

## 5. Modelo de tratamiento cognitivo de problemas de Ingeniería

Carlos Bello, Guillermo Cuadrado

**Resumen:** El propósito de este trabajo consistió en analizar la actividad cognitiva, desplegada en la resolución de problemas de ingeniería, por sujetos con formación científico tecnológica, este trabajo fue orientado a desarrollar estrategias pedagógicas. Se buscó describir los procesos que se despliegan cuando se resuelven casos en Ingeniería. El método utilizado consistió en el análisis de conceptos epistemológicos y procedimentales, similares a los planes estratégicos. Se estudiaron y tipificaron métodos utilizados por profesionales con experticia en la práctica de la profesión y actividades I+D, aplicados a casos reales resueltos. Se propone una tipificación esquemática de cómo es el despliegue cognitivo en la actividad de resolución que puede guiar el proceso de formación profesional que persiguen los diseños curriculares.

**Palabras claves:** Funciones cognitivas, Almacén, Resolución de problemas, Modelo matemático, Creencias epistemológicas.

### Introducción

La práctica de la Ingeniería tiene como competencia más importante la resolución de problemas y para ello utiliza modelos matemáticos para representar sistemas reales, como expresa Buch, *se reemplaza conceptualmente un sistema de dominio real formado por objetos materiales por otro formado por objetos de otro dominio, este formado por entes matemáticos* (Buch, 2006).

Un ingeniero experimentado y competente, construye modelos eficientemente de situaciones nuevas y en contextos cambiantes. En la Argentina la SPU, CONFEDI y CONEAU han trabajado en la incorporación la competencia de resolver problemas, poniendo un importante énfasis en la formación de

los conocimientos básicos y el desarrollo de métodos sistémicos que permita a los futuros profesionales enfrentar un mundo cambiante y lleno de incertidumbres.

El objetivo de este trabajo es mostrar un modelo que explicita el trabajo cognitivo que desarrolla un resolvente de problemas experto.

### **La competencia de resolver problemas**

La resolución de problemas es una competencia crucial para los profesionales de las Ingenierías. Aquí se sostiene la tesis que los alumnos de estas carreras pueden adquirir las competencias buscadas de modo sistemático de modo de hacer énfasis en el desarrollo de estrategias que, tanto en aspectos formales o matemáticos como en los empíricos y utilizan frecuentemente iteraciones, recursiones y el replanteo total del problema, de acuerdo con el campo de aplicación como así también las que usan los matemáticos profesionales.

En el Plenario del CONFEDI (CONFEDI, 2006), Se trataron las necesidades del desarrollo de competencias en estudiantes de carreras de ingeniería y también las competencias mínimas que deben alcanzar los aspirantes a para poder ingresar, allí se propusieron dos áreas:

- Matemáticas básicas: Formular y resolver problemas de operaciones, geometría espacial, tratamiento de datos y situaciones aleatorias, y uso del sistema métrico.
- Lenguaje: Lectura comprensiva y rápida, y expresión oral y escrita. Estas competencias básicas mínimas son: comunicativa, interpretativa, argumentativa y propositiva. Por lo que deberá poseer "*habilidades mentales diversas*" para: observar, describir, argumentar, interpretar y proponer.

Luis Gómez (El pensamiento crítico: competencia básica de las carreras de ingeniería, 2010) a estas competencias les llama "*habilidades mentales diversas*" y son algunas de las

competencias de la Lógica Aplicada o Lógica Práctica, que actualmente suele llamarse *pensamiento crítico* (“*critical thinking*”) y que el CONFEDI reconoce como necesarias para *todas* las Ingenierías.

Otros autores como Resnick y Klopfer, Ausubel, Delgado Rubí han descrito el comportamiento de expertos al utilizar estas competencias. La investigación cognitiva muestra que la habilidad para resolver problemas se privilegia en el sistema académico y se refleja en los criterios de evaluación. Resnik (Resnick, 1989) estudió la actividad cognitiva desplegada por resolventes de problemas matemáticos y expresa que cuando un experto trabaja en un problema se hace preguntas tales como: *¿Todo está funcionando bien?*, o sea que controla y verifica el proceso que va desarrollando.

El comportamiento desplegado durante el proceso de resolución se considera como el resultado de un proceso cognitivo de autorregulación aprehendido. Es una habilidad pasible de aprendizaje, una competencia que se alcanza con un entrenamiento explícito centrado en los aspectos meta cognitivos y muy precisamente del pensamiento matemático.

Por otra parte Delgado Rubí (Rubi, 1998) adhiere a la teoría psicológica de la actividad y sostiene que: “... *no se puede separar el saber, del saber hacer, porque siempre saber es saber hacer algo, no puede haber un conocimiento sin una habilidad, sin un saber hacer*”. Luego basándose en ello este autor propone un Sistema Básico de Habilidades Matemáticas, donde ‘*definir*’ y ‘*demostrar*’, por su propia naturaleza, son las acciones que establecen el vínculo primario con el sistema de conocimientos y a partir de ellos introduce los verbos ‘*identificar*’, ‘*interpretar*’, ‘*recodificar*’, ‘*graficar*’, ‘*algoritmizar*’ y ‘*calcular*’ mediante los cuales se resuelven los problemas matemáticos en su acepción más amplia.

Delgado Rubí sostiene que en el Sistema Básico de Habilidades Matemáticas, tanto la concepción del trabajo metodológico, como el proceso de enseñanza de los

procedimientos generales matemáticos, son consecuentes con el carácter sistémico que tienen y son parte de la conducta de un profesional experto.

El conjunto de los procedimientos generales matemáticos, se presenta como una determinada totalidad imprescindible para el trabajo con los modelos que usan los ingenieros para interpretar, explicar y resolver casos de la realidad. Es evidente la naturaleza jerárquica del mismo, cada uno de los procedimientos o combinación de ellos puede ser considerado como un subsistema. La competencia de resolver problemas de ingeniería, depende en modo directo del conocimiento y uso del Sistema Básico de Habilidades Matemáticas (SBHM), además de ciertas estrategias que organicen el trabajo, basadas en la elaboración de modelos y de un tratamiento importante de las competencias de comunicación, interpretativas, argumentativas y propositivas.

A partir de estos criterios, se puede proponer un esquema de cómo está compuesta la estructura del tratamiento cognitivo que los sujetos despliegan cuando resuelven: Los sujetos acumulan conocimiento a través del sistema representativo y este sistema está dominado por las funciones cognitivas, todo esto está contenido por la función memoria, que es la función de sostenimiento del sistema semiótico y en ella se pueden encontrar y tipificar tres grandes almacenes básicos, en este modelo que construimos a partir de estos conceptos denominamos: *Almacén de Soluciones conocidas* “ASC”, *Almacén de estrategias de tratamiento* “AET” y *Almacén de unidades de conocimientos* “AUC”.

Se define un *Almacén de Soluciones Conocidas*, aquel que mantiene en memoria casos conocidos, resueltos con anterioridad, experimentado o ingresado por medio de estudio de casos. Luego, *Almacén de Estrategias de Tratamiento*, donde se acumulan estrategias por observación, necesidad o entrenamiento, esto justifica la formación educativa y se basa en el desarrollo de las funciones cognitivas, como un proceso natural como lo describe Jean Piaget (Piaget, 1973) y con la

interacción social como lo describe Vigostky (Vygotsky, 1987).

Se instala en este almacén el *Sistema Básico de Habilidades Matemáticas* (SBHM). Delgado Rubí (Rubi, 1998) sostiene que tanto la concepción del trabajo metodológico, como los procedimientos generales matemáticos son consecuentes con el carácter sistémico que tienen en la conducta de un profesional experto.

El SBHM, está representado dentro del almacén de estrategias de tratamiento, pero no se separa totalmente de las estrategias generales que normalmente se despliegan, pues para *identificar*, *interpretar*, *recodificar*, *graficar*, *algoritmizar*, que son parte del SBHM, se utilizan criterios de: *clasificar*, *comparar*, *evaluar*, *analizar*, *relacionar*, que no están mencionadas dentro del SBHM pero que son parte del conjunto de funciones cognitivas generales del pensamiento formal de los sujetos.

Finalmente puede tipificarse un *Almacén de Unidades de Conocimientos*. Este almacén es el resultado de dos modos de adquisición: a) la interacción social no científica, como son las creencias, tales como los mitos, las leyendas, la religión; b) la formación formal o cuerpo de conocimientos científicos, compuesto por conceptos, principios, leyes, teorías y meta teorías, como la Matemática, la Física, las ciencias sociales y como muy importante, los criterios epistemológicos.

Este almacén no es un contenedor de unidades que forma una trama conceptual integral, por sus relaciones significativas, se mantiene auto sostenido en la memoria. Ver tabla N° 1

<b>ESTRUCTURA COGNITIVA DE LOS SUJETOS</b>			
<b>Sistema Semiótico</b>			
Almacén de soluciones conocidas <b>ASC</b>	Almacén de estrategias de tratamiento <b>AET</b>	Almacén de Unidades de conocimientos <b>AUC</b>	<b>MEMORIA</b> sistema que permite contener los tres almacenes  + <b>Sistemas de procesamiento de la función memoria</b>  Ingreso de información Almacenamiento Evocación Transformación Olvido
Como se hacen algunas cosas	Como se tratan las cosas conocidas y no conocidas	Como son las cosas	
<b>CASOS RESUELTOS</b> Caso 1 Caso 2 Caso 3 . . . . . . . . Caso n + <b>EPISODIOS</b> (experiencias)	<b>FUNCIONES COGNITIVAS</b> (Funciones básicas de tratamiento de información)  Interpretar (lenguaje) Relacionar Comparar Clasificar Evaluar Analizar Vincular . + <b>SBHM</b> (Sistema Básico de Habilidades Matemáticas)	<b>CREENCIAS</b> (formación no científica) Mitos Leyendas Religión + <b>CUERPO DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO</b> (formación científica) Conceptos Principios Leyes Teorías Meta teorías (Epistemología + Matemática + Física + ciencias sociales)	

Tabla Nº1: Esquema de la Estructura cognitiva de los sujetos, fuente propia.

## **Proceso cognitivo que despliegan los resolventes**

Utilizando este esquema de la tabla N°1, se propone un proceso que explica cómo es usada la estructura cognitiva durante la resolución de un problema planteado, este es un caso de la enseñanza. En este caso, el resolvente interactúa con el planteo a través de su operador semiótico que le permite obtener el significado de lo que se le expone, Gianella (Gianella, 2002) explica cómo funciona este operador y cada uno de los componentes. Una vez que el sujeto ha comprendido lo planteado (imput), la información pasa a la estructura cognitiva donde actúan las funciones cognitivas básicas, las cuales le permiten relacionar la información recibida con lo que contienen sus almacenes.

La primer actividad que se despliega con los almacenes es una respuesta de bajo consumo energético, es buscar y comparar la información ingresada con casos del ASC, si se encuentra un modelo que representa el caso, se ha hecho una economía de pensamiento y solo es necesario aplicar el modelo conocido y resolver. Hecho el proceso de resolución solo queda procesar los resultados y poner la respuesta en modo lingüístico para emitir la comunicación, este proceso sigue el camino de interpretar la entrada → procesar → encontrar el modelo → aplicar el modelo conocido → sacar resultados → transformar al lenguaje y comunicar, es una actividad energéticamente económica, esta actividad se tipifica como ejercitación, no es una resolución de problemas, tiene escasa actividad cognitiva.

Si la información interpretada no puede ser relacionada con un modelo del ASC, se requiere construir un modelo nuevo, entonces la atención debe desplazarse a los otros almacenes, la necesidad de encontrar una relación con las unidades de conocimiento moviliza el uso de estrategias, que pueden ser guiadas por algún caso parecido del ASC, uso de estrategias de búsqueda y tratamiento para relacionan los datos con los componentes del cuerpo de conocimientos científicos de base teórica y experimental, existentes en el *AUC*, puede darse

entonces el caso de obtener una interpretación mediante el uso de estos para construir un modelo nuevo, con la suficiente validez para resolver el problema.

De darse este caso solo resta seguir el proceso explicitado a partir del modelo, que en este caso ha sido construido lo que hace que se presente una diferencia cognitiva importante con el caso anterior, aquí si se ha hecho entonces una “resolución de problema”.

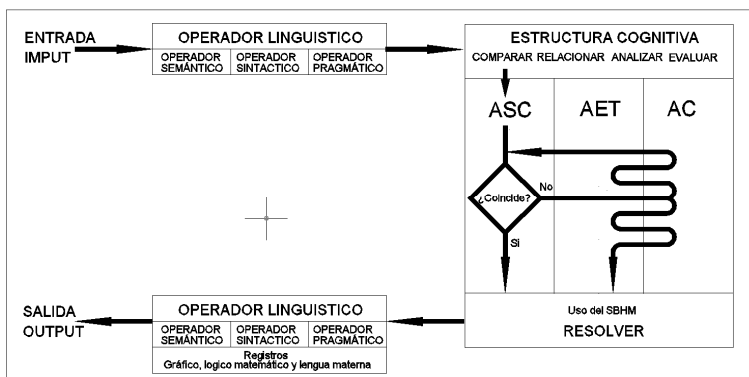
De darse el caso que el proceso sea más complejo y requiera de resoluciones parciales o el uso de modelos complementarios conocidos o no, que implican recursiones y procesos de verificación que pongan a prueba la validez del modelo, el trabajo es mucho más complejo y requiere un uso integrado de los elementos que contienen los tres almacenes.

Como los casos de resolución de problemas de ingeniería, los problemas científico-tecnológicos requieren de soluciones con modelos están altamente matematizados, el SBHM es la herramienta que siempre aparece operando sobre el proceso, lo que explica su relevancia dentro de la estructura cognitiva del resolvente.

Cuando el sujeto trabaja con sus estrategias tratando de construir un modelo, si se tiene un ASC grande, algún modelo conocido que aunque no se adapta totalmente, puede inducir la construcción de un nuevo modelo.

También un proceso de trabajo con los almacenes puede inducir una reinterpretación de a raíz de las relaciones encontradas en la teoría y guiar un nuevo proceso de modelización, los caminos son diversos, pero queda claro que una buena dotación de almacenes y una sistémica de trabajo ordenado determina una estructura cognitiva eficiente al hacer frente a situaciones problemáticas.





**Fig. 3.** Diagrama de proceso de resolución de un problema.  
Fuente propia

### **Algunas estrategias para formar un entramado conceptual eficiente de la estructura cognitiva**

En los procesos de formación de profesionales de la ingeniería, el trabajo con ejercicios, permite incorporar estrategias de tratamiento, generales y especializadas, relaciones muy fuertes de conceptos con estructuras matemáticas que los describen, analogías y estructuras portables (matemática) y acumular casos en el ASC. Esta estrategia pedagógica permite además asociar modelos que saturan teorías definiendo un ámbito de aplicación de estas.

Ahora bien, resolver ejercicios, muestra modelos pero no trabaja sobre estrategias de construcción de los mismos, para desarrollar esta habilidad se ha mostrado muy eficiente hacer ciertas actividades cómo, trabajar sobre conceptos epistemológicos que clarifiquen los procesos de abstracción, utilizar eficientemente hipótesis simplificadoras, interpretar eficientemente la utilización de representaciones isomórficas parciales y las restricciones que se introducen, utilizar criterios de argumentación que permiten distinguir una explicación auténtica de una sólo aparente, para esto es importante utilizar un criterio epistemológico que utiliza el modelo

nomológico-deductivo como establece Hempel (Verdugo, 2005)

Es de notar que este concepto de la explicación fue formulado inicialmente por Karl Popper y un modo eficiente de introducir este modo de trabajo en los aprendices responde al método axiomático durante la presentación del desarrollo de las teorías lo que permite seguir el camino que marca este criterio de argumentación y entrena la construcción de modelos.

Trabajar el SBHM, resolver ejercicios, incorporar conceptos epistemológicos, trabajar las teorías utilizando el método axiomático y hacer prácticas de laboratorios que carguen con contenido empírico estas teorías, permite hacer en forma eficiente al trabajo en la resolución de problemas donde ahora se moviliza toda la estructura cognitiva lo que permite construir y trabajar con modelos.

Debe quedar explícito que estos análisis no incluyen la influencia emocional sobre el trabajo cognitivo, los sujetos despliegan la actividad cognitiva con rendimiento variable según sus estados anímicos. Tampoco incluyen como son afectadas cuando aparecen actividades compartidas con otros sujetos, como es el caso de resoluciones encaradas por un equipo de trabajo donde aparece un condicionamiento mediante procesos de empatía, liderazgo y competencia.

#### **Algunas dificultades detectadas en alumnos del nivel inicial y propuestas de trabajo.**

El trabajo con los alumnos de los niveles iniciales de las carreras de ingeniería muestra que los alumnos tienen dificultades para resolver problemas simples al inicio del curso

Otra dificultad que se detecta radica en la falta de los elementos presentes, contenidos en su estructura cognitiva. Un SBHM débil impacta muy fuerte sobre el proceso que deben desplegar al resolver e inhabilita al sujeto para planificar y resolver, también la falta de prerrequisitos en física genera una incapacidad de interactuar con los problemas, si se observa la tabla N<sup>o</sup>1, se puede entender que, un individuo que trae un AC con escasos conocimientos científicos, no

tiene oportunidades de encontrar elementos que se relacionen con los planteos de la entrada. Estos problemas tienden a disminuir en el transcurso del ciclo lectivo por el impacto que producen las asignaturas que van cargando de elementos su estructura cognitiva.

Un estudio encarado sobre las creencias epistemológicas (Bello, 2011), muestra que los alumnos que ingresan adolecen de los conceptos de explicación científica y argumentación.

Es común detectar que traen conocimientos de teorías de física, pero no logran relacionarlos con casos y eventos de la realidad, están como bloque inconexos, no se interrelacionan formando un entramado conceptual. Asociado a esto siempre se encuentra, una ineficiente utilización de los sistemas de representación. Esta dificultad parece provenir de un débil AET.

Elsa Meinardi (Meinardi, 2010), aborda el estudio de los obstáculos que enfrentan los alumnos al resolver o en un proceso de aprendizaje, para este autor, aprender consiste en construir representaciones apropiadas del mundo, lo que aquí se plantea como modelos que explican partes del mundo, este concepto de conocimiento como representación, fue introducido, tratado y organizado por autores como Piaget, Bruner y Bachelard, los cuales muestran como las ideas o representaciones previas correctas, sirven de explicación eficaz y funcional para el aprendiz.

También estas representaciones previas pueden funcionar como obstáculo, cuando no están debidamente concebidas. Esta existencia de representaciones-obstáculo, puede deberse a errores conceptuales debido a creencias que emanan de la interacción social, a la formación científica ineficiente o concepciones producto de la propia organización cognitiva no ordenada y deficiente de los sujetos.

Dentro de las representaciones previas, toman importancia las meta teóricas, la figura 2, muestra que ante un requerimiento que no encuentra el modelo de solución conocida, la atención conduce la actividad cognitiva al AC, las creencias

epistemológicas guían el trabajo cognitivo dentro de este almacén pues, permiten relacionar teorías y modelos que describen o explican y resuelven, estas actúan sobre las unidades de conocimiento, subordinándolas.

Cuando se encaran trabajos para desarrollar la estructura cognitiva en los alumnos utilizando los criterios expuestos, es necesario utilizar estrategias que interactúen con los almacenes descritos y los refuerzan en forma integral, de esta manera se busca entrenar un tratamiento sistémico de los problemas con un énfasis en el conceptos de *modelo*, las distintas estrategias de modelización y un uso eficiente de las funciones cognitivas, esto por tratarse de problemas y casos tecnológicos se hace ineludible el SBHM tipificado por Delgado Rubí.

### **Conclusiones.**

La estimulación de las funciones cognitivas juega un papel excluyente en todo el proceso de resolución de problemas, la función semiótica actúa sobre la totalidad de la estructura cognitiva por lo se hace prioritario trabajar en su desarrollo.

El aprendizaje mediante la resolución de problemas con modelos moviliza y refuerza la estructura cognitiva y muestra un contraste importante sobre el aprendizaje mimético generando un entramado conceptual de elevada significación.

Para la ingeniería el SBHM junto con las funciones cognitivas generales son la herramienta que permite regular el proceso de resolución de problemas de ingeniería mediante modelos.

Las creencias epistemológicas que traen los alumnos, les crean dificultades para relacionar conceptos físicos, representaciones gráficas y conceptos matemáticos con hechos del mundo de la realidad

### **Bibliografía**

Bello, C. (2011). Caracterización de las creencias epistemológicas en alumnos de ingeniería. En *EMCI 2011*,

- Sexto Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería*. Mendoza: Pablo Arena Editores.
- Buch, T. (2006). *Contribuciones a una teoría de la artificialidad*. Buenos Aires: Aique.
- CONFEDI. (2006). *Primer acuerdo sobre competencias en la enseñanza de la ingeniería Argentina, experiencia piloto en las terminales de Ing. Civil, Electrónica, Industrial, Mecánica y Química*. La Plata: UNLP.
- Gianella, A. (2002). *Lógica simbólica y elementos de metodología de la ciencia*. Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.
- Gómez, L. (2010). El pensamiento crítico: competencia básica de las carreras de ingeniería. En *ECEFI 2010*. Mendoza: UTN.
- Gómez, L. (2010). Nuevos Currículos de Ingeniería en la UTN. ¿Competencias o contenidos? En L. Gómez, G. Cuadrado, *Educación en ciencias empíricas en carreras de ingeniería*. ECEFI 2010. Mendoza: UTN.
- Meinardi, E. (2010). *Educar en ciencias*. Buenos Aires: Paidós.
- Piaget, J. (1973). *La psychologie de L'Intelligence*. Paris: Librairie Armand Colin.
- Resnick, L. (1989). *Curriculum y cognición*. Buenos Aires: Aique.
- Rubi, L. D. (1998). *Cuestiones de didáctica de la matemática. Procedimientos generales matemáticos*. Rosario: Homo Sapiens.
- Verdugo, C. (2005). Popper y la explicación científica. *Revista de filosofía*. Vol.30 Nº1, 49-61.
- Vygotsky, L. (1987). *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. La Habana: Editorial Científico Técnica.

\* \* \*