

## SOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y CONTROL METACOGNITIVO APLICADOS EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Luis Alexander Jiménez Hernández

Universidad Manuela Beltrán. Bogotá (Colombia)

### Resumen

Este texto presenta una investigación realizada por el autor, basada en la aplicación del método microgenético para analizar la solución de problemas y el control metacognitivo, empleando métodos heurísticos en situaciones contextualizadas para problemas académicos de circuitos electrónicos, con estudiantes de ingeniería electrónica e ingeniería biomédica de la Universidad Manuela Beltrán, Bogotá (Colombia). Se determinaron algunas características presentadas por el grupo de estudiantes en todo el proceso, permitiendo obtener conclusiones y observaciones importantes en el campo de la solución de problemas en áreas de conocimiento específicas del análisis y el diseño de circuitos electrónicos, en procesos de control metacognitivo y sus variables, y métodos de enseñanza empleando heurísticas en ingeniería.

**Palabras clave:** Educación en ingeniería, solución de problemas, metacognición, método microgenético, circuitos electrónicos.

### Abstract

This text presents a research develop by the author, based on the application of microgenetic method to analyze problem solving and metacognitive control, using heuristic methods with context situations for academic electronic circuit problems, with students of electronic engineering and biomedical engineering of the Universidad Manuela Beltran. Some features was found, presented by the group of students in the complete process, which allowed to obtain some conclusions and important observations about problem solving in specific knowledge in electronic circuit analysis and design, metacognitive control processes and variables, and teaching heuristic methods in engineering.

**Keywords:** Engineering education, problem solving, metacognition, microgenetic method, electronic circuits.

## Introducción

Esta investigación abarca el campo de la solución de problemas con la aplicación de heurísticas en el análisis y diseño de circuitos electrónicos, como área específica de formación para ingenieros electrónicos y biomédicos, buscando mediante indagación y experimentación algunas características que dieran cuenta del desarrollo cognitivo y metacognición, especialmente en los procesos de control.

Los principios de esta investigación se fundamentan en estudios como el relacionado con las estrategias aritméticas aplicadas para la solución de problemas en contextos sociales, en la mediación pedagógica de los padres en la etapa preescolar de sus hijos (Bjorklund, Hubertz y Reubens, 2004). Otros estudios tratan acerca de la interacción caracterizada de los aspectos metacognitivos de la formación de conceptos en condiciones similares a las escolares (Portes et al. 1997); y de los reconocidos métodos de enseñanza PBL (Problem Based Learning) o programas de aprendizaje basados en problemas, los cuales permiten orientar los conocimientos y habilidades del estudiante para la solución de problemas reales en el ejercicio de su profesión con problemas prácticos y laborales (Dunlap, 2005).

A partir de dichos antecedentes y del oficio del autor de este artículo como docente e ingeniero, se propuso la pregunta: de qué manera incide contextualizar una situación aplicando heurísticas en la ejecución (en solución de problemas) y en el control metacognitivo, en los procesos desarrollados por estudiantes de ingeniería. Para esto, se realizó un estudio de fundamentos teóricos, en donde se encontraron conceptos de diferentes autores, tales como: Krick (2002, p. 11), quien señala la definición de un problema como el “deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro”, y Polya (1962, p. 177), refiriéndose a la existencia de un problema cuando “se busca conscientemente una acción apropiada para conseguir un objetivo claramente concebido, pero que no es alcanzable de forma inmediata”. Del mismo modo, se encontraron otras definiciones importantes, como la solución de un problema, a la cual añade Krick (2002, p. 11); “una solución es un medio para lograr la transformación deseada”, o también como el descubrimiento de un

nuevo procedimiento realizado por el sujeto (Polya, 1962; Rubinstein y Firstenberg, 1995). Skinner, (1979, citado por Rubinstein y Firstenberg, 1995), también relaciona la solución de problemas con el comportamiento del individuo ante una situación que necesita (o que quiere) cambiar mediante una acción que modifique dicha situación, de la misma manera que explica que un estímulo conduce a una respuesta activa. Otra tesis es la de Simon (1969, citado por Rubinstein y Firstenberg 1995), quien propone un modelo de estados de un problema, en el cual, su solución se basa en un proceso de traducciones sucesivas entre estados de una realidad compleja.

También fue necesario el análisis de un problema a partir de sus partes, para el cual, el trabajo se basó en la tesis de Polya (1965) dividida en cuatro fases: la comprensión del problema, la elaboración de un plan, la ejecución del plan, y la verificación final. La etapa que se consideró en este estudio es la de ejecución, en donde se aplican los recursos tanto físicos como cognitivos para llevar a cabo el plan. Por otra parte, Lindsay y Norman (1972, citado por Mayer, 1977) señalan tres métodos para la solución de problemas: los hechos, los algoritmos y las heurísticas. El método tomado en cuenta fue este último puesto que consiste en el tipo de solución más empleada en casos laborales y prácticos en la ingeniería, puesto que permite buscar una solución entre diferentes opciones empleando conocimiento experto.

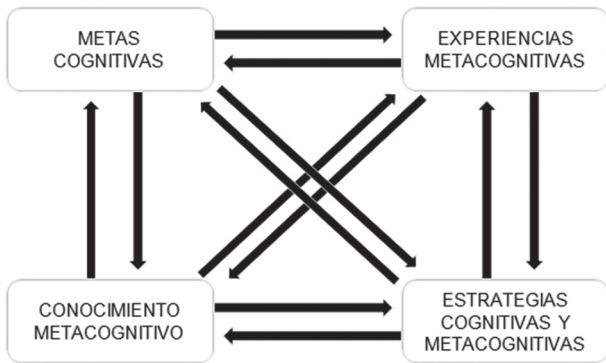
El segundo tema de relevancia para este estudio fue la metacognición, en donde se analizaron varias propuestas de diferentes autores, tales como Flavell (1976, citado por Mateos, 2001, p. 21), quien la define como el “conocimiento que uno tiene acerca de los propios procesos y productos cognitivos o cualquier otro asunto relacionado con ellos”, y Soto (2002, p. 28), que menciona como “la indagación sobre cómo los seres humanos piensan y controlan sus propios procesos de pensamiento”. En cuanto a modelos metacognitivos, se tomó en primer lugar a Flavell (citado por Soto, 2002), en el cual se describen cuatro componentes: el conocimiento metacognitivo, la experiencia metacognitiva, las estrategias cognitivas y metacognitivas, y las metas metacognitivas (ver figura 1). También se incluyeron algunos aspectos del modelo propuesto por Mayor, Suengas y González (1993), en el que aparecen otros componentes: la

conciencia, el control y la autopoiesis. En este último se analizaron diferentes variables: las de la actividad, las del sujeto y las del contexto. Adicionalmente se abarcaron los componentes de la clasificación de Brown (1987, citado por Soto, 2002): la planificación, el control y la evaluación.

### Metodología

Para determinar los cambios cognitivos en la población se eligió el método microgenético, empleado también en otros estudios similares. Dicho método permite hacer un seguimiento tanto a los momentos de desarrollo como a las transformaciones cognitivas en el proceso de mediación, permitiendo analizar en detalle el proceso de aprendizaje de estrategias para la solución de problemas. Según Siegler y Crowley (1991), se deben abarcar períodos de tiempo suficientes para alcanzar un estado estable del cambio cognitivo y analizar el desarrollo junto con los resultados en cada prueba, lo que conlleva una alta densidad de observaciones. Para Siegler (1999; citado por Bower, 2001), estos exigentes factores dificultan el estudio, pero por otra parte, son los que permiten analizar la evolución gradual en el proceso de aprendizaje del sujeto. Otros obstáculos para la aplicación de esta metodología son la falta de experiencias y de técnicas apropiadas, la selección de la información importante, y la validez de la estrategia de clasificación, entre otros (Siegler y Crowley, 1991).

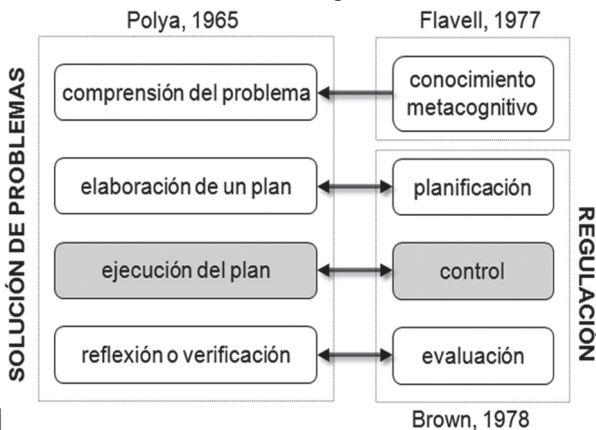
Figura 1. Modelo metacognitivo de Flavell



Fuente: Flavell (1979, Mateos, 2001, p. 22)

Para integrar las bases teóricas, se vincularon las diferentes propuestas en un solo esquema que abarcó, las relaciones principales (Jiménez, 2009): por una parte, las etapas del problema (Polya, 1965), y por otra, los componentes metacognitivos (Flavell, 1977, y Brown, 1987). A partir de dicho esquema, se plantearon las características metodológicas de la investigación (ver figura 2).

Figura 2. Relaciones teóricas del énfasis del diseño metodológico



Fuente: autor de la investigación, basado en Polya (1965), Flavell (1977, Soto, 2002), Brown (1987, Soto, 2002)

La población objeto de estudio consistió en el grupo de veintiséis estudiantes jóvenes (con edades entre 17 y 20 años) y de género mixto (27% mujeres y 73% hombres), asistentes al curso Electrónica Análoga (ubicado en el tercer semestre del plan curricular), conformado por alumnos de los programas académicos de ingenierías electrónica y biomédica (23 y 3 estudiantes respectivamente) de la Universidad Manuela Beltrán. La asignatura tenía componentes teórico y práctico, por lo tanto, se tuvieron sesiones de cátedra en salones de clase y actividades prácticas en salones de laboratorio (dos horas de intensidad semanal en ambos casos, es decir, cuatro horas de trabajo presencial). El proceso de experimentación se desarrolló en tres etapas: un diagnóstico de perfil inicial de forma individual y colectiva, una serie de siete pruebas individuales en orden progresivo de dificultad, y finalmente, un análisis de perfil final individual y grupal, abarcando en total nueve sesiones con la población. Para dicho proceso se realizó el diseño de siete instrumentos de mediación y de registro de información (a cargo del autor de la investigación y con base en los fundamentos teóricos señalados anteriormente), los cuales se aplicaron con cada uno de los estudiantes,

empleando una estructura (ver tabla 1) basada en temas de análisis y diseño de circuitos con transistor bipolar o BJT (Bipolar Junction Transistor). En cada instrumento se presentó al alumno un enunciado general (el problema) y se realizaron seis preguntas a manera de cuestionario para dar cuenta de las categorías de análisis y sus correspondientes variables (ver tabla 2). Cada prueba tuvo un tiempo aproximado entre 5 y 20 minutos, según el nivel de dificultad que presentaba para cada sujeto.

Tabla 1. Circuitos electrónicos con transistores

Tabla 1. Circuitos electrónicos con transistores bipolares: análisis y estructura

Niveles conceptuales alcanzados	Objetivo de la tarea para el estudiante	Objetivo investigativo de la tarea
Polarización DC del transistor bipolar	1. Utilizar el BJT* como amplificador de corriente DC	1. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización cuando se emplea el transistor BJT* como amplificador de corriente DC
	2. Analizar la polarización de un circuito con BJT*	2. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización cuando se analiza la polarización de un transistor BJT*
	3. Analizar la estabilidad en circuitos de polarización con BJT*	3. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización cuando se analiza la estabilidad de la polarización de un circuito en función del factor $\beta^{**}$
	4. Diseñar el circuito de polarización para un BJT*	4. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización en el diseño de circuitos de polarización para transistores BJT*
Amplificación con el transistor bipolar	5. Utilizar el BJT* como amplificador de pequeña señal	5. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización cuando se emplea el transistor BJT* como amplificador de pequeña señal
	6. Analizar un circuito amplificador con BJT*	6. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización cuando se analiza la amplificación de pequeña señal empleando un transistor BJT*
	7. Diseñar un circuito amplificador con BJT*	7. Analizar el uso de heurísticas y mecanismos de contextualización en el diseño de circuitos amplificadores de pequeña señal empleando un transistor BJT*

\* BJT: transistor bipolar, de sus siglas en inglés

Fuente: Autor de la investigación, basado en el experimento de corte microgenético de Schoenfeld, Smith y Arcavi (1993) de las ecuaciones y gráficas para líneas rectas.

Tabla 2. Categorías y variables de análisis

Categoría	Variable
Ejecución del plan	Tipo de desarrollo
	Argumentación
Situación	De contexto
Proceso de control	Verificación
	Rectificación
	Revisión

Fuente: Autor de la investigación

### Análisis y discusión de resultados

Para la revisión y optimización de los instrumentos se realizaron pruebas piloto con un grupo de veinticuatro participantes voluntarios, estudiantes de

ingeniería electrónica, permitiendo mejorar y aclarar la redacción de los enunciados. En la aplicación con la población objeto se observó que cada estudiante presentó características individuales en cuanto a su desempeño en la solución de problemas (11 alumnos presentaron mejor desempeño que los otros 15, con una media de 0.397 en una escala valorativa entre 0.000 y 1.000), permitiendo obtener un perfil inicial de cada sujeto. Luego se emplearon los siete instrumentos que permitieron realizar el seguimiento a los procesos cognitivos y metacognitivos, observando los cambios que se presentaban en cada intervención (ver tabla 3). A cada tipo de respuesta se asignó un número cero ó uno, dependiendo si el estudiante respondía negativa o afirmativamente con respecto al uso de los mecanismos de contextualización correspondientes a las variables de análisis.

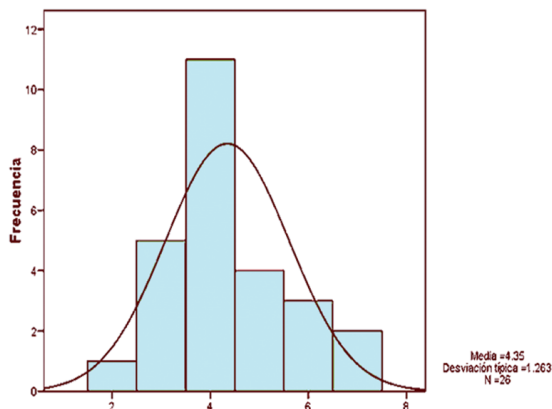
Tabla 3. Detalle de los resultados históricos de cada estudiante en la primera variable

Código Estudiante	VALORACIÓN INICIAL	TAREA 1	TAREA 2	TAREA 3	TAREA 4	TAREA 5	TAREA 6	TAREA 7
1.1	1	1	0	0	1	1	0	1
2.2	0	1	1	1	1	1	0	0
3.3	0	1	0	1	0	0	1	1
4.4	1	1	1	1	0	1	0	0
5.6	0	1	0	1	0	0	1	0
6.7	0	1	0	1	1	1	1	1
7.8	1	1	1	1	0	1	1	1
8.9	0	1	0	1	0	1	1	0
9.10	1	1	0	1	0	0	0	1
10.11	0	1	0	0	0	1	1	0
11.12	0	1	0	1	0	1	1	0
12.13	0	0	1	1	0	1	1	0
13.16	1	0	1	0	1	1	1	1
14.17	1	0	0	1	0	1	1	0
15.19	1	1	0	1	0	0	0	0
16.20	0	1	0	1	0	1	0	0
17.21	0	1	0	1	0	1	1	0
18.22	0	1	0	0	0	1	0	0
19.24	0	1	0	0	0	1	1	0
20.25	0	1	0	0	1	1	1	0
21.26	0	1	1	1	1	1	1	0
22.27	1	1	1	0	1	1	1	1
23.28	1	0	1	1	0	0	0	1
24.29	0	0	0	1	1	1	1	1
25.31	0	1	0	1	0	0	1	1
26.33	0	1	1	0	1	0	1	0

Fuente: autor de la investigación

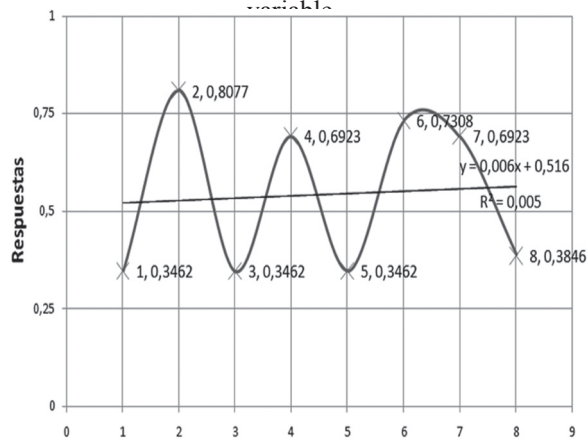
A partir de la información obtenida en la aplicación de los instrumentos, se realizaron dos tipos de análisis: el estadístico descriptivo (ver figura 3), con el cual se obtuvo el desempeño general de cada estudiante, y el de series de tiempo, que permitió observar la tendencia del comportamiento de cada alumno durante el proceso (ver figura 4), analizando la pendiente de la recta de regresión con respecto a cada variable (Lind, Marshal, Mason, 2004).

Figura 3. Análisis estadístico de la primera variable



Fuente: autor de la investigación

Figura 4. Análisis por serie de tiempo de la primera variable



Fuente: autor de la investigación

## Conclusiones

La mayoría de los estudiantes (54%) presentó cambios con respecto a las seis variables de análisis, es decir, a lo largo de las tareas de solución de problemas, los alumnos mostraron diversidad de preferencias acerca del uso de heurísticas y el desarrollo de actividades de control metacognitivo. Solamente el 46% de ellos conservó al menos un aspecto para la solución de problemas de forma estricta durante todo el experimento.

La variación del grupo en todos los aspectos de las variables fue del 86%, lo que significa que los tipos de intervención y de pruebas empleados generaron

cambios cognitivos de forma notoria en los estudiantes, principalmente por la reducción en la demostración formal, puesto que ninguno de los alumnos se mantuvo constante en dicho tipo de desarrollo durante el tiempo de observación. En contraste, el 23% de la población sí se mantuvo constante frente a la actividad de revisión de la estrategia.

El grupo mostró preferencia a emplear heurísticas (pendiente positiva de 0.008), desarrollando nuevas estrategias para la solución de problemas de circuitos electrónicos, debido a la familiarización con la aplicación de nuevos procesos y métodos, lo cual condujo a reducir la verificación de las estrategias empleadas anteriormente (pendiente negativa de -0.057).

En la categoría de ejecución del plan se observó un mejoramiento en el desempeño con respecto a las dos variables (pendientes resultaron positivas), puesto que el grupo presentó un incremento en el uso de recursos cognitivos y de aplicación de estrategias tanto en los problemas de análisis y de diseño de circuitos electrónicos. De la misma manera, se obtuvo un incremento progresivo en el uso de información contextual, puesto que los estudiantes tomaron en cuenta información adicional del entorno para ser aplicada en la solución de problemas, sin limitarse a la aplicación de conceptos teóricos previos.

En la categoría de control metacognitivo se observó que el nivel de las variables disminuyó a lo largo del experimento (pendientes resultaron negativas), logrando identificar la reducción de la regulación de procesos cognitivos en la medida en que se incorpora el uso de heurísticas en la solución de problemas, debido al aprendizaje de estrategias que les permitieron a los estudiantes desarrollar argumentaciones de tipo experto.

Fomentar el uso de heurísticas como metodología de trabajo en un curso, representa grandes ventajas tanto para el profesor como para los alumnos, pues al docente le facilita la enseñanza basándose en su experiencia profesional y compartiéndola mediante la explicación de reglas y tácticas, mientras que los estudiantes pueden aprender a emplear nuevas estrategias, mejorando su desempeño al reducir el tiempo y al ampliar la cantidad de recursos cognitivos y metacognitivos para la solución de problemas.

## Referencias

- Bjorklund D., Hubertz, M., Reubens, A. (2004). International journal of Behavioral Development. *Psychology Press (T&F)*. 28 (4), pp. 347-357 [Versión electrónica].
- Bower, B. (2001). Learning in Waves. *Science News*, 03/17/2001, Vol. 159 Issue 11, p172, 3p, 1c [Versión electrónica]. Número de acceso: 4212667.
- Dunlap, J. (2005). Problem-based learning and self-efficacy: how a capstone course prepares students for a profession. *Educational Technology Research & Development (ETR&D)* Vol. 53, No. 1, 2005, pp. 65–85 [Versión electrónica]. Número de acceso: 13310785. EBSCO: Asociation for Educational Communications & Technology.
- Jiménez, L. (2009). *La ejecución y el control en la solución de problemas empleando métodos heurísticos y situaciones contextualizadas*. Tesis de maestría no publicada. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Krick, E. (1968?/2002). *Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería* (26ª reimpresión). México: Editorial Limusa.
- Lind, D. Marchal, W. Mason, R. (2004). *Estadística para administración y economía* (11ª. Ed.). Bogotá: Alfaomega Grupo Editor.
- Mateos, M. (2001). *Metacognición y educación*. Ed. Aique, Buenos Aires.
- Mayer, R. (1977). *Thinking and problem solving: An introduction to human cognition and learning*. Scott, Foresman and Company, Glenvieww, Illinois.
- Polya, G (1962/1981). *Mathematical Discovery on understanding, learning, and teaching problem solving* (combined edition, Vol 1). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Portes, P., Smith, T., Zady, M., Del Castillo, K. (1997). Extending the double stimulation method in cultural-historical research: parent-child interaction and cognitive change. *Mind, Culture & Activity*. 1997, Vol. 4 Issue 2, p108-123, 16p [Versión electrónica]. University of Louisville. Lawrence Erlbaum Associates.
- Rubinstein, M., Firstenberg, I. (1995). *Patterns of problem solving* (2ª Ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Siegler, R.; Crowley, K. (1991). The microgenetic method, a direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*. June 1991 Vol. 46, No. 6, pp. 606-620. American Psychological Association Inc.
- Soto, C. (2002). *Metacognición, cambio conceptual y enseñanza de las ciencias*. Bogotá, Ed. Magisterio.

## Sobre el autor

### Luis Alexander Jiménez Hernández

Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Magíster en Educación egresado de la Pontificia Universidad Javeriana.

El autor se ha desempeñado en el sector productivo como ingeniero electrónico y en el campo educativo como docente e investigador; sus intereses son la investigación en

educación en la didáctica y el desarrollo de competencias profesionales en la ingeniería electrónica y afines.

Vínculo institucional: Universidad Manuela Beltrán, Programa de Ingeniería Electrónica; Dirección: Av. Circunvalación #60-00 Bogotá (Colombia)

alexanderjimenez77@yahoo.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.