

Revista Brasileira de Ciências Exatas

Data de aceite: 19/11/2025

EFECTOS DEL USO DE RECURSOS EDUCATIVOS ABIERTOS EN LA COMPRENSIÓN DE LA SIMPLIFICACIÓN DE EXPRESIONES BOOLEANAS POR PARTE DE ESTUDIANTES DE “PRINCIPIOS ELÉCTRICOS Y APLICACIONES DIGITALES” EN EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO / INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

Isaías Torres Martínez

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Ver., México
<https://orcid.org/0009-0008-4681-1219>

Sonia Martínez Guzmán

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Veracruz. México
<https://orcid.org/0009-0004-2136-4599>

Joseph Jair Torres Pérez

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Veracruz. México
<https://orcid.org/0009-0006-1888-6147>

Guadalupe Jiménez Oyosa

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Veracruz. México
<https://orcid.org/0009-0007-3728-400x>

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Aguilar Tomas Randal Steven

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Ver., México
<https://orcid.org/0009-0008-0129-6129>

Domínguez Ruiz Ruli Emanuel

TecNM / Instituto Tecnológico de Minatitlán
Minatitlán, Ver., México
<https://orcid.org/0009-0000-7779-3481>

Resumen: Se exponen los hallazgos alcanzados al emplear recursos educativos abiertos para fortalecer las habilidades de simplificación de funciones booleanas en estudiantes del curso “Principios Eléctricos y Aplicaciones Digitales”. Estas competencias resultan esenciales para su aplicación en el diseño de circuitos lógicos combinacionales y secuenciales, lo cual sustenta la comprensión de las arquitecturas de computadoras, los lenguajes de interfaz, los sistemas programables y los principios básicos de las telecomunicaciones. Este estudio evaluó la influencia de un recurso educativo en el desarrollo de competencias profesionales específicas en estudiantes universitarios. Los resultados del análisis estadístico mostraron una diferencia significativa, lo que evidencia la efectividad del recurso para potenciar dichas competencias y confirma su aporte en la mejora del aprendizaje en la educación superior.

Palabras clave: Simplificación, teoremas, álgebra, booleano, Karnaugh.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de competencias en simplificación de expresiones booleanas es un pilar en la formación de estudiantes de electrónica digital, dado que habilita el diseño eficiente de circuitos lógicos combinacionales y secuenciales con costos mínimos de implementación, en términos de número de compuertas y complejidad del cableado. Estas habilidades se articulan transversalmente con asignaturas de arquitectura de computadoras, lenguajes de interfaz, sistemas programables y fundamentos de telecomunicaciones, favoreciendo la transferencia de conocimiento hacia problemas reales de ingeniería. Desde el enfoque por competencias, dicho desempeño integra conocimientos, habilidades, actitudes y disposiciones para resolver tareas específicas con criterios de calidad y pertinencia (Canquiz & Inciarte, 2006).

En los últimos años, los recursos educativos abiertos (REA) han adquirido relevancia como estrategia de apoyo al aprendizaje, al ofrecer materiales y herramientas de acceso libre, reutilizables y adaptables a diversos contextos formativos. Los REA—en formatos de texto, audio, video, multimedia y software—amplían oportunidades de estudio autónomo y permiten reforzar los procesos de enseñanza al integrar explicaciones, ejercicios guiados y retroalimentación formativa bajo licencias abiertas (Celaya et al., 2010; Serrano & Narváez, 2010). En el ámbito de la electrónica digital, su pertinencia se evidencia cuando acompañan la práctica sistemática de técnicas de simplificación, especialmente mediante teoremas del álgebra de Boole y mapas de Karnaugh, proporcionando andamiajes para el razonamiento simbólico y visual y reduciendo errores comunes en la agrupación y minimización de términos.

El uso de REA específicos —como entornos de software para análisis y diseño digital— apoya no solo la verificación de resultados, sino también la autorregulación del aprendizaje: los estudiantes contrastan sus procedimientos con salidas esperadas, observan alternativas de agrupamiento (válidas o no) y consolidan criterios para alcanzar la simplificación máxima. Al incorporarse a una secuencia didáctica estructurada (exposición, práctica, retroalimentación con REA, nueva práctica y verificación), estos recursos permiten medir la ganancia en desempeño y valorar su efecto sobre la competencia de simplificación. Metodológicamente, la evaluación del impacto puede realizarse con diseños de medidas repetidas y pruebas estadísticas para muestras relacionadas, como la *t* de Student pareada, que estiman diferencias significativas en el rendimiento antes y después de la intervención (Walpole et al., 1999; Sánchez, 2015).

Se presenta la experiencia de incorporación de REA para fortalecer la competencia de

simplificación de funciones booleanas en estudiantes de electrónica digital. Se describe la secuencia metodológica aplicada, los instrumentos de evaluación y los criterios de retroalimentación apoyados en software educativo. Asimismo, se reportan resultados cuantitativos del desempeño en dos momentos (pre y posintervención) y se discuten implicaciones pedagógicas para su integración sostenible en cursos de formación en sistemas digitales.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Con el fin de normalizar las competencias en simplificaciones de expresiones booleanas, se utilizó la metodología siguiente:

1. Exposición de simplificaciones de expresiones booleanas, incluyendo ejercicios de ejemplo.
2. Los estudiantes realizan ejercicios de simplificaciones de expresiones booleanas.
3. Retroalimentar los ejercicios realizados, con apoyo de un REA.
4. Los estudiantes realizan nuevos ejercicios de simplificaciones de expresiones booleanas.
5. Verificar los nuevos ejercicios realizados.
6. Análisis de los resultados obtenidos para comprobar el nivel en la competencia de simplificaciones de expresiones booleanas de los estudiantes.

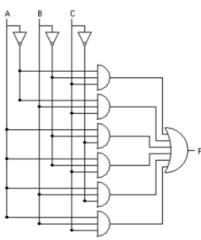
EXPOSICIÓN DE SIMPLIFICACIONES DE EXPRESIONES BOOLEANAS, INCLUYENDO EJERCICIOS DE EJEMPLO.

Previamente, se han abordado los temas de compuertas lógicas y sus tablas de verdad; teoremas, postulados y expresiones del álgebra de Boole, incluyendo minitérminos, maxitérminos y formas normales.

Entonces, el profesor explica la simplificación de expresiones booleanas con la utilización de teoremas del álgebra booleana y con mapas de Karnaugh, haciendo énfasis en obtener la máxima simplificación posible. Se realizan ejercicios para exemplificar dicha técnica, mostrando que dichas simplificaciones permiten construir circuitos lógicos con el mínimo costo.

Ejemplo: Simplificar la función F cuya tabla de verdad se muestra en el cuadro de la figura 1.a.

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1



a)

b)

Figura 1. a) Tabla de verdad de F . b) Diagrama lógico para F .

Expresando F en la Forma Normal Disyuntiva (F.N.D.), escribiendo los minitérminos donde F tiene valor de 1

$$F = A'B'C + A'BC + AB'C' + AB'C + ABC' + ABC$$

En la figura 1.b se ilustra el diagrama del lógico para F , que se representa a partir de la tabla de verdad o de la F.N.D de F . Simplificaremos utilizando teoremas del álgebra booleana.

$$F = A'C(B' + B) + AB'(C' + C) + AB(C' + C) \quad \text{Distribución}$$

$$F = A'C(1) + AB'(1) + AB(1) \quad \text{Identidad}$$

$$F = A'C + AB' + AB$$

Elemento neutro

$$F = A'C + A(B' + B)$$

Distribución en los términos 2 y 3

$$F = A'C + A(1)$$

Identidad en término 2

$$F = A'C + A$$

Elemento neutro

$$F = C + A$$

Cancelación

$$F = A + C$$

Commutación

Para aplicar la simplificación por mapa de Karnaugh, se colocan los minitérminos en celdas adyacentes en renglones y filas, de tal forma que sólo una de las variables cambie de valor de una celda a otra, entonces representa el valor binario de cada minitérmino de F , como se ilustra en la figura 2.a.

Se agrupan pares de minitérminos (celdas) adyacentes con valor binario “1”, se obtiene tres grupos (Fig. 2.b) y se simplifica cada grupo

$$\text{Grupo 1: } A'BC' + AB'C' = AC'(B+B') = AC$$

$$\text{Grupo 2: } A'BC + A'B'C = A'C(B+B') = A'C$$

$$\text{Grupo 3: } ABC + AB'C = AC(B+B') = AC$$

En cada grupo, para la simplificación, se elimina la variable que está complementada en ambos términos.

La primera simplificación para F es la suma de los grupos simplificados:

$$F = AC' + A'C + AC$$

F	A	B
0	0	0
1	1	1

a)

F	A	B
0	0	0
1	1	1

b) $F = AC' + A'C + AC$

F	A	B
0	0	0
1	1	1

c) $F = A + C$



d)

Figura 2. a) Mapa de Karnaugh para F . b) Primera simplificación para F . c) Segunda simplificación para F . d) Diagrama lógico para F simplificado.

Se simplifica aún más a F al tomar (ahora) grupos adyacentes, aunque la simplificación es directa (eliminando la variable complementada), se verifica nuevamente utilizando teoremas

$$\text{Grupo A (Grupo 1 y 3 de Fig. 2.b): } AC' + AC = A(C' + C) = A$$

$$\text{Grupo B (Grupo 2 y 3 de Fig. 2.b): } A'C + AC = C(A' + A) = C$$

Entonces, la segunda simplificación para F es:

$$F = A + C$$

Esta es la máxima simplificación posible, al ya no tener posibilidad de reunir los grupos A y B en nuevos grupos adyacentes. Se hace énfasis en que: a) Se debe formar los grupos de “1” del máximo tamaño posible (el número de celdas por grupo debe ser potencia de 2), y b) se debe agrupar todos los “1” del mapa usando el menor número posible de grupos. (Un “1” puede ser usado tantas veces como sea necesario).

Se ha realizado la máxima simplificación posible utilizando teoremas del álgebra booleana y mapa de Karnaugh. El diagrama lógico para F simplificada (Fig. 2.d) utiliza una sola compuerta OR, mientras que el diagrama con los minitérminos de F (Fig. 1.b) requiere de, al menos, diez compuertas (tres NOT, ocho AND y una OR), claramente se observa que la simplificación reduce el tamaño de la implementación para la función F .

LOS ESTUDIANTES REALIZAN EJERCICIOS DE SIMPLIFICACIONES DE EXPRESIONES BOOLEANAS.

Después, se les brinda a los estudiantes un conjunto de ejercicios para simplificación utilizando mapas de Karnaugh, con el fin de verificar el grado de comprensión del tema. Llamemos “Actividad 1” a este conjunto de

ejercicios.

Para cada ejercicio, deben mostrar

a) la tabla de verdad,

b) la F.N.D.,

c) el diagrama lógico de F de la F.N.D.,

d) la simplificación con teoremas del álgebra booleana,

e) la simplificación con mapa de Karnaugh,

f) el diagrama lógico de F simplificada.

El valor de cada ejercicio es de 30 puntos (30 puntos de laboratorios y 40 de evaluación del Tema 3), cada parte de a) a f) realizada correctamente aporta 5 puntos. Ésta es la rúbrica.

RETROALIMENTAR LOS EJERCICIOS REALIZADOS, CON APOYO DE UN REA.

El profesor revisa las simplificaciones realizadas por los estudiantes, asignando un valor conforme a la rúbrica antes mencionada.

Comenta con los estudiantes las respuestas proporcionadas: De las simplificaciones erróneas o sin simplificación máxima, se expone la solución, utilizando el REA Boole-Deusto como apoyo para visualizar lazos en el mapa de Karnaugh, aprovechando la característica de indicar cuando la simplificación es máxima.

Boole-Deusto es un software para análisis y diseño de sistemas digitales combinacionales y secuenciales a nivel de bit, desarrollado por Javier García Zubía, Jesús Sanz Martínez y Borja Sotomayor Basilio, de la Universidad de Deusto. Es de uso y distribución gratuito para uso personal o educativo.

El software permite capturar la función F ya sea mediante su tabla de verdad (Fig. 3.a) o mediante su expresión booleana (Fig. 3.b) en “Sistema combinacional”, en éste último se utiliza - para la negación antes de la variable, + para OR y * para AND. En ambas formas de introducir F , se debe validar con el botón “Evaluar”.

Nuevo sistema combinacional

Nombre: Ejercicio1

Descripción del Sistema :

Nº de variables de entrada: 3 Nº de variables de salida: 1

Nombre de var. de entrada: A, B, C Nombre de var. de salida: F

Operaciones con el Sistema :

Tabla de verdad manual Expresión booleana Expr. SOP simplificada

Tabla de verdad completa

Completar tabla con:

Condiciones libres Ceros Unos

Entrada	A	B	C	Salida
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1

a)

Nuevo sistema combinacional

Nombre: Ejercicio1

Descripción del Sistema :

Nº de variables de entrada: 3 Nº de variables de salida: 1

Nombre de var. de entrada: A, B, C Nombre de var. de salida: F

Operaciones con el Sistema :

Tabla de verdad manual Expresión booleana Expr. SOP simplificada

Tabla de verdad compacta Forma normal disyuntiva Forma normal conjuntiva

Diagrama V-K Expr. POS simplificada

Expresión Booleana

$F = 1$ $(\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}) + (\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C) + (A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}) + (A \cdot \bar{B} \cdot C) + (A \cdot B \cdot \bar{C})$

Estar Borrar Todo Salir Ayuda

b)

Figura 3. a) Ingresando F con tablas de verdad.
b) Ingresando F con expresión booleana.

En “V-K Modo aprendizaje: Dibujar lazos” se pueden agrupar celdas, dibujando lazos al hacer clic en dichas celdas, en donde el valor binario “1” cambiará a color rojo si está seleccionado. En la figura 4.a se han seleccionados dos celdas no adyacentes, que al intentar agrupar con “Crear Lazo” el software indica “Lazo no válido”. En la figura 4.b se han realizados

grupos con celdas adyacentes, pero al verificar con “Evaluar” se indica que el sistema está correcto pero que no es mínimo (no proporcionará la máxima simplificación posible), lo que sí ocurre con los lazos (grupos) que se muestran en la figura 4.c. De esta forma el estudiante puede verificar si sus agrupamientos están correctos y alcanza la máxima simplificación de la función booleana.

En “Expr. SOP simplificada” se muestra la simplificación máxima de F (parte superior de la Fig. 4.d), con lo que el estudiante comprobará si alcanzó la máxima simplificación en su ejercicio.

Entonces puede visualizarse el circuito lógico con “Visualizar Circuito”, que se muestra en la parte inferior de la Fig. 4.d. En éste, puede editarse otra expresión booleana para la función F y dibujar el circuito lógico correspondiente, además de imprimir o copiar la imagen de dicho circuito.

LOS ESTUDIANTES REALIZAN NUEVOS EJERCICIOS DE SIMPLIFICACIONES DE EXPRESIONES BOOLEANAS

El profesor asigna nuevos ejercicios para simplificación, similares a los realizados, con la finalidad de comprobar el nivel de competencia alcanzado con el uso del REA. Con la finalidad de tener certeza de la comprensión del tema, se realiza en el aula sin el uso de Bole-Deusto, después de haber practicado durante un fin de semana.

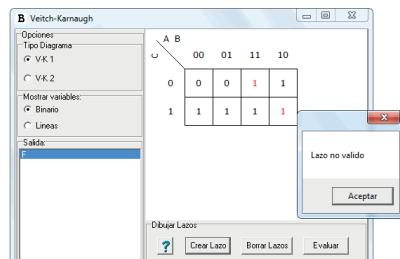
Llámemos “Actividad B” a este conjunto de ejercicios.

VERIFICAR LOS NUEVOS EJERCICIOS REALIZADOS

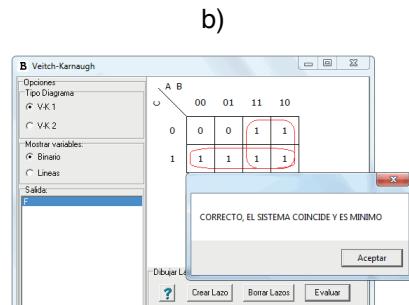
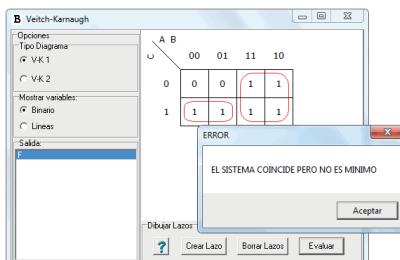
El profesor revisa los ejercicios de la Actividad B utilizando la misma rúbrica, con la finalidad de tener valores compatibles con los ejercicios de la Actividad A. Devuelve al estudiante los ejercicios corregidos e informa del valor alcanzado.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA COMPROBAR EL NIVEL EN LA COMPETENCIA DE SIMPLIFICACIONES DE EXPRESIONES BOOLEANAS DE LOS ESTUDIANTES.

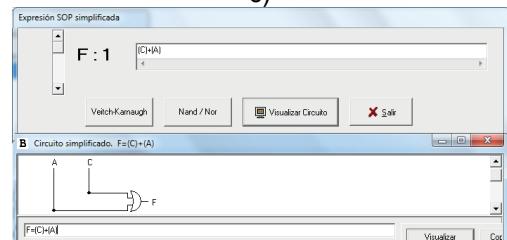
Se analizan los resultados de los dos grupos de ejercicios, Actividad A y Actividad B, que fueron aplicados antes y después del uso del recurso educativo, para verificar la validez del apoyo del recurso en el actual nivel de competencia de los estudiantes.



a



b)



c)

Figura 4. a) Grupo no válido. b) No es la máxima simplificación. c) Es la máxima simplificación. d) Expresión simplificada y visualización del circuito.

RESULTADOS

Con el fin de comparar los niveles obtenidos en los estudiantes antes y después utilizar el recurso educativo, se elige la prueba estadística *T* de *Student* para grupos relacionados

Estudiant	Actividad 1	Actividad 2			($)^2$
1	15	25	10	1.1	1.21
2	20	28	8	-0.9	0.81
3	18	29	11	2.1	4.41
4	22	30	8	-0.9	0.81
5	16	24	8	-0.9	0.81
6	19	25	6	-2.9	8.41
7	21	30	9	0.1	0.01
8	14	26	12	3.1	9.61
9	23	29	6	-2.9	8.41
10	17	28	11	2.1	4.41
$\Sigma d = 89$				$()^2 = 38.9$	

Tabla 1 Valores obtenidos en las actividades y cálculos para la comprobación estadística.

emparejados, porque se trata de dos muestras relacionadas (los mismos sujetos evaluados en dos momentos diferentes), para 10 estudiantes, las mediciones son cuantitativas con variables continuas y con una escala de intervalo. Los valores obtenidos por el grupo de estudiantes en la Actividad 1 y en la Actividad 2 se muestran en la Tabla 1.

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Conforme a Walpole, Myers y Myers (1999) y Sánchez (2015), sean m_1 y m_2 los valores promedios obtenidos antes y después de la utilización del recurso educativo.

Hipótesis alterna (H_a): El nivel de competencia de los estudiantes en simplificación de expresiones booleanas aumenta después de utilizar el recurso educativo, existiendo diferencias significativas entre antes y después de su utilización. Esto es cierto si para H_a si $m_1 < m_2$.

Hipótesis nula (H_0): Los cambios observados antes y después de la utilización del recurso educativo se deben al azar, y no hay diferencias entre ambos períodos. Entonces, para H_0 : $m_1 \geq m_2$.

REGIÓN CRÍTICA

Se busca un nivel de confianza del 95%, así que el riesgo es de 5%, esto es, . Para una prueba con 10 estudiantes, se tienen 9 grados de libertad . El valor crítico de para 9 grados de libertad y un nivel de significancia de 0.05 (en una prueba de una cola) es 1.833.

Entonces, para todo valor de , se acepta H_a y se rechaza H_0 .

CÁLCULOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA

La media de las diferencias () se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{N} = \frac{89}{10} = 8.9$$

La desviación estándar de las diferencias (S_d) es

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{38.9}{10-1}} \approx 2.079$$

Con los valores anteriores, se calcula el estadístico de prueba :

$$t = \frac{\bar{d} - d_0}{S_d / \sqrt{n}} = \frac{8.9 - 0}{2.079 / \sqrt{10}} \approx 13.546$$

DECISIÓN E INTERPRETACIÓN

Como el valor obtenido de (13.546) es mayor que el valor crítico de 1.833, se acepta la hipótesis alterna (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Esto significa que hay diferencias estadísticamente significativas entre antes y después de utilizar el recurso educativo, confirmando que este aumenta el nivel de competencia de los estudiantes en la simplificación de expresiones booleanas.

CONCLUSIONES

El presente estudio examinó el impacto de un recurso educativo en el fomento de competencias profesionales específicas en estudiantes universitarios. El análisis estadístico de las actividades arrojó una probabilidad favorable, indicando que el recurso es efectivo para incrementar dichas competencias, confirmando que la implementación de un recurso educativo mejora significativamente las competencias profesionales específicas en la educación superior.

RECOMENDACIONES

Los hallazgos sugieren que el profesorado de educación superior debe integrar recursos educativos en su práctica docente actual para fortalecer las competencias (conocimientos y habilidades prácticas) del estudiantado. Entonces, se recomienda que los docentes uni-

versitarios adopten activamente recursos educativos, ya que estos demuestran ser efectivos para potenciar los saberes y habilidades prácticas de los alumnos.

REFERENCIAS

- Canquiz, L., & Inciarte, A. (2006). *Desarrollo de perfiles académico-profesionales basados en competencias*. Universidad del Zulia.
- Celaya, R., Lozano, F., & Ramírez, M. S. (2010). *Apropiación tecnológica en profesores que incorporan recursos educativos abiertos en educación media superior*. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 15(45), 487–513.
- Sánchez Turcios, Reinaldo Alberto. (2015). *t-Student: Usos y abusos*. Revista mexicana de cardioloxía, 26(1), 59-61. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009&lng=es&tlang=es.
- Serrano, J. E., & Narváez, P. S. (2010). *Uso de software libre para el desarrollo de contenidos educativos*. Formación Universitaria, 3(6), 41–50.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros* (6.^a ed.). Prentice-Hall Latinoamericana.