Simon\*, 1977; Simon y Simon\*, 1978; Larkin, 1979\*\*; Larkin y Reif, 1979\*; Larkin, 1980; Larkin, Mc Dermott, Simon y Simon, 1980; Larkin y Rainard\*\*, 1984; Heller y Reif, 1984; Larkin, Reif, Carbonell y Gugliotta\*, 1988, Dufresne\*\*, 1988; Krajcik, Simmons y Lunetta\*\*, 1988; Elio y Scharf, 1990; Mc Millan y Swadener, 1991; VanLehn, 1991; Rosa, Moreira y Buchweiz\*\*, 1992; son estudios que particularmente obtienen resultados en los procesos, si bien como dijimos generalmente estudiados con relación a la persona, al problema, a la efectividad en la resolución o al contexto entre otros.

\* **El entorno.** Características ajenas a la persona y a la tarea. Uno de los más estudiados es sin duda la instrucción. Aquí también encontramos un amplio conjunto de investigaciones. Son pocas las que estudian directamente factores ajenos a la enseñanza, aunque algunos, indirectamente sacan conclusiones. Mencionamos: Polya, 1945; Larkin\*, 1979; Larkin y Reif\*\*, 1979; Greeno\*\*, 1980; Rubinstein, 1980; Reif\*\*, 1981; Reif y Heller, \*\*1981; Mettes, Pilot y Roossink\*, 1981; Richardson\*, 1981; Arons\*\*, 1983; Driver y Erickson\*\*, 1983; Novak, Gowin y Johansen, 1983; Peduzzi\*\*, 1984; Bascones y Novak, 1985; Wright y Williams, 1986; Driver\*\*, 1986; Reif\*\*, 1987; Gil Pérez, Martínez Torregrosa y Senent-Pérez, 1988; Reusser\*, 1988; Mestre y Touger\*\*,

1989; Ward y Sweller, 1990; Palumbo, 1990; Pankratius, 1990; Watts, 1991; Peduzzi, Moreira y Zilberstajn\*\*, 1992; Dufresne\*\*, 1992; Heller, Keith y Anderson (1992); Mestre, Dufresne, Gerace, Touger y Hardiman\*\*, 1993; Halloun, 1996. Hemos incluido aquí una interesante línea que aborda la dicotomía entre: *aprendizaje para resolver problemas de física* y *resolución de problemas para aprender física*. Maloney (1994) refiere algunos estudios que muestran que suponer la equivalencia entre ambas proposiciones es cuanto menos “demasiado optimista”. Esta línea, en general, aborda la instrucción con relación al tipo de problemas, pretendiendo obtener conclusiones relativas a la estructura conceptual.

(\* en Maloney, 1994; \*\* en da Costa, 1997)

**Metodología de Investigación y desarrollo de instrumentos.** Si bien no corresponde a un factor explicativo, es necesario referir que la metodología de investigación y el consiguiente desarrollo de instrumentos para recoger información, son un fiel reflejo de la diversidad de enfoques teóricos. La primera dificultad, surge en la falta de acuerdo respecto de si interesa medir “capacidades” (*competence*) - entendidas como conjunto de habilidades generales o específicas que un individuo debe poseer para resolver problemas - o “desempeño” (*performance*) entendida como la puesta en juego de las capacidades.

Los primeros trabajos son de naturaleza estadística y emplean, en general, alguna categorización de las pruebas llamadas de lápiz y papel. En el grupo de estudios surgidos a la luz de modelos de procesamiento de la información, se visualiza un cierto consenso en el uso de los denominados “protocolos verbales” contruidos a partir de cintas o vídeo grabados del pensamiento “en voz alta” de los sujetos involucrados. A partir de los desarrollos piagetianos comienza a utilizarse la entrevista clínica, generalmente como complemento de otros instrumentos. Esta presenta dos problemas importantes: la necesidad de una formación especial por parte del investigador y la dificultad para su transcripción. Hay también estudios que proponen los mapas conceptuales, pero el entrenamiento previo que necesita su trazado podría afectar sensiblemente los resultados. La mayor dispersión se observa en el grupo de investigaciones que estudian el efecto de los factores de la instrucción. Entre éstos, en general, son pocos los trabajos que informan de estudios de validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados. Esto, sin duda, genera un conflicto importante a la hora de comparar resultados.

### **Investigaciones que estudian la incidencia de la tarea**

Desde los primeros trabajos de Polya hubo un intento en dividir el problema en problemas más simple y sencillos. Se buscaba identificar si es que existía un conjunto de variables en el problema que pudiera predecir la performance. Estudios posteriores cuando, a partir de los 80, se avanza en el conocimiento de la importancia del contenido en áreas específicas, indicaron que el grado de dificultad de un problema está fuertemente ligado a la persona que resuelve. No existen problemas “fáciles” o “difíciles” de manera absoluta y lo que para una persona es un problema para otra puede significar un ejercicio simple de resolución inmediata. Esta circunstancia debe ser tenida en cuenta como un aspecto crítico de la clasificación entre “expertos” y “novatos”, o al menos para las implicaciones didácticas que se pretenda. Al respecto, resulta interesante la posición sustentada por Smith y Good (1984) que utilizan los constructos *exitoso* y *no exitoso* ya que entienden que tanto novatos como expertos pueden o no tener éxito en la resolución.

Sin duda, el primer paso para una solución exitosa, es comprender el significado del problema. Esto requiere, como mínimo, conocer el vocabulario en el cual la situación está enunciada además de su sintaxis. Profesores con experiencia, conocen que reescribiendo un problema complejo, en términos accesibles a los estudiantes, puede ser a veces el único factor que les facilite el éxito. Los problemas en ciencias, suelen incluir términos que no son de uso exclusivo en la disciplina como por ejemplo: *relevante*, *despreciable*, *el mínimo*, *el máximo*, etc. A esto debe agregarse aquellos que corresponden al contenido de la asignatura específica.

Respecto al vocabulario utilizado en los problemas, existe un conjunto de estudios revisados por Gabel y Bunce (1984), relacionados con vocablos asociados a conceptos de química y su utilización en problemas. Estiman que muchos conceptos en química, deben ser aprendidos antes de que los estudiantes puedan intentar resolver el problema de modo significativo. Citan por ejemplo *masa, volumen, molécula, sólido, líquido, masa molecular y volumen molar*. Refieren estudios que abordan conceptos básicos como el de *materia* cuya cantidad puede venir expresada a través de masa, volumen o número de partículas.

Cassels y Johnstone (1984 y 1985) reportan un estudio en el que trabajan sobre el enunciado y constatan que cambiando palabras claves del problema por vocablos más sencillos, aumenta el número de estudiantes que resuelve con éxito. Lo mismo sucede cuando en preguntas cuantitativas se cambia en la pregunta *la menos* por *la más*, respecto de una propiedad. Por ejemplo *¿cuál de las siguientes soluciones en agua es la menos concentrada?*. Resultados similares se encuentran cuando el enunciado se cambia de voz pasiva a voz activa.

Cassels y Johnstone (1985) producen una lista de palabras que estudiantes británicos de varios niveles tienen dificultades para entender en el marco de un enunciado. Algunos son *concepto, reemplazar, diversidad, factores, fundamental, episodio, despreciable, relativo y espontáneo*.<sup>1</sup>

Johsua y Dupin (1991), conducen un estudio en un curso de electricidad con alumnos de alrededor de 15 años, para determinar *cómo y cuándo* un ejercicio se convierte en un problema para los alumnos. Proponen tres tipos de ejercicios: a) ejercicios con contenidos y procesos similares a los resueltos en clase. b) ejercicios “*innovadores*”: tareas para las cuales las preguntas y procedimientos necesarios no habían sido enseñados de la misma manera c) ejercicios con dificultad implícita: aquéllos que superficialmente parecen a los enseñados pero tienen una dificultad “*inesperada*”. Los resultados obtenidos confirman que no es posible encontrar características en el problema mismo, ya que para diversos alumnos la “novedad” en un problema es diferente de unos a otros. Sacan conclusiones para la instrucción indicando que lo que causa dificultad en los estudiantes no puede ser determinado por el análisis del problema mismo y debe ser considerado atendiendo las condiciones en que se ha trabajado. Una desviación “menor” del problema estándar puede perturbar significativamente las condiciones de solución para el estudiante.

Hegarty (1991) estudia el rendimiento de alumnos cuando les son presentados problemas de mecánica previamente categorizados como: problemas cotidianos y problemas formales. Según la autora, existen tres tipos diferentes de conocimiento conceptual en mecánica: un conocimiento conceptual intuitivo, que la gente aprende acerca del movimiento y fenómenos que le rodea; un conocimiento práctico adquirido por la interacción con aparatos mecánicos y un conocimiento conceptual teórico, adquirido formalmente. Según el estudio, los resolvedores novicios, tendrían dos conjuntos de conocimientos, intuitivo y teórico, independientes uno de otro, a partir de los cuales ellos *deben elegir* para construir la representación del problema. En contraste, los expertos tienen integrado su conocimiento cotidiano con el formal. Un estudio similar fue llevado a cabo por Lesgold y Lajoie (1991) con contenidos de electrónica, obteniendo resultados compatibles con los de Higarty.

En esta clase, reportamos también los estudios de Bassok (1990) quien trata de identificar factores que afectan la transferencia a otras áreas, de procedimientos aprendidos en la resolución de problemas en matemática. En particular estudió la aplicación a economía y a física. Encontró diferencias con dos tipos de variables que denominó “*extensivas*” como por ejemplo “*papas por día*” e “*intensivas*” como “*rapidez*”. En su estudio refiere que las variables extensivas son normalmente separadas y modeladas en una cantidad, la relación, solamente en el contexto del problema. En cambio en las intensivas, por ejemplo la distancia y tiempo son modeladas como una entidad conceptual, acarreado esto dificultades en la transferencia.

---

<sup>1</sup> Sería necesario estudiar si, cambiando de idioma y de contexto estas características se conservan.

Un estudio similar al anterior es conducido por Kinnear (1983) en el área de genética vinculado al razonamiento probabilístico de estudiantes universitarios de biología. Crean dos conjuntos de problemas en los que el mismo concepto de probabilidad debe ser usado en marcos diferentes; una vez en un problema asociado con el mundo real y otra en un problema de genética. Encuentran que el 69,3% responde correctamente cuando el problema está asociado al mundo real, mientras que el mismo concepto es aplicado correctamente sólo por un 14,8 % cuando el problema es de genética. El estudio es extendido a más estudiantes y más problemas (seis problemas del mundo real y seis de genética) obteniendo los mismos resultados. Kinnear expresa estas diferencias del siguiente modo: “*Aparece que los estudiantes tienen dos conceptos discordantes cuando hacen “trabajar” el concepto de chance. Uno que aplican en el contexto de la genética de Mendel que enfoca proporciones clásicas que aplican de manera determinística y otro que aplican a situaciones del mundo real. Cuando los estudiantes trabajan en genética, frecuentemente ignoran la operación chance.*” Kinnear en Helms y Novak (1983).

En algún sentido, es posible ubicar en esta clase a los trabajos de Gil Pérez y Martínez Torregrosa (1983), quienes proponen la reformulación de los problemas estándar de modo que su abordaje sea más consistente con la metodología científica. Pretenden salir al paso de lo que llaman la “*metodología de la superficialidad*”, que consistiría en la relación mecánica entre datos e incógnitas. Para ello, sugieren la presentación de problemas más cualitativos incorporando explícitamente la emisión de hipótesis al proceso de solución. En la misma línea Garret, Satterly, Gil Pérez y Martínez Torregrosa (1990) conducen un estudio con profesores en formación para intentar cambiar su concepción de problema, ya que consideran que los ejercicios habituales no constituyen una representación auténtica de lo que es un problema. Sobre estos estudios, sin embargo, es necesario puntualizar que la fortaleza del modelo está más asociada al proceso de instrucción que a las características del enunciado solamente. La reformulación propuesta por Gil Pérez y colaboradores es, en todo caso, la *excusa* para impedir una resolución mecánica del problema y para favorecer un proceso que va desde la discusión cualitativa, emisión de hipótesis, diseño y evaluación de resultados. Está ampliamente comprobado que este abordaje, no se da naturalmente sin una instrucción adecuada. Queremos decir que la sola transformación del enunciado no alcanza para modificar la concepción de problema ni la manera de enfrentar su solución.

Finalmente, cabe mencionar la reflexión de Gabel y Bunce en la revisión ya citada, quienes expresan que los estudios de resolución de problemas en química (área por ellos revisada), están dedicados mayoritariamente a problemas que incorporan habilidades de razonamiento matemático. La práctica indica, que los educadores en química pueden no haber reconocido aún la importancia de incorporar problemas de naturaleza más global o quizá puedan percibir que el curriculum es aún demasiado denso como para incorporar más tópicos. Esta afirmación puede extenderse sin error al área de la física. En contraste, en otras áreas de la ciencia como la biología o ciencias de la tierra van incorporando gradualmente situaciones ambientales o de población lo que sin duda favorece una visión más abarcativa de la ciencia.

### **Investigaciones que estudian la incidencia de la persona que resuelve**

Estos estudios buscan identificar las características personales de los resolvidores exitosos y da lugar a una de las más importantes líneas de investigación en el área denominada estudios de diferencias entre expertos y novicios, algunos de los cuales mencionamos ya en el capítulo anterior. Los orígenes de estos trabajos deben buscarse en el análisis que hicieron Chase y Simon (1973), citados por Mayer (1983) con jugadores de ajedrez. La experiencia se llevó a cabo con tres individuos: un maestro de ajedrez, un buen jugador y un principiante. Se les presentaron dos tipos de posiciones: “*posiciones reales*”, en mitad de una partida real (24 a 26 piezas) o al final de una partida real (12 a 15 piezas) y “*posiciones al azar*”. Cada sujeto observaba las posiciones durante 5 segundos y luego se les proveía un tablero vacío pidiéndoles reconstruir la situación. Los resultados

indicaron que los maestros trabajaron mucho mejor con las posiciones reales, pudiendo reubicar un promedio de 16 piezas frente a un promedio de 4 de los principiantes. En cambio para posiciones al azar los tres sujetos trabajaron en el mismo nivel, promediando 4 piezas. La interpretación que dieron los investigadores es que aparentemente los expertos no tienen más capacidad en la memoria ni habilidades cognitivas superiores, ya que si así fuera el desempeño hubiera sido superior también con las posiciones al azar. Lo que Chase y Simon interpretan es que los expertos pueden “ver” configuraciones de varias piezas como una unidad de sentido. Los expertos tendrían un amplio “vocabulario” de combinaciones posibles que es lo caracterizaría un dominio mayor del conocimiento específico. Este resultado es de absoluta trascendencia para la instrucción, ya que un experto, deviene tal, con años de práctica. Es decir las habilidades específicas, no son innatas.

En el área de la Física, Simon y Simon (1978) trabajaron con dos sujetos sobre un problema de cinemática unidimensional. Uno de ellos tenía más experiencia en resolución de problemas pero no había gran diferencia conceptual. El resultado más saliente fue la observación que el sujeto con más experiencia usó lo que se denominó “*trabajando hacia adelante*”, es decir escribió un conjunto de ecuaciones hasta que encontró el valor desconocido. El novicio en cambio, empezó por una ecuación que contenía la incógnita y fue reemplazando sucesivamente “*hacia atrás*” hasta poder ubicar los datos. En esta instancia, Simon y Simon argumentaron que la persona de mayor experiencia estuvo orientada por lo que suele denominarse “*intuición física*” a la que interpretaron del siguiente modo:

*“cuando una situación física es descrita en palabras, una persona puede construir una representación de tal situación en la memoria. Por intuitivo queremos significar una persona que representa explícitamente las principales conexiones directas, aquellas especialmente causales de los componentes de la situación”* Simon y Simon 1980, en Maloney, 1994.

Otro trabajo que categorizamos dentro de esta clase es una serie de estudios llevados adelante por Chi y colaboradores (Chi, Feltovich y Glaser, 1981, Chi, Glaser y Rees, 1982). Uno de los de mayor trascendencia es el que encuentra diferencias cualitativas respecto a la categorización que hacen diversos sujetos frente a un problema de física. Una de las primeras experiencias involucró a 8 doctorandos en física y 8 estudiantes de grado que acababan de aprobar un curso de mecánica. Se les solicitó que categorizaran, sobre la base de su similitud en el proceso de resolución, un conjunto de 24 problemas de un libro de texto de nivel básico universitario. Los resultados indicaron que la categorización hecha por los estudiantes atendió principalmente lo que los autores denominaron la “*estructura superficial*” del problema, mientras que los graduados hicieron su clasificación teniendo en cuenta los principios físicos, que denominaron “*estructura profunda*” del problema.

Veldhuis, 1986, replicó los trabajos de Chi y colaboradores con un conjunto de 94 novatos, 5 sujetos intermedios y 5 expertos a partir de un conjunto de problemas específicamente diseñados. El desempeño de los expertos confirmó los resultados de Chi, si bien los novatos se comportaron aleatoriamente

En otro de los estudios conducidos por Chi y sus colaboradores, se les presentó, a expertos y novicios, un problema de un bloque deslizando por un plano inclinado. Se les solicitó una representación jerárquica de los conceptos involucrados en la situación. Los resultados confirman para la física los hallazgos de Chase y Simon con el tablero de ajedrez. Los novicios “*no ven*” el mismo problema que los expertos. Si bien varios conceptos coinciden el lugar que ocupan dentro de la estructura es diferente. Los novatos representan en el tope, conceptos concretos, como “*plano inclinado*” o “*bloque*”, mientras que “*conservación de la energía*” ocupa lo que sería un tercer nivel. En la representación de los expertos, en cambio, no sólo que el tope de la jerarquía está ocupado por los principios de la mecánica, sino que además ligado a las Leyes de Newton, consideran inmediatamente sus condiciones de aplicación. El concepto de fuerza, lo relacionan con las propiedades de la superficie, a través del concepto de fricción, en tanto que en la representación de los novicios, la fricción aparece como una propiedad de la superficie totalmente desvinculada del concepto de fuerza.

En la Figura 3.1, reproducimos la representación jerárquica hecha por expertos y novatos en el trabajo de Chi, Glaser y Rees, 1982, tomado de Pozo 1989, pág. 237.

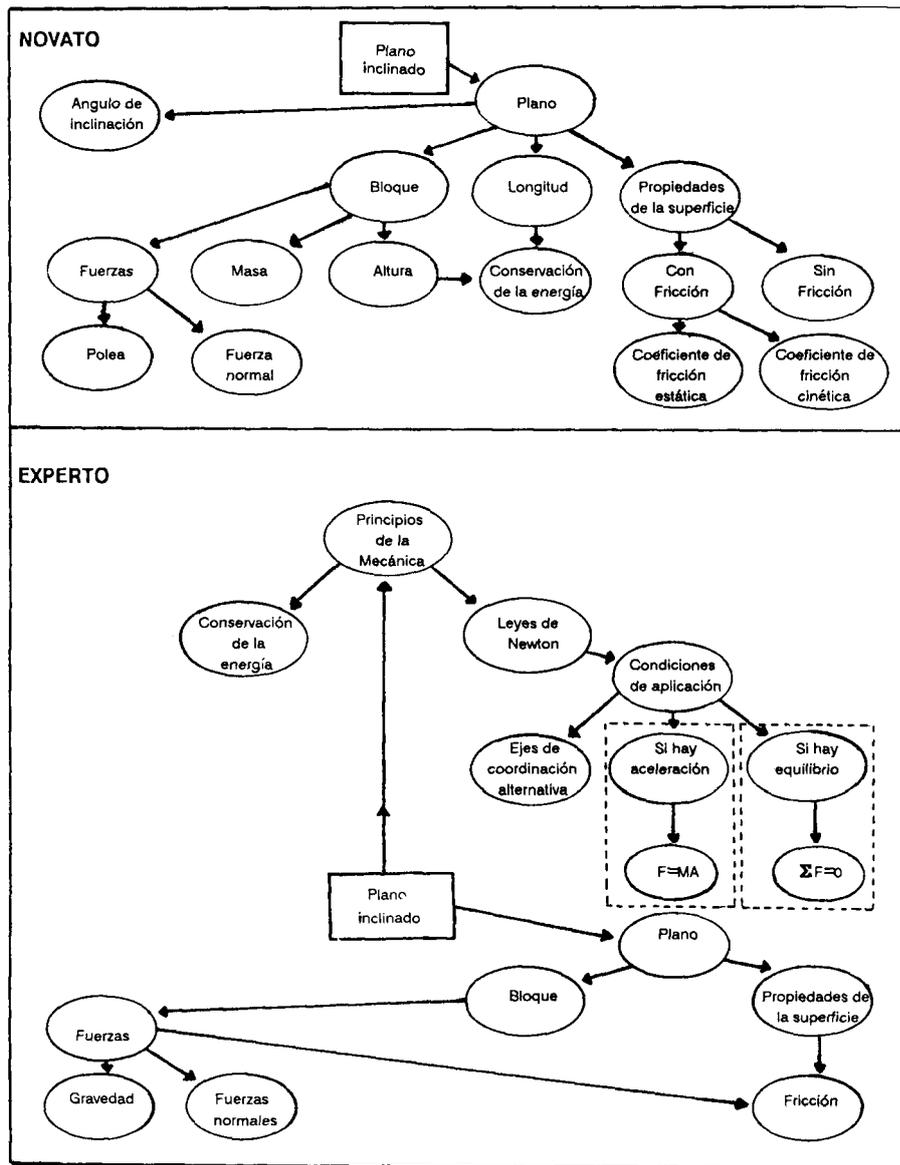


Figura 3.1

Existe en esta línea una gran variedad de trabajos relevantes, que han significado un importante avance en el conocimiento de algunas características individuales. Sin duda las más estudiadas son las referidas a las estructuras conceptuales, habiendo por el momento escasos resultados en aspectos importantes como son las motivaciones y los afectos.

Se ha prestado especial atención al nivel de conocimiento conceptual que los individuos tienen antes de resolver, el nivel necesario para resolver y el nivel alcanzado después de resolver, reconociendo que hay varias fuentes de conocimiento conceptual necesario para resolver un problema. Pines y West (1986) encuentran útil discriminar entre dos de aquellas fuentes: conocimientos que se adquieren “espontáneamente” a partir de la interacción con el entorno y conocimiento adquirido formalmente en la escuela. Los autores indican que estas dos fuentes pueden estar en conflicto, pero si interactúan de manera positiva se produce un intercambio que lleva a la comprensión conceptual. Si tal interacción no se produce, en la memoria de largo plazo, se almacena una coexistencia del conflicto. Este producto ha sido ampliamente estudiado y denominado, muchas veces de manera indistinta, con expresiones como concepciones *ingenuas*, *intuitivas*, *alternativas* y aún *misconceptions*. Sin embargo remarcan que puede haber sutiles

diferencias entre ellas. El conocimiento aprendido por la interacción con el entorno, sí debiera llamarse concepciones intuitivas porque de esa manera se da cuenta de la fuente de conocimiento sin implicar una imagen negativa del aprendiz. Pero, hay conceptos aprendidos formalmente que están en conflicto con significados científicos aceptables y no son intuitivos. Muchas veces son resultado de presentaciones inadecuadas o conceptos que no han sido ilustrados en situaciones o contextos diferentes. Por ejemplo, “los niños pueden pensar que cualquier cosa hierve a 100 °C, porque nunca se les ha dado otro ejemplo que no sea el agua”. Según los autores a estos se les debiera denominar *misconceptions* o errores conceptuales. En referencia a ello, Lawrenz F. (1986) refiere un estudio en el que maestros de escuela elemental responden incorrectamente a un gran número de ítems de la prueba del National Assessment of Educational Progress preparada para jóvenes de 17 años.

Stewart y Hafner (1984), refieren un conjunto de estudios conducidos por Smith y Hackling que intentan buscar relaciones entre *performance*, *experiencia previa* y *éxito* de individuos enfrentados a problemas de genética. Buscan además caracterizar conductas en problemas del área que sean paralelas a las encontradas en otros dominios. Como mencionamos en el apartado anterior, trabajan con los constructos *exitoso* y *no exitoso* y encuentran un conjunto de “tendencias de comportamiento” para uno y otro grupo. Algunas referidas a heurística general y otros al conocimiento específico de la genética entre las que podemos mencionar: Los resolvedores exitosos perciben que la tarea no es simplemente “llegar a la respuesta”. Reconocen que necesitan desarrollar una solución que sea internamente consistente a la vez que externamente válida respecto al cuerpo de conocimiento de la genética. Para estos individuos, la solución incluye explicación y justificación. En los aspectos específicos de la asignatura, Smith (1988), trabaja con problemas de pedigrí. Expone que los problemas planteados pueden resolverse utilizando una de las siguientes estrategias: se buscan evidencias en el pedigrí que sugieran mecanismos particulares de herencia o bien se listan una serie de hipótesis sobre modos de herencia para asignar posibles genotipos a los individuos. Según el estudio los resolvedores menos exitosos toman decisiones sobre la base de errores lógicos y se les presentan conflictos para reconocer cuándo una evidencia puede falsear la hipótesis o cuando simplemente la debilita. Tienen dificultades para distinguir en qué casos está actuando un mecanismo de herencia. Toman decisiones que o bien ignoran suposiciones esenciales o no tienen en cuenta resultados anteriores. Muestran carencia de consistencia en su propio pensamiento a través del proceso de resolución del problema. Un individuo puede ser tratado como heterocigoto y, sin ningún conflicto es tratado después como homocigoto. Slack y Stewart (1990) caracterizan este comportamiento como “carencia de pensamiento generacional” de modo que cada nuevo cruce entre individuos es tratado como un nuevo problema más que como parte de uno único que incluye sucesivas generaciones.

La Universidad de Wiscosin cuenta con un equipo de investigadores que han reportado estudios que intentan correlacionar la organización del conocimiento con la *performance* en problemas de genética. Posteriormente desarrollan un esquema instruccional basados en que existe una minusvaloración de tal estrategia en las aulas si se compara con su profusa utilización en los procesos de evaluación. Estudian conocimiento conceptual y procedural utilizado por estudiantes del ciclo superior de escuela secundaria cuando son enfrentados a problema de meiosis en los que es necesario razonar desde causas (por ejemplo patrones de herencia) a efectos (por ejemplo, predicción de porcentajes de fenotipos en la descendencia). Trabajan con protocolos de pensamiento en voz alta y entrevistas posteriores, constatando que mayoritariamente los estudiantes resuelven por la aplicación de algoritmos por lo cual las respuestas correctas no son indicadoras de comprensión conceptual. Sin embargo comprueban que, entre aquellos que a menudo utilizan modelos incorrectos de cromosomas, un buen número de ellos se involucra en un interesante y comprensible proceso de búsqueda. Sobre esta base, Stewart, 1983 argumenta que la evaluación de conocimientos tradicional utilizando resolución de problemas no sólo no provee información válida sobre lo que los alumnos saben o no en términos conceptuales. A veces esto lleva, tanto a una sobreestimación del conocimiento (cuando la respuesta es correcta), como a una minusvaloración

de habilidades de pensamiento (cuando el estudiante es capaz de manipular un modelo incorrecto para elaborar una respuesta). A pesar que la construcción de modelos está en el corazón de la ciencia, en los casos mencionados, a los estudiantes que no obtienen respuestas correctas, no se les reconoce estar comprometidos con esta tarea.

Si bien existes diferentes enfoques y tendencias, hay resultados consensuados: los expertos tienen una base mayor de conocimiento que además está mejor organizado. La eficiencia en la resolución dependería en gran medida de la disponibilidad y activación de los conocimientos conceptuales adecuados. Sin negar la influencia de ciertas predisposiciones o diferencias individuales, los estudios no han podido encontrar evidencia de que los especialistas dispongan de habilidades intelectuales superiores, pero *sí “se destacan por su capacidad para atender, reconocer, manipular información y razonar sobre ella en la propia área de especificidad.”* Pozo, 1994. pág. 36

### **Investigaciones que estudian los procesos psicológicos puestos en juego durante la resolución de un problema.**

En este apartado agrupamos los trabajos que específicamente se interesaron por las actividades mentales que pone en juego una persona al resolver un problema. Claramente, no es posible separar estos procesos de la persona que resuelve y están también fuertemente ligados a la tarea propuesta como problema y al entorno en que ésta se desarrolla. Esto significa que los trabajos que incluimos en esta clase, podrían ser categorizados en alguna de las anteriores. De todos modos, aún teniendo en cuenta la complejidad de esta variable explicativa, existen algunos estudios que, confrontando expertos y novicios, permitieron avanzar en su comprensión.

En el capítulo anterior hemos mencionado los trabajos de Reif, Larkin y Bracket (1976), Simon (1978) y Larkin, Mac Dermott, Simon y Simon (1980). Son sin duda trabajos pioneros en el área, que se desarrollan paralela y simultáneamente en la Carnegie-Mellon University. En el estudio informado en 1980, trabajaron con expertos y novicios en el área de la cinemática. Utilizaron esencialmente cintas grabadas del “pensamiento en voz alta” mientras resolvían problemas, que fueron complementadas en algunos casos con grabaciones de vídeo. Los autores expresan que una de las dificultades en este tipo de estudio es *“obtener una densidad temporal de registros de los comportamientos durante la resolución, que pueda dar cuenta de la velocidad de los procesos cognitivos subyacentes”*. Una vez inferidos algunos procesos, desarrollaron programas de computadora que pudieran simular el *“comportamiento experto”* y el *“comportamiento novicio”*. Los resultados más salientes a nuestro criterio son: *a)* los expertos resolvieron los problemas en menos de la cuarta parte del tiempo de los novicios y con menos errores. *b)* la mayoría de los novicios resolvieron trabajando “hacia atrás”, parecían requerir metas y submetas para dirigir su búsqueda. *c)* A cada paso de la resolución el novicio se preguntaba a sí mismo “qué hago ahora” y se respondía mirando las ecuaciones que ya había escrito y determinando qué información le faltaba. Encontraron amplia evidencia de que el programa “comportamiento novicio” si debe ir controlando los resultados paso a paso, insume considerable más tiempo. *d)* El novicio parece usar una especie de “traslación sintáctica” (la que estaría guiado por las ecuaciones) el experto en cambio tiene una *representación del problema*. De todos modos en este punto advierten que los problemas de cinemática resultaron demasiado simples para los expertos como para encontrar evidencias claras del contenido semántico de la tarea por un lado, y por otro que es posible que los expertos “pensaran bastante más rápido de lo que hablaban” perdiendo de este modo alguna información. Las conclusiones de los propios autores son en sí mismas interesantes. *“Si bien tenemos bases razonables para esperar que podamos encontrar caminos para hacer más eficiente el proceso de aprendizaje, no esperamos producir el milagro de aprendizaje sin esfuerzo”*.

Otro trabajo que interesa destacar es el conducido por Larkin (1983). En este trabajaron con cinco especialistas, a quienes se les presentaron “problemas duros”. Se pretendía estudiar como operan los expertos cuando los problemas les plantean reales dificultades. Dos de los sujetos

encontraron inmediatamente una representación del problema y procedieron a resolverlo. Los otros tres, analizaron una posibilidad que descartaron, buscaron otra y alguno de ellos hasta una tercera. Los tres, una vez encontrada la representación del problema, reemplazaron por ecuaciones y resolvieron. Es decir, en ningún caso los expertos empiezan a resolver hasta que no han conseguido una representación del problema. Este resultado es de gran importancia para la instrucción ya que el aspecto de la representación no suele ser enseñado explícitamente.

La síntesis de los trabajos orientados a estudiar los procesos indica que, al igual que los conceptos, hay habilidades y estrategias que corresponden a dominios específicos y por lo tanto difícilmente transferibles a otras áreas. De este modo estrategias del tipo Polya serían insuficientes. Estas habilidades además, estarían fuertemente ligadas a los contenidos específicos. La representación del problema sobre la base de principios generales, la discusión cualitativa antes de empezar la solución, la organización general son características salientes de los procesos en expertos en la mayoría de los estudios. Pero asimismo, queda claro que estas habilidades específicas están estrechamente vinculadas a la práctica. De este modo *“la solución de problemas no sólo puede ser entrenada sino que debe serlo mediante cantidades ingentes de práctica”*. Pozo, 1994, pág. 37.

### **Investigaciones que estudian la incidencia del entorno.**

En este grupo ubicamos los estudios que pretenden tomar como factor explicativo aspectos ajenos a la tarea y a la persona que la realiza. Como ya dijimos la inmensa mayoría estudia efectos de la instrucción. Sin embargo, llama la atención que entre éstos no existen prácticamente investigaciones que estudien los efectos del instructor. Casi en su totalidad están abocados a la puesta a prueba de estrategias de instrucción sin prácticamente mención al docente que la implementa. Asimismo, en el material revisado encontramos una gran diversidad. Existen propuestas teóricamente basadas de las cuales sólo en algunas se mencionan aspectos metodológicos y evaluación. Otras, según se informa, surgen “de la experiencia docente de quien la propone”. También en este grupo algunos estudios revelan continuidad y evaluación y otros no. En este grupo se pone de manifiesto con mayor intensidad la diversidad de enfoques teóricos. A nuestro criterio, esta dispersión puede deberse a que el trabajo de investigación en el aula es ciertamente más complejo. La dificultad al pretender “aislar” o “controlar” variables es mucho mayor. No deja, sin embargo, de ser un tema crítico ya que buena parte de estas comunicaciones están dedicadas a profesores en actividad, que es quien en definitiva se encuentra con el problema real. Hemos citado ya las propuestas de Polya. Describimos en detalle dos propuestas, una para resolver problemas cuantitativos y otra para situaciones más abiertas.

Mettes, Pilot y Roossink (1981) desarrollan un programa general para resolver problemas que lo implementaron en un curso de termodinámica (estudios posteriores lo llevaron a otras áreas de la física y la química). Basaron teóricamente su estudio en un modelo “formación de estados mentales, paso a paso” desarrollado por Gal’perin (Maloney, 1984). Desarrollan un sistema de heurística que denominan “SAPS” (*Systematic Approach to Problem Solving*) que consiste esencialmente en guiar el proceso de resolución mediante pasos que se corresponden con: lectura comprensiva del problema, detección de conceptos clave, procedimientos de resolución y control de resultados. La propuesta es implementada durante cinco años y evaluada sobre la base de tres criterios: aprendizajes logrados, tiempo usado por los estudiantes e instructores y satisfacción con el curso. Reportan resultados favorables.

Ward y Sweller (1990) en un curso de óptica geométrica estudian la incidencia relativa, respecto al aprendizaje, de los ejemplos “trabajados en clase” y los problemas “de deber” habituales. Repiten el estudio en mecánica. Concluyen que los problemas habituales pueden ser “contraproducentes” para la adquisición de esquemas por parte de los estudiantes, ya que la búsqueda de operadores, requiere demasiados recursos cognitivos que se usan a expensas de la comprensión de qué conocimiento está siendo usado y cómo se aplica.

Otro estudio que informamos es el conducido por Heller, Keith y Anderson (1992) quienes investigan la relación entre resolución de problemas individual y grupal en un curso de física general básica. La muestra consistió en 91 estudiantes inscriptos en un curso especial que completaba 7 horas semanales con: 4 horas de clases dadas por el instructor, 1 hora de discusión y 2 horas de laboratorio. Durante las horas de clase el instructor trabajaba con cinco etapas para la resolución del problema: 1) visualizar el problema. 2) describir el problema en términos físicos. 3) planear la solución. 4) ejecutar el plan. 5) controlar y evaluar. En las horas de discusión los estudiantes trabajaban la mayor parte del tiempo en grupos cooperativos. Desarrollaron una escala para evaluar las soluciones escritas de problemas cuando los alumnos trabajaban individualmente o en grupo. Encontraron que las soluciones en grupo eran consistentemente mejor que las soluciones de los mejores individuos. Determinaron que la mayor diferencia estaba en el área del análisis cualitativo que corresponde a los pasos 2 y 3 de la estrategia propuesta.

Gil Pérez y colaboradores (1983), en la Universidad de Valencia, desarrollan una estrategia instruccional para la resolución de problemas, a la que denominan Modelo de Resolución de Problemas por Investigación. La desarrollan sobre la base de comparar la actividad del estudiante con la de un investigador novel y desde una postura crítica frente a los estudios de diferencias entre expertos y novatos. Para ello proponen una serie de etapas, que se inicia con la discusión cualitativa e interés de la situación planteada. Incorporan la formulación de hipótesis, antes del diseño y resolución. A fines de evitar el operativismo mecánico de los estudiantes, agregan a la propuesta la modificación de enunciados tradicionales para trabajar con situaciones abiertas. De este modo la tarea se asemeja más a la situación del investigador. Reportan resultados favorables con un amplio número de alumnos de distintas asignaturas específicas y varios niveles y han extendido su propuesta a la introducción de conceptos y trabajos de laboratorio. Todas las actividades se integrarían a lo que denominan Modelo de Enseñanza-Aprendizaje por Investigación.

## Conclusiones

Si bien se advierte que en los últimos veinte años hay esfuerzos más coordinados en la investigación, quedan todavía muchos aspectos abiertos a la discusión. Uno de ellos es el de las características de las tareas propuestas como problema, el que está fuertemente ligado a los objetivos propuestos. La investigación hasta ahora, muestra que no son los mismos los recursos cognitivos necesarios ni la posibilidad de transferencia si los problemas se corresponden con tareas académicas, tareas prácticas o tareas del mundo real. Si bien existen avances en el conocimiento de las capacidades o habilidades específicas, la mayor parte de los estudios son descriptivos. Estos trabajos han tendido a identificar características de los resolvedores exitosos, pero se conoce muy poco acerca del tipo de representaciones internas que forman en el momento de la resolución. Dicho de otro modo se ha avanzado en desarrollar “modelos de capacidades”. Estos trabajos, si bien pueden categorizar habilidades y procesos en resolvedores exitosos, no pueden *explicar* por qué *actúa* de tal manera, cuándo adquirió las habilidades (o la habilidad para aprender el proceso), qué procesos individuales pueden enseñarse en determinados estados de desarrollo. Una aproximación a las respuestas, sería poder desarrollar “modelos de actuación” (*competence models*). Una primera aproximación son los estudios de Larkin (1983) ya referidos, sería útil avanzar en el conocimiento del tipo de representaciones que forma un sujeto cuando resuelve problemas.

Además de la insuficiencia para *explicar*, los modelos de capacidades deben afrontar la crítica que, llevarían implícito el supuesto de que los resolvedores menos capaces podrían mejorar su desempeño si se les enseña las habilidades y procesos que usan los expertos. A este punto la pregunta es ¿se puede enseñar a *ver* un problema?

Otro de los aspectos en que sigue habiendo lagunas de conocimiento, es el referido al profesor. Como dijimos, los estudios orientados a buscar relaciones entre el entorno de instrucción y el desempeño de estudiantes, están dedicados en su mayoría a poner a prueba diferentes estrategias.

Sería necesario conocer acerca de la influencia que puedan tener distintas características del docente en el proceso de resolución de problemas de sus alumnos.

Entendemos que la información presentada, así como algunos criterios de análisis, pueden favorecer y orientar toma de decisiones a un investigador que pretende iniciarse en el tema. Es necesario incrementar los estudios guiados por la teoría por sobre aquellos guiados por el método. (Novak y Gowin, 1984). Cuando se refieren a estos últimos, ejemplifican con aquellos que (pág. 196)

La compleja naturaleza del evento educativo, requiere flexibilidad y creatividad para decidir cómo construir e interpretar los fenómenos educativos. Pero esto en modo alguno significa resignar lo que consideramos aspectos básicos tales como la consistencia, la claridad en los razonamientos, la honradez y la responsabilidad, que integrados a la tarea de investigar se conviertan en virtudes cotidianas.

## Bibliografía

- AULT, CHARLES, (1994). *Research on Problem Solving: Earth Science*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- AUSUBEL, DAVID, NOVAK JOSEPH y HANESIAN HELEN. (1992) *Psicología Educativa: Un punto de vista educativo*. (Reimpresión de la traducción de Pineda. Título original: Educational psychology: a cognitive view). Editorial Trillas.
- BARR, BONNIE (1994) *Research on Problem Solving: Elementary School*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- BASCONES, J. y NOVAK, J. D. (1985). *Alternative instructional systems and the development of problem solving skills in physics*. European Journal of Science Education. 7 (3), 253 - 261.
- CARRETERO, M. y GARCÍA MADRUGA, J.A. comp. (1984). Reimpresión 1992. *Lecturas de Psicología del pensamiento*. Alianza Editorial.
- CASSELLS, J. R. y JOHNSTONES, A. H. (1984) *The effect of language on student's performance on multiple-choice test in chemistry*. Journal of Chemical Education, 61(7), 613-615.
- CHAMBERS, S. y ANDRE, T. (1997). *Gender, Prior Knowledge, Interest, and Experience in Electricity and Conceptual Text Manipulations in Learning about Direct Current*. Journal of Research in Science Teaching. 34 (2), 107 - 123.
- CHI, M., BASSOK, M., LEWIS, M., REIMANN, P. y GLASER, R. (1989). *Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problem*. Cognitive Science, 13, 145-182.
- CHI, M., FELTOVICH, P., y GLASER, R. (1981). *Categorization and representation of physics problem by experts and novices*. Cognitive Science, 5, 121-152.
- DA COSTA CABRAL, SAYONARA. (1997). *Dissertação de mestrado*. Instituto de Física. Universidade Federal de Rêo Grande do Sul
- DE VEGA, MANUEL, (1984). *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Reimpresión 1995. Alianza Editorial.
- ELIO, R. y SCHARF, P. (1990). *Modeling novice to expert shifts in problem solving strategy and knowledge organization*. Cognitive Science, 14(4), 579-639.

- FERGUSON-HESLER, M. y DE JONG, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.
- GABEL, DOROTHY y BUNCE, DIANE (1984). *Research on Problem Solving: Chemistry*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- GARRET, R., SATTERLY, D., GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1990). *An experimental study with teachers in training*. *International Journal of Science Education*, 12, 1-12.
- GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (1983). *A model for problem solving in accordance with scientific methodology*. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- GIL PÉREZ, D., MARTINEZ TORREGROSA, J., y SENENT-PÉREZ, F. (1988). *El Fracaso en la Resolución de Problemas de Física: Una investigación orientada por nuevos supuestos*. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 131-146.
- HALLOUN, I. (1996). *Journal of Research in Science Teaching*. 33 (9), 1019 - 1041. *Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics*
- HELGESON, STANLEY (1994). *Research on problem Solving: Middle School*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- HELLER, J. y REIF, F. (1984). Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in physics. *Cognition and Instruction*, 1(2), 177-216.
- HELLER, P. y HOLLABAUGH, M. (1992). *Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problem and structuring groups*. *American Journal of Physics*, 60(7), 637-645.
- HELLER, P., KEITH, R. y ANDERSON, S. (1992). *Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving*. *American Journal of Physics*, 60(7), 627-636.
- JOHNSON-LAIRD, PHILIP (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press.
- JOHSUA, S y DUPIN, J. (1991). *In physics class, exercises can also cause problems*. *International Journal of Science Education*, 13(3), 291-301.
- KEMPA, RICHARD. (1986). *Resolución de problemas en Química y Estructura Cognoscitiva*. *Enseñanza de las Ciencias*. 4(2), 99-110.
- KINNEAR, J. (1983). *Identification of misconceptions in genetics and the use of computer simulations in their correction*. En HELMS y NOVAK Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics. Ithaca. Cornell University.
- LARKIN, J. H. (1979). *Teaching problem representation and skill in physics*. En TUMA, D. y REIF, F. 1980 (Eds.) *Proceeding of a Conference Problem Solving and Education*, held at Carnegie- Mellon University. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- LARKIN, J. H., MCDERMOTT, J., SIMON, D. P. and SIMON, H. A. (1980). *Expert and novice performance in solving physics problem*. *Science*, 208, 1335-1342.
- LAWRENZ F. (1986) En Gabel y Bunce, 1994.
- LESTER, F. (Jr.). (1983). *Trends and Issues in Mathematical Problem Research* en LESH y LANDAU (Ed.) *Acquisition of Mathematical Concept and Processes*. Academic Press, Inc., 229-261.

- MAC. MILLAN, C. y SWADENER, M. (1991). *Novice use Qualitative versus Quantitative Problem Solving in Electrostatics*. Journal of Research in Science Teaching. 28(8), 661-670
- MALONEY, DAVID (1994). *Research on Problem Solving: Physics*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- MAYER, RICHARD (1983). *Pensamiento, Resolución de Problemas y Cognición*. (Trad. Graziela Baravalle). Serie Cognición y Desarrollo Humano. Paidós.
- METTES, C.T., PILOT A. y ROOSSINK, H. (1981). *Linking factual and procedural knowledge in solvin science problem: A case study in thermodynamics course*. Instruccion Science, 10, 331-361.
- MOREIRA, MARCO ANTONIO (1990) *Pesquisa em ensino: O Vê epistemológico de Gowin: Aspecto Metodológicos e Referenciais Teóricos à luz do Vê epistemológico de Gowin*. Temas básicos de Educação e Ensino. Editora pedagógica e Universitaria. São Paulo.
- NOVAK, J. D., GOWIN, D., JOHANSEN. (1983). *The Use of Concept Mapping and Knowledge Vee Mapping with Junior High School Science Students*. Science Education. 67 (5), 625-645
- NOVAK, JOSEPH y GOWIN, D. BOB. (1988). *Aprendiendo a Aprender*. (Traducción Campanario, Campanario, *Learning how to learn*, 1984). Martínez Roca.
- NOVAK, JOSEPH D. (1990). *A Theory of Education*. (Second Edition; Draft of Chapters 1-4), Ithaca, NY, Cornell University, Department of Education.
- PALUMBO, D. (1990). *Programming Language / Problem Solving Research: A Review of Relevant Issues*. Review of Educational Research, 60(1), 65 - 89.
- PANKRATIUS, W. (1990). *Building an organized knowledge base: Concept mapping and achievement in secondary school physics*. Journal of Research in Science Teaching, 27(4), 315-333.
- PEDUZZI, L. y MOREIRA, M. A. (1981). *Solução de Problemas em Física: Um Estudo sobre Efecto de Uma Estratégia*. Revista Brasileira de Física, 11(4), 1067-1083.
- PERALES PALACIOS, F. J. (1993). *La resolución de problemas: Una revisión estructurada*. Enseñanza de las Ciencias, 11 (2), 170-178.
- PINES, A. y WEST, L. (1986). *Conceptual understanding and sience learning: An interpretation of research within a source of knowledge framework*. Science Education 70(5), 583-604.
- POLYA, G. (1944) (Traducción 1992, *How to solve it*). Serie de Matemáticas, Ed. Trillas. Méjico.
- POZO, JUAN IGNACIO (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Colección Aprendizaje, Ed. Visor, Madrid.
- POZO, JUAN IGNACIO (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- POZO, JUAN IGNACIO (1996). *La Psicología Cognitiva y la Educación Científica*. Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, 1(2), 110-131
- REIF F. y HELLER. (1981). en Maloney, D. *Research on Problem Solving: Phisycs*. Handbook of Research in Science Teaching and Learning. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- REIF, F. y ALLEN, S. (1992). *Cognition for Interpreting Scientific Concepts: A Study of Acceleration*. Cognition and Instruction, 9(1), 1-44.
- REIF, F., LARKIN, J. y BRACKET. (1976). *Teaching general learning and problem solving skill*. American Journal of Physics, 44(3), 212-217.

- RIVIÈRE, ANGEL (1987). *El sujeto de la Psicología Cognitiva*. Alianza Editorial S.A. Madrid
- ROBERTSON, W. (1990). *Detection of Cognitive Structure with Protocol Data: Predicting Performance on Physics Transfer Problems*. *Cognitive Science*, 14, 253-280.
- ROZIER, S. y VIENNOT, L. (1991). *Students' reasoning in thermodynamics*. *International Journal of Science Education*. 13(2), 159-170.
- RUBINSTEIN, M. (1980). *A Decade of Experience in Teaching an Interdisciplinary Problem Solving Course* en TUMA, D. y REIF, F. (Eds.) *Proceeding of a Conference Problem Solving and Education*, held at Carnegie- Mellon University. Hillsdale, NY: Erlbaum.
- SERIE SCHAUM, *Física Aplicada. Teoría y Problemas Resueltos*. Cap.3, 1978
- SIMON HERBERT (1978). *Information Processing Theory of human problem solving*. En de Vega, 1984. *Introducción a la psicología Cognitiva*. Alianza Editorial.
- SIMON HERBERT A. (1980). *Problem Solving and Education* en TUMA, D. y REIF, F. (Eds.) *Proceeding of a Conference Problem Solving and Education*, held at Carnegie- Mellon University. Hillsdale, NY: Erlbaum. 81-96
- SIMON, HERBERT (1984). *La teoría del procesamiento de la información sobre la resolución de problemas*. En CARRETERO, M. y GARCÍA MADRUGA, J.A. (Comp.).
- SLACK, S. y STEWART, J. (1990). *High school student's problem solving on realistic genetics problem*. *Journal of Research in Science Teaching* 27(1), 55-67.
- SMITH, M. (1988). *Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees*. *Journal of Research in Science Teaching* 25(6), 411-433.
- SMITH, M. y GOOD, R. (1984) *Problem Solving and classical genetics: Successful and unsuccessful performance*. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), 895-912.
- STEWART, JAMES (1982). *Two Aspects of Meaningful Problem in Science*. *Science Education*, 66(5), 731-749.
- STEWART, JAMES y HAFNER, ROBERT (1994). *Research on Problem Solving: Genetics*. *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. Gabel, Dorothy (Ed.). Mac Millan Publishing Company.
- STEWART, J. (1983). *Student problem solving in high school genetics*. *Science Education* 67, 523-540.
- SWELLER, J. (1988). *Cognitive load during problem solving: Effects on learning*. *Cognitive Science*, 12, 257-285
- THORSLAND, M. y NOVAK, J. D. (1974). *The identification and significance of intuitive and analytic problem solving approaches among college physics students*. *Science Education*, 58(2), 245-265.
- VANLEHN, K. (1989). *Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition* en POSNER, M. *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- VELDHUIS, G. (1990). *The Use of Cluster Analysis in Categorization of Physics Problem*. *Science Education*, 74(1), 105-118.
- WALKER, C. (1987). *Relative Importance of Domain Knowledge and Overall Aptitude on Acquisition of Domain-Related Information*. *Cognition and Instruction*, 4(1), 25-42.
- WARD, M. y SWELLER, J. (1990). *Structuring effective worked examples*. *Cognition and Instruction*, 7, 1-39

- WATTS, M. (1991). *The Science of Problem Solving: A practical Guide for Science Teachers*. Heinemann Educational Books, Inc. Portsmouth
- WRIGHT, D. S. y WILLIAMS, C. (1986). *A wise strategy for introductory physics*. *Physics Teacher*, 24(4), 211-216.

### **Bibliografía complementaria: otros estudios en ciencias**

- BAR, V. y TRAVIS, A. (1991). *Children's views concerning phase changes*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (4), 363-382.
- BARBA, R. y RUBBA, P. (1992). *A comparison of preservice and inservice earth and space science teachers's general mental abilities, content knowledge, and problem solving skills*. *Journal of Research in Science Teaching*, 92 (4), 520-535.
- BASILI, P. y SANFORD, J. (1991). *Conceptual change strategies and cooperative group work in chemistry*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (4), 293-304.
- BOWEN, C. (1990). *Representational systems used by graduate students while problem solving inorganic synthesis*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (4), 351-370.
- BROWNING, M. y LEHMAN, J. (1988). *Identification of student misconceptions in genetics problem solving, via computer program*. . *Journal of Research in Science Teaching* 25(9), 747-761.
- BUNCE, D, GABEL, D. y SAMUEL, K. (1991). *Enhancing chemistry problem solving achievement using categorization*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 28(6), 505-521.
- CHAMPAGNE, A. y KLOPFER, L. (1981) *Structuring process skills and the solution of verbal problem involving science concepts*. *Science Education*, 65 (5), 493-511.
- DIBAR URE, M y COLINVAUX, D. (1989). *Developing adults' views on the phenomenon of change of physical state in water*. *International Journal of Science Education*, 11(2), 153-160.
- FINLEY, F. (1982). *An empirical determination of concepts contributing to successful performance of science process: a study in mineral classification*. *Journal of Research in Science Teaching*, 19 (8), 689-696.
- GIPSON, M., ABRAHAM, M y RENNER, J. (1989). *Relationships between formal-operational thought and conceptual difficulties in genetics problem solving*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 26(9), 811-821.
- GOODING, C., SWIFT, J., SCHELL, ET AL (1990). *A causal analysis relating previous achievement, attitude, in biology and chemistry*. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 789-801.
- HACKLING, M. y LAWRENCE, J. (1988). *Expert and novice solutions of genetics pedigree problems*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (7), 531-546.
- JOHNSON, S. y STEWART, J. (1991). *Using philosophy of science in curriculum development: an example from high school genetics*. *International Journal of Science Education*, 12 (3), 297-307.
- KRAJCIK, J, SIMMONS, P y LUNETTA, V. (1988). *A research strategy for the dynamic study of students' concepts and problem solving strategies using science software*. . *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (2), 147-155.

- KRAMERS-PALS, H. y PILOT, A. (1988). *Solving quantitative problems: Guidelines for teaching derived from research*. International Journal of Science Education, 10(5), 511-522.
- NIAZ, M y ROBINSON, W (1992). *Manipulation of logical structure of chemistry problems and its effect on students performance*. Journal of Research in Science Teaching, 29(3), 211-226.
- OPDENACKER, C., FIERENS, H ET AL (1990) *Academic performance in solving chemistry problem related to student working memory capacity*. International Journal of Science Education, 12 (2), 177-185.
- RUSSEL, J, y CHIAPETTA, E. (1981). *The effects of a problem solving strategy on the achievement of earth science student´s*. Journal of Research in Science Teaching, 18(4), 295-301.
- STAVRIDOU, H. Y SOLOMONIDOU, C. (1989) *Physical phenomena- chemical phenomena: Do the pupils make distinction?* International Journal of Science Education, 11(1), 83-92.
- TINGLE, J. y GOOD, R. (1990). *Effects of cooperative grouping on stoichiometric problem solving in high school chemistry*. Journal of Research in Science Teaching, 27(7), 671-683.

## ANEXO

### La V de Gowin: herramienta para analizar investigaciones

Las notas presentadas en capítulos anteriores están, como dijimos, destinadas a favorecer el debate y análisis crítico de investigaciones en resolución de problemas. Se presenta una herramienta de estudio, con el fin de facilitar tal tarea y brindar una base común para iniciar discusiones. Anticipamos nuestra profunda convicción de que, cualquiera sea el enfoque de la investigación, la construcción de nuevos conocimientos se realiza desde una búsqueda sistemática, para lo cual se estudian acontecimientos sean naturales o provocados. En esta búsqueda el investigador al *actuar*, pone en juego lo que *sabe* y lo que *siente*. Una vez elegido el problema de investigación, la selección o diseño de los eventos que se han de observar, es un asunto crucial en el proceso. Este aspecto, que es tan obvio para los estudios descriptivos, no es menos importante en trabajos que pretendan explicar o generar nuevas ideas a partir de los eventos observados. El conocimiento científico, cualquiera sea el enfoque por el cual se alcanza tiene así, características claramente distintivas del conocimiento cotidiano. Un análisis de investigaciones será fructífero, en tanto sea capaz de distinguir aspectos esenciales de la estructura y proceso de construcción del conocimiento.

En 1977, D. Bob Gowin, ideó un instrumento, denominado *diagrama V*, y quizá más conocido como “la V de Gowin”, que “*está basado en un estudio epistemológico de un acontecimiento y es un método simple y flexible para ayudar a las personas a entender la estructura y los procesos de construcción del conocimiento*” (pág. 22 y 24, Novak y Gowin, 1988). El origen de esta técnica heurística se encuentra en “*el método de las cinco preguntas*”, esquema ideado también por Gowin (1970) para “*desempaquetar*” el conocimiento en un área dada. Según la propuesta original, el análisis de un documento en el que se presente un conocimiento se facilita al plantear cinco preguntas:

1) ¿Cuál es la pregunta determinante? 2) ¿Cuáles son los conceptos clave? 3) ¿Cuáles son los métodos de investigación que se utilizan? 4) ¿Cuáles son las principales afirmaciones sobre conocimiento? 5) ¿Cuáles son los juicios de valor?.

En 1977 se presentó por primera vez en forma de V a profesores y estudiantes universitarios y en 1978 a estudiantes secundarios. Hoy su uso se ve ampliado a numerosos ámbitos en los que se pretenda desarrollar el conocimiento respecto a la naturaleza del conocimiento y del conocer, es decir el *metaconocimiento*.

El diagrama V, como producto de actividad reflexiva y sistemática, se ha desarrollado sobre la base de fundamentos filosóficos que, además de tomar posición frente a la estructura del conocimiento y la construcción de significados, incluyen una clara actitud frente a la educación y el aprendizaje. La V sostiene la concepción de *aprendizaje significativo*, propuesto por Ausubel y continuado e integrado por Novak en su Teoría de la Educación. En este marco, se consolida la idea que los hombres básicamente piensan, sienten y actúan. Se entiende a la educación como una empresa moral, que se da a través de una experiencia que contribuye a engrandecer a la persona. La

interacción entre el sentir, pensar y actuar está claramente simbolizada en el diagrama V en lo que el autor llama *la interrelación crucial entre los elementos conceptuales, teóricos y racionales y los elementos metodológicos, procedimentales y de actividad*. Debe tenerse en cuenta que el desarrollo de Gowin data de fines de los 70 por lo cual, probablemente, algunos conceptos puedan haber evolucionado y hoy ser objeto de discusiones, como por ejemplo el mismo concepto de concepto o de procedimiento. Sin embargo, la presentación y uso que se pretende de la herramienta heurística es general y abarcativa de diferentes posiciones teóricas y metodológicas.

La esencia que se intenta compartir es la relación innegable entre *el pensamiento y la acción* de cualquier campo en el que se pretenda crear nuevo conocimiento y, como actividad humana, el lugar legítimo de los valores que tienen que ver con el *sentir*.

A modo de introducción, se presenta un esquema simplificado del diagrama V en el que se puede empezar a discutir los elementos presentes.

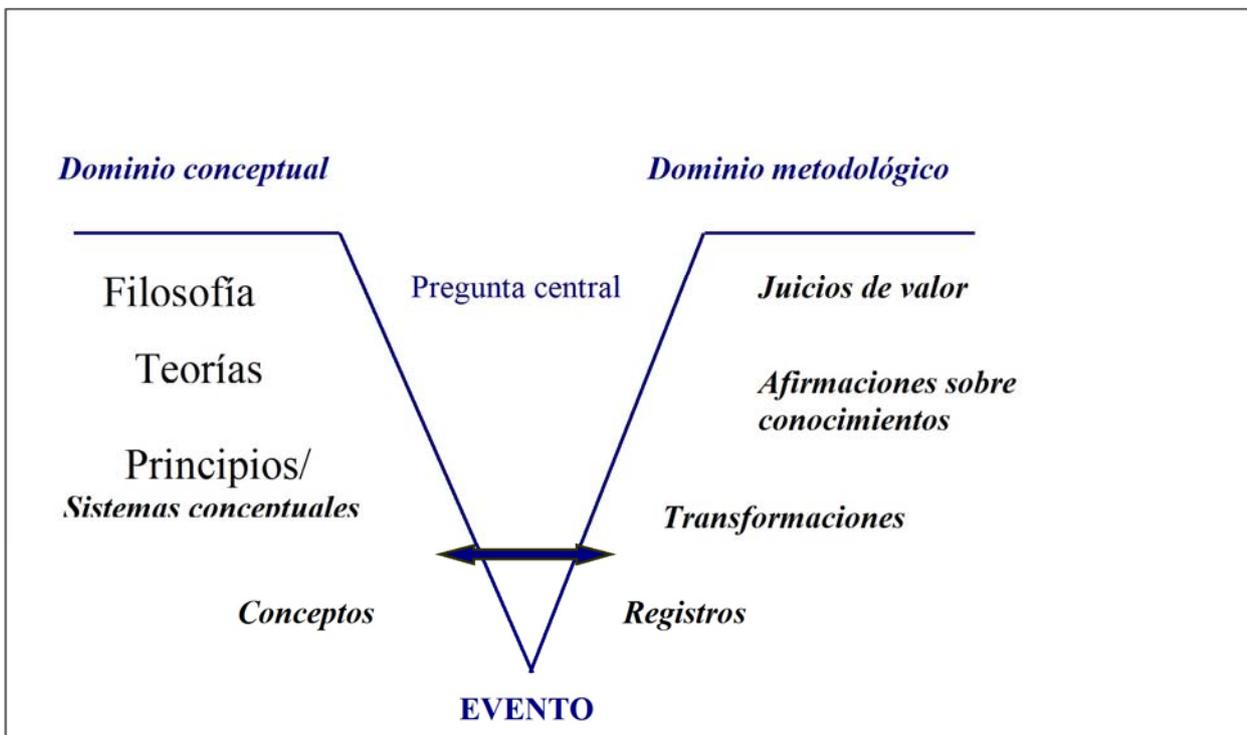


Figura 1: La V de Gowin

Se pretende mostrar el carácter dinámico con que se debe interpretar el esquema anterior. Los lados izquierdo y derecho representan los dominios conceptual y metodológico respectivamente y las flechas indican la relación ineludible entre ellos.

Cabe suponer que un investigador, en principio, decide el área en que va a trabajar y se plantea preguntas generales que, junto a las condiciones de trabajo, posibilidades e intereses orientan la definición de un problema de investigación. Esta definición no es trivial, ya que muchas veces se confunden problemas educativos con problemas de investigación en educación. (Quizá sería mejor proponer que el investigador seleccione un *problema investigable*). Paralela o sucesivamente, se selecciona o construye un *evento educativo*, para dar respuesta a *cuestiones centrales* acerca de él y,

en el proceso de búsqueda de respuestas se relacionan los aspectos *conceptuales* con los *metodológicos*.

Un informe de investigación debe, cuando menos, haber enunciado con claridad cuál es problema que da origen a la investigación, cuál es el hecho o evento educativo que se estudia, cuáles son las preguntas que intenta contestar, cuál es el conocimiento inicial (qué sabe el investigador acerca del evento, antes de iniciar su tarea), cuáles son los registros que ha tomado y bajo qué criterios los ha transformado para dar respuesta a las preguntas. Es deseable que alguno de estos aspectos centrales quede delineados de la manera más precisa posible ya desde el resumen.

Cuando muchas veces se repite que los resultados de investigación educativa no llegan a las aulas se aduce que existe una responsabilidad por parte de los docentes que no leen o no utilizan resultados de investigación. Debe reconocerse, sin embargo, que muchos reportes de investigación no ofrecen al lector pautas claras acerca de cuál es el problema que se estudió, cuál es el nivel de aplicabilidad de los resultados ni de qué manera maravillosa aparecen conclusiones tan poco relacionadas con los datos.

Claramente no se pretende describir un proceso rígido o secuencial, pero sí llamar la atención sobre el hecho que el proceso de creación de conocimiento tiende a un conocimiento público, que puede y debe ser sometido a criterios de validez y calidad. En este sentido, el uso de la V como estrategia metacognitiva estimula la honestidad intelectual favoreciendo el desarrollo de lo que Novak y Gowin denominan una *ética de la enseñanza y el aprendizaje: mostrar respeto por los individuos, por la claridad de sus razonamientos y por criterios públicos y exigentes de excelencia, tales como la consistencia*.

### **¿Por qué en forma de V?**

Como se dijo, al diagrama actual le precedieron un conjunto de cinco preguntas, que evidentemente no terminaban de conformar a Gowin con vistas a facilitar la comprensión del conocimiento en sus estudiantes. El vértice de la V, presenta una imagen visual que señala lo que considera elementos clave en cualquier investigación que se realice: la interrelación entre el evento, conceptos y registros. Desde la visión de Gowin, la “punta de la V es un buen punto de partida” y allí se inicia la producción del conocimiento. Si se pretende observar regularidades, es necesario elegir o crear acontecimientos donde realizar algún registro de las observaciones. En el proceso de elegir el problema y crear o seleccionar el evento a estudiar ya inciden los conceptos que el investigador tiene. Si los conceptos son inadecuados la indagación empieza de manera deficiente, si los registros son impropios, no habrá transformación capaz de salvar estas deficiencias para llevar a afirmaciones válidas. Afirmamos que sin conceptos no hay posibilidad de dar significado a los registros.

Al subir por el diagrama V, se facilita el reconocimiento de la interacción entre lo que ya se sabe y los nuevos conocimientos que se están construyendo o tratando de comprender, esto es decir a la manera ausubeliana se estimula el aprendizaje significativo y se resalta la conexión entre aprendizaje y conocimiento. En términos simples, Moreira (1990), expresa que el lado izquierdo de la V se corresponde con el *saber*, y el derecho con el *hacer*.

No obstante, la forma de V no es lo que da valor a la herramienta. Es admitido por Gowin, que es posible encontrar con el tiempo otra configuración. Sin embargo, probablemente, cualquiera sea ésta necesite de todos los elementos de las dos partes de la V.

### Asuntos de interés, evento educativo y cuestiones básicas

Una de las razones por lo que la investigación educativa puede ser considerada “difícil” es la complejidad e interacción de los elementos intervinientes.

En la educación según Novak, intervienen cinco elementos interrelacionados: el que aprende, el que enseña, la materia en cuestión o currículum, el contexto y la evaluación. Cada evento educativo es un resultado de alguna combinación de estos elementos.

Está claro que los asuntos de interés en educación son combinaciones de estos elementos y que una teoría comprensiva de la educación que pretenda guiar la investigación debe tratar con ellos. La selección o construcción de un evento educativo para ser investigado debiera centrarse en uno de ellos. Sin embargo, dado que cada uno está influido por la naturaleza de los otros, no es posible aislar o controlar todos los demás. Esto no significa que el investigador pueda ignorar estas condiciones de trabajo, en la selección del problema y definición del evento. *“Si además de la dificultad inherente a la naturaleza artificial de los acontecimientos y objetos que estudiamos, añadimos una falta de programación, tendremos la misma probabilidad de producir nuevos conocimientos que si nos basáramos en la Astrología o en la lectura de las hojas de té”*. Novak y Gowin, 1988.

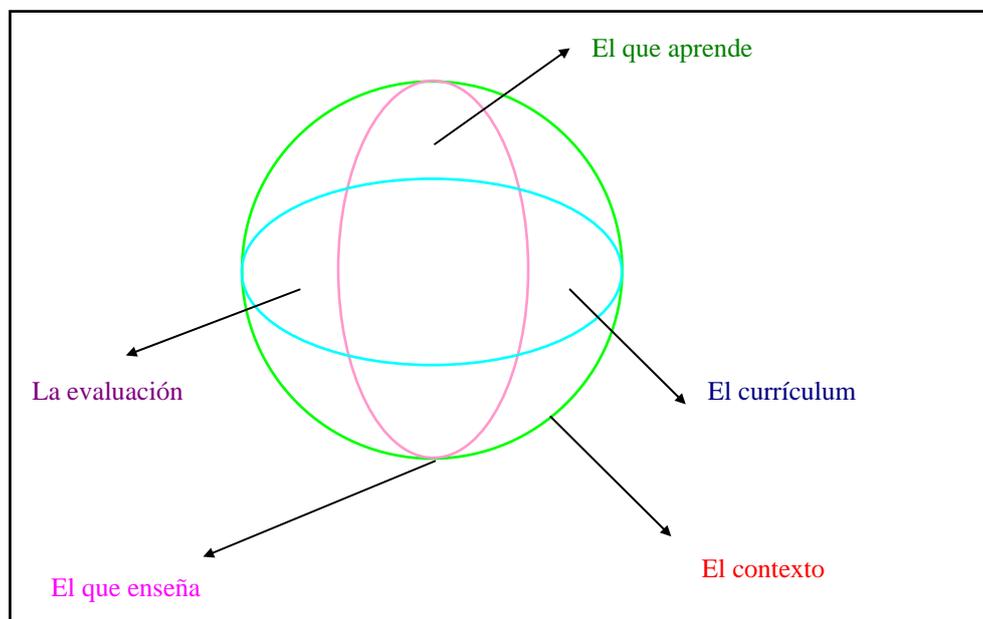


Figura 2, reproducida de Novak, 1990

En el caso de la resolución de problemas, hemos pretendido mostrar en los capítulos precedentes, que no existe una teoría consensuada desde la cual estudiar los desempeños. Esta es una razón

ulterior por la cual interesa comprender cuál es el evento elegido por el investigador, de modo de poder valorar en qué medida los registros son sensibles a las cuestiones de interés y si existen elementos teóricos que, aplicados a esos registros, permitan darles significado.

En párrafos anteriores nos referimos a la diferencia entre problemas educativos y problemas de investigación en educación. Este aspecto está directamente relacionado con la posibilidad de crear o seleccionar eventos en los que se puedan recoger registros válidos. *El fracaso de los alumnos de ciencias en la resolución de problemas* es, sin duda, un problema educativo; pero enunciado de esa manera general es prácticamente no investigable. El estado actual de desarrollo de teorías de educación y la carencia de teorías unificadas de la cognición, indican que es difícil, si no imposible, diseñar un acontecimiento que pueda, simultáneamente dar cuenta de todos los elementos que intervienen en un evento educativo y además estudie todos los factores que afectan el desempeño en la resolución de problemas.

### **Dominios conceptual y metodológico**

Novak y Gowin, 1988, muestran en su obra una constante preocupación por la investigación en educación teóricamente basada. A su juicio, una de las razones por las que los trabajos desarrollados en las últimas seis u ocho décadas hayan sido estériles, es la naturaleza atórica de los estudios. Advierte que la mayor parte de la investigación en educación es guiada por el método y no por la teoría. Al respecto expresa: “*los investigadores a menudo han comparado dos o más métodos de instrucción, usualmente con poca o ninguna justificación teórica para su diseño; o bien han usado una variedad de pruebas o escalas como métodos para evaluar cambios, a menudo con poca o ninguna teoría detrás de la elección de esos instrumentos*”. (Novak, 1990, 1.22). Estima que el resultado neto que han producido estos estudios, es un cierto escepticismo de la gente y de los profesores, que encuentran que los hallazgos en el área producen pobre impacto.

Muchas veces el problema mayor es que tales enunciados teóricos están pero de manera implícita, resultando difusos aún para el mismo investigador. En estos casos puede suceder, que el investigador esté más bien guiado por su sistema de creencias, con el consiguiente peligro de utilizar enunciados inconsistentes entre sí para diversas alternativas del mismo proceso. Otras veces, el dominio conceptual viene expresado con tal nivel de generalidad que resulta imposible que cumpla con su propósito de servir de marco interpretativo, tal es el caso por ejemplo de estudios que reportan como dominio conceptual el *constructivismo*.

Aún en los trabajos exploratorios de neto corte descriptivo, el investigador necesita un mínimo de conceptos con los que da significado a los registros. Los abordajes cualitativo y cuantitativo puede que utilicen el dominio conceptual de manera diferente, pero eso no quiere decir que uno u otro puedan prescindir de él. Es más, la investigación cualitativa de neto corte interpretativo, necesita de modo imprescindible, significados teóricos que le permitan hacer interpretaciones que luego pueda comunicar.

Los dominios conceptual y metodológico, se realimentan continuamente. Como hemos dicho, la interacción comienza en el momento mismo de tomar los registros y sigue a lo largo de todo el proceso. La sistematización de datos está también orientada por los constructos teóricos, éstos sugieren cómo ordenar de manera razonable los registros. Los métodos estadísticos pueden ser útiles para transformar los registros, pero no sustituyen una planificación del evento ni la validez de

los instrumentos. Para quienes provenimos de las denominadas “ciencias duras”, queda claro que no hay ajuste que pueda resolver datos mal tomados.

### **Afirmaciones de conocimiento y juicios de valor**

Las afirmaciones de conocimiento son aseveraciones que pretenden dar respuesta a las cuestiones clave. Emergen directamente de la transformación de los datos que han sido tomados en el evento observado. Es necesario que tales afirmaciones sean confrontadas con los datos obtenidos son, en buena medida, los “resultados” de la investigación. Debieran poder relacionarse con el marco teórico utilizado ya que en principio, en otro marco, podrían carecer de significado. Una investigación guiada por la Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo, difícilmente puede dar respuestas a cuestiones sobre las representaciones de expertos resolvedores de problemas. Así como la Teoría de Modelos Mentales, tal como está formulada no puede dar respuesta a problemas de la instrucción.

Los juicios de valor son respuestas a preguntas sobre valores. Gowin y Green, 1980 en Novak y Gowin 1988. Son respuestas a preguntas como ¿es bueno?, ¿es deseable? ¿es mejor?, etc. Se originan usualmente en las afirmaciones de conocimiento, pero no son lo mismo. Uno puede afirmar que el uso de mapas conceptuales facilita la representación de los sujetos en la solución de problemas, pero es un juicio de valor recomendar que tal tópico se incluya en la formación de profesores. Esto, en modo alguno, significa que los juicios de valor no tengan un lugar lícito en las investigaciones, sólo que debieran estar diferenciados de las afirmaciones que emergen de los datos y transformaciones, ya que el investigador al enunciarlos ha puesto en juego su propio sistema de valores.

