

Análisis de las configuraciones causales en el rendimiento académico de Matemática: Un estudio basado en la equifinalidad mediante fsQCA.

Analysis of causal configurations in mathematics academic performance: A study based on equifinality using fsQCA.

Manuel José Castillo Román¹, Alejandra Carolina Espinosa Torres²

¹Universidad Bolivariana del Ecuador, mjcastillor@ube.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-0666-2403>.

²Universidad Bolivariana del Ecuador

Resumen

En este estudio, se examinan las configuraciones que llevan a buenos resultados en el área de Matemática a través del Análisis Cualitativo Comparativo de Conjuntos Difusos (fsQCA), una competencia esencial en la que las evaluaciones extensas como ERCE 2019 y PISA-D, así como la evaluación nacional Ser Estudiante, han puesto al descubierto grandes discrepancias. Este método, a diferencia de los métodos tradicionales que buscan efectos netos, se enfoca en los casos y posibilita la identificación de la equifinalidad, o sea, el principio que indica que diversas combinaciones de condiciones pueden desembocar en un resultado similar. El análisis de condiciones necesarias reveló que el tiempo de estudio es una condición necesaria para tener buenos resultados, con alta consistencia que la ubica como condición necesaria. Entre los resultados más relevantes se encuentra que en el análisis de suficiencia las combinaciones con mayor poder explicativo fueron satisfacción y tiempo de estudio (consistencia = 0.878, cobertura = 0.776) y apoyo familiar y tiempo de estudio (consistencia = 0.851, cobertura = 0.787), evidenciando que el alto rendimiento se logra al combinar la dedicación con factores socioemocionales. Además, la cobertura combinada del modelo fue de 0.625, lo que significa que estas configuraciones causales logran dar cuenta de una gran parte de los casos. En definitiva, el éxito en Matemática no está determinado por una única causa, sino por la combinación de factores individuales y contextuales, un resultado con implicaciones para el diseño de intervenciones educativas multifactoriales.

Palabras Claves: Matemática, fsQCA, Evaluaciones educativas, Tiempo de estudio, Apoyo familiar, Rendimiento académico, Equifinalidad

Abstract

In this study, we examine the configurations that lead to good results in the area of Mathematics through Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA), a core competency in which extensive assessments such as ERCE 2019 and PISA-D, as well as the national assessment Ser Estudiante, have revealed significant discrepancies. This method, unlike traditional methods that seek net effects, focuses on individual cases and enables the identification of equifinality, the principle that indicates that various combinations of conditions can lead to a similar result. The analysis of necessary conditions revealed that study time is a necessary condition for good results, with high consistency, placing it as a necessary condition. Among the most relevant results, the combinations with the greatest explanatory power in the sufficiency analysis were satisfaction and study time (consistency = 0.878, coverage = 0.776) and family support and study time (consistency = 0.851, coverage = 0.787), demonstrating that high performance is achieved by combining dedication with socioemotional factors. Furthermore, the combined coverage of the model was 0.625, meaning that these causal configurations account for a large proportion of cases. Ultimately, success in mathematics is not determined by a single cause, but rather by the combination of individual and contextual factors, a result with implications for the design of multifactorial educational interventions.

Keywords: Mathematics, fsQCA, Educational Assessments, Study Time, Family Support, Academic Performance, Equifinality

1. Introducción

El rendimiento académico en la asignatura de Matemática constituye un pilar fundamental en la evaluación del éxito educativo, siendo un tema de constante interés en la investigación en ciencias sociales y de la educación. Guaypatin et al [1] mencionan que la Matemática permite generar soluciones y tomar buenas decisiones a los problemas que se generan en la cotidianidad e influye en el desarrollo de

los avances tecnológicos. Las evaluaciones a gran escala, como el Estudio Regional Comparativo y Explicativo - ERCE y el Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes para el Desarrollo - PISA-D, han revelado brechas persistentes en las habilidades matemáticas en América Latina y el Caribe. En Ecuador, con base en los resultados presentados por ERCE según Salazar [2] el puntaje obtenido en Matemática no permite concluir que hubo un mejoramiento significativo en esta materia, ya que en Ecuador son muy pocos los que están bien (5.7%) y la gran mayoría se ubica en el nivel I lo que implica que tienen un manejo básico de la matemática. Tradicionalmente, la literatura ha buscado identificar el efecto de factores individuales sobre el rendimiento, sin embargo, este enfoque a menudo simplifica la complejidad de los fenómenos educativos, ignorando las interacciones entre múltiples factores y la posibilidad de que un mismo resultado pueda ser alcanzado por diferentes caminos. En este contexto, la presente investigación se distancia de los modelos tradicionales para adoptar una perspectiva holística que reconoce la equifinalidad, el principio por el cual diferentes combinaciones de condiciones pueden llevar al mismo resultado. A través del Análisis Cualitativo Comparativo de Conjuntos Difusos (fsQCA), este estudio explora las configuraciones causales que subyacen al alto rendimiento académico en el campo de Matemática. Los principales resultados revelan, como ya se mencionó anteriormente, que no existe un único camino hacia la obtención de buenos resultados. En su lugar, una buena nota en Matemática puede ser logrado a través de múltiples combinaciones de condiciones, siendo las más importantes la combinación de una alta satisfacción escolar con un tiempo de estudio considerable, y la combinación de un fuerte apoyo familiar con un tiempo de estudio constante. El objetivo es identificar estas configuraciones de manera precisa, proporcionando una comprensión más profunda y matizada de la complejidad del éxito en el ámbito escolar.

2. Metodología

Las técnicas comunes de investigación tienen limitaciones para capturar la complejidad de los fenómenos sociales. Este estudio, al utilizar un método innovador como fsQCA, puede superar estas y proveer resultados sólidos y compatibles con los hallazgos de otros autores (véanse, por ejemplo, [3] y [4]). La fiabilidad de los resultados se refuerza con el uso de técnicas de inteligencia artificial, que demuestran la capacidad de encontrar relaciones confiables incluso en modelos con muchas variables interconectadas.

Actualmente, existen por lo menos cinco formas de inteligencia artificial infundidas en el ejercicio del cerebro humano, en el nivel más simple, el sistema actúa como un reflejo, dando una respuesta fija a cada entrada. Un poco más avanzado, el sistema puede prever los resultados de sus acciones y luego verificar cuál es el que realmente ocurre. Otras técnicas, como los algoritmos genéticos, se inspiran en la evolución biológica, combinando y modificando soluciones para encontrar la mejor. Las redes neuronales artificiales, por su parte, imitan el cerebro para aprender de la experiencia y responder a situaciones inesperadas. Finalmente, el tipo de razonamiento más parecido al pensamiento humano usa la lógica formal, que a menudo debe ser "difusa" o "borrosa" (fuzzy), para manejar la ambigüedad y las características difíciles de cuantificar de la realidad, como lo hace el cerebro humano. [5]

Este último pensamiento explicado es el que engloba la técnica de Análisis Cualitativo Comparativo Difuso (fsQCA), esta técnica se usa generalmente en la Ciencias Sociales porque permite obtener conclusiones de casos particulares y facilita la incorporación de valoraciones imprecisas dando como resultado solo condiciones necesarias o suficientes, no como los métodos tradicionales que dan como resultado relaciones simétricas o relaciones de equivalencia.

La lógica difusa además, no necesita que toda la información utilizada sea precisa o exacta, sino toma en cuenta la información que realmente tiene importancia. Según [6] la aplicación indebida de la Regresión Lineal Múltiple (un método tradicional) hace que los investigadores confundan ajuste (lo que se hace) con predicción (lo que se desea hacer).

El fsQCA tiene algunas hipótesis de aplicación las cuales son: a) el outcome o resultado puede tener más de una condición, b) diferentes combinaciones causales pueden llegar al mismo resultado, c) generalmente, no es posible tener casos de todas las combinaciones posibles, pero eso no impide obtener conclusiones lógicas y válidas, d) la combinación causal no suele ser suficiente al 100%.

El Análisis Cualitativo Comparativo (QCA), propuesto por Ragin, comenzó con una lógica binaria simple: algo o pertenece a un conjunto (valor 1) o no pertenece (valor 0). Sin embargo, la lógica difusa de Zadeh cambió esta idea. Ahora, un elemento puede tener un grado de pertenencia a un conjunto, usando valores entre 0 y 1. Un 1 significa que pertenece por completo, un 0 que no pertenece en absoluto, y los valores intermedios (como 0.5) representan un grado de pertenencia dudoso. Esta flexibilidad es crucial porque permite que un mismo elemento sea parte de varios conjuntos al mismo tiempo, lo que elimina los límites rígidos y hace que la toma de decisiones sea más adaptable a la realidad.

Por otro lado, es importante mencionar que, antes de utilizar la técnica fsQCA, se debe transformar las respuestas obtenidas en conjuntos borrosos o difusos; para ello se determina el grado de equivalencia de



las variables, también conocido como calibración de variables. Después, se elabora la tabla de verdad o tabla de configuraciones para eliminar las combinaciones que no están presentes. Esta tabla relaciona las k variables independientes (condiciones causales) con la variable dependiente (resultado), obteniendo el número de casos que soportan dicha frecuencia, así como la consistencia de cada configuración, este resultado es usado para eliminar las combinaciones causales no relevantes. [7]

El umbral de consistencia evalúa el grado de evidencia empírica con la relación teórica establecida, esta medida se basa en puntajes de pertenencia difusos y su cálculo es el siguiente:

$$Consistency (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum Y_i}$$

Donde, min: selección del menor de los dos valores, X_i : puntajes de pertenencia en una combinación de condiciones e Y_i : puntajes de pertenencia en el resultado.

Una vez calculado el umbral de consistencia se procede a calcular la cobertura general que describe en que medida el resultado de interés es explicado por la configuración y se calcula de la siguiente manera:

$$Coverage (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum X_i}$$

Datos

El análisis utiliza datos de 27769 estudiantes de 7.º, 10.º de EGB y 3.º de bachillerato que participaron en la evaluación Ser Estudiante 2023-2024 de Ineval. Los datos de los alumnos se los presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1: Datos de la muestra

Grado	Sexo	Total
3.º de BG	Mujer	4 403
	Hombre	4 251
10.º de EGB	Mujer	4 863
	Hombre	4 998
7.º de EGB	Mujer	4 508
	Hombre	4 746
Total		27 769

Las variables utilizadas en el estudio tienen origen de la tabla micro de resultados de la evaluación Ser Estudiante y la encuesta de Factores Asociados de estudiantes 2023-2024, los detalles de las variables usadas son las siguientes:

Tabla 2: Variables difusoras

Índice	Variables	Descripción
USO DE COMPUTADORA	prejaee	Describe con qué regularidad utilizas el computador en tus clases para realizar las siguientes actividades (en la institución educativa): Practicar ejercicios
	haexbee	Describe con qué regularidad utilizas el computador en tus clases para realizar las siguientes actividades (en la institución educativa): Realizar simulaciones o hacer experimentos
	prcoae	Describe con qué regularidad utilizas el computador en tus clases para realizar las siguientes actividades (en la institución educativa): Lo utiliza el profesor para presentar contenidos
	samacee	¿Qué tan satisfecho te sientes con relación a los siguientes aspectos? Con tus maestros

SATISFACCIÓN	sameaee	¿Qué tan satisfecho te sientes con relación a los siguientes aspectos? Con la forma de enseñar de tus maestros
	sarhgee	¿Qué tan satisfecho te sientes con relación a los siguientes aspectos? Con tu rendimiento académico
APOYO FAMILIAR	prdscee	En tu hogar, ¿con qué frecuencia sucede lo siguiente? Te preguntan si realizaste las tareas escolares
	inctaee	En tu hogar, ¿con qué frecuencia sucede lo siguiente? Te piden que vayas a estudiar o hacer las tareas escolares
	aytacee	En tu hogar, ¿con qué frecuencia sucede lo siguiente? Te ayudan con las tareas escolares
	inccoee	En tu hogar, ¿con qué frecuencia sucede lo siguiente? Te incentivan para que estudies o hagas tus tareas escolares

NIVEL SOCIOECONOMICO	quintil	Segregación de la población de acuerdo a su índice socioeconómico con base en la encuesta de factores asociados realizada por Ineval
HABILIDADES PREVIAS	bmatbee	¿Qué tan bueno te consideras? En Matemática
TIEMPO DE ESTUDIO	htaraee	En general, ¿cuántas horas al día dedicas a repasar las materias escolares o hacer tareas en tu casa?

3. Análisis y resultados

3.1. Proceso de calibración

Antes de implementar el análisis configuracional se transformaron los datos a conjuntos difusos. En el presente trabajo se optó por una calibración directa, utilizando los siguientes umbrales:

Tabla 3: Umbrales de calibración

Índice	0,05	0,5	0,95	0,99
Tiempo estudio	1,0%	16,1%	52,4%	30,5%
Nivel socioeconómico	38,9%	19,9%	20,2%	20,9%
Habilidades previas	51,3%	34,4%	14,3%	
Satisfacción	2,7%	17,9%	45,4%	34,0%
Apoyo familiar	4,8%	14,6%	36,3%	44,3%

3.2. Análisis de condiciones necesarias

El análisis de condiciones necesarias permite reconocer si existe alguna variable independiente que puede ser una condición necesaria para obtener el resultado, la consistencia es la métrica principal para determinar la necesidad. Un valor mayor a 0.90 o superior significa que una condición es necesaria [8]. En la figura 1 se observa que la variable tiempo de estudio (0.93) es una condición necesaria, su alta consistencia sugiere que esta condición casi siempre está presente cuando se observa un alto rendimiento.

El apoyo familiar, y la satisfacción tienen valores altos, pero no superiores a 0.90, por lo que podrían ser consideradas como casi necesarias o importantes para obtener un alto rendimiento en matemática [9].

Por otro lado, las variables uso del computador, nivel socioeconómico y habilidades previas no se consideran necesarios ya que sus valores de consistencia son bajos.

Outcome variable: ALTO_REND

Conditions tested:

	Consistency	Coverage
USO_COMP	0.365146	0.972579
SATISFACCION	0.813067	0.857416
APOYO_FAM	0.830488	0.825679
NIVEL_SE	0.562114	0.848020
HAB_PREV	0.393208	0.922934
TIEMPO_EST	0.934803	0.815825

Figura 1: Análisis de necesidad

Análisis de suficiencia

La consistencia es la medida más importante en este análisis, un valor superior a 0.80 es considerado aceptable para la suficiencia. En la tabla 4 se observa que todos los términos tienen una consistencia muy alta (valores superiores a 0.93), lo que nos lleva a deducir que las combinaciones son confiables para producir el resultado.

Por otro lado, se tiene la cobertura que mide cuanto de los datos son explicados por la combinación, en este caso las tres primeras combinaciones son aquellas que explican más del 70% de los casos de alto rendimiento en Matemática.

Por último, el combinado o valor de la cobertura total, es útil para evaluar el poder explicativo de la solución completa, en este caso las combinaciones presentadas en la tabla 4 explican una parte muy significativa de los casos (más del 62%) con alto rendimiento en los datos.

Tabla 4: Tabla de suficiencia

Combinaciones	consistency	coverage	combined
SATISFACCION*TIEMPO_EST	0,878442	0,776482	0,854338
APOYO_FAM*TIEMPO_EST	0,851166	0,787321	0,841777
SATISFACCION*APOYO_FAM	0,875146	0,703926	0,809105
SATISFACCION*APOYO_FAM*TIEMPO_EST	0,89133	0,676794	0,801844
NIVEL_SE*TIEMPO_EST	0,871314	0,535854	0,705935
SATISFACCION*NIVEL_SE	0,910448	0,469834	0,671595
SATISFACCION*NIVEL_SE*TIEMPO_EST	0,920141	0,455229	0,664509
APOYO_FAM*NIVEL_SE	0,889901	0,463928	0,663876
APOYO_FAM*NIVEL_SE*TIEMPO_EST	0,902597	0,447642	0,655542
SATISFACCION*APOYO_FAM*NIVEL_SE	0,92509	0,402363	0,624733

3.3. Grafo causal

El grafo causal ilustra las relaciones entre las variables. La figura 2 muestra claramente que la satisfacción, el apoyo familiar, el tiempo de estudio y el nivel socioeconómico están interconectados y en diferentes combinaciones influyen en el alto rendimiento en Matemática. Las flechas de colores representan las posibles combinaciones (equifinalidad), demostrando así que no hay un solo camino para obtener buenos resultados, sino múltiples relaciones causales que llegan al mismo resultado.



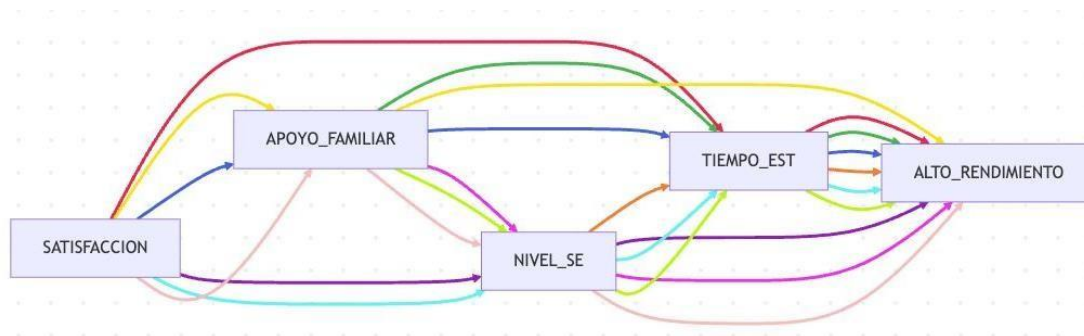


Figura 2: Grafo causal alto rendimiento

4. Discusión y conclusiones

Los resultados del análisis fsQCA ofrecen una comprensión detallada y de múltiples facetas sobre los elementos que afectan el rendimiento académico en el área de Matemática. Los resultados corroboran el principio de equifinalidad, ya que evidencian que no existe un solo camino hacia el alto rendimiento, sino que distintas combinaciones de condiciones pueden conducir al mismo resultado. El grafo causal ilustra estas conexiones, al evidenciar la manera en que distintas trayectorias causales confluyen en un buen rendimiento en Matemática.

Las combinaciones causales sólidas son reveladas por el análisis de suficiencia, que tiene un respaldo con una consistencia superior a 0.8 en todos los términos. La combinación de satisfacción con el tiempo dedicado al estudio es la más destacada, con una cobertura de 0.776 y una consistencia de 0.878. Este descubrimiento señala que la mayor parte de los casos con un rendimiento alto en Matemáticas dentro de la muestra se justifican por una actitud positiva hacia el ambiente escolar (estar satisfecho con los profesores, con la forma en que enseñan y con las calificaciones logradas) y un esfuerzo constante (que se manifiesta en más de dos horas diarias de estudio). Otra combinación significativa es el apoyo de la familia (cuando los padres motivan al estudio, preguntan por las tareas, ayudan con ellas) y el tiempo dedicado a estudiar. La alta consistencia de 0.851 y la cobertura de 0.787 indican que un entorno familiar de apoyo, junto con la dedicación, es una vía muy común para tener éxito.

La cobertura combinada de la solución, que es de 0.624, evidencia que estas configuraciones constituyen una parte importante del resultado total. Los resultados indican que las intervenciones educativas deben ser multifacéticas y centrarse en alentar el tiempo de estudio, aumentar el apoyo familiar y promover la satisfacción escolar.

Es fundamental pensar en realizar un diseño longitudinal en el futuro para verificar si estas rutas halladas en esta primera investigación persisten con el tiempo. Asimismo, es posible ampliar el estudio con un enfoque mixto (cuantitativo - fsQCA y cualitativo - entrevistas a los participantes del Sistema Nacional de Educación); así se logra mejorar la interpretación de estas combinaciones causales en la vida diaria de los estudiantes.

5. Referencias

- [1] Guaypatin Pico, O. A., Diaz Puruncaja, D. M., Changuan Loo, S. J., & Cornejo Santillán, P. C. (2024). La importancia de la matemática para el desarrollo del pensamiento. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual "ALCON"*, 4(2), 31-40. ISSN: 2960-8473.
- [2] Salazar Méndez, Y. (2022). *¿Los estudiantes ecuatorianos saben matemáticas?* Primicias.
- [3] Fedriani, E. M.; Hidalgo, M. A.; Romano, I. (2017): "The prediction of academic success of university students to optimize their performance", por aparecer.
- [4] Rovira, S.; Puertas, E.; Igual, L. (2017): "Data-driven system to predict academic grades and dropout". *PLoS ONE* 12(2), pp. 1–21.
- [5] Fedriani Martel, E. M., & Romano Paguillo, I. (2017). Análisis cualitativo comparativo difuso para determinar influencias entre variables socio-económicas y el rendimiento académico de los universitarios. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 24, 250–269. ISSN: 1886-516X.
- [6] Woodside, A. G. (2013): "Moving beyond multiple regression analysis to algorithms: Calling for adoption of a paradigm shift from symmetric to asymmetric thinking in data analysis and crafting theory". *Journal of Business Research* 66(4), pp. 463–472.



- [7] Mendaña-Cuervo, C., Remo-Diez, N., & López-González, E. (2024). Una propuesta de evaluación de Recursos Educativos Digitales a través de la metodología fsQCA longitudinal. *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 68, 7–34.
- [8] Ragin, C. C. (2008). *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond*. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226702797.001.0001>
- [9] Schneider, C. Q., & Wagemann, C. (2010). Standards of Good Practice in Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Fuzzy-Sets. *Comparative Sociology*, 9(3), 397–418. <https://doi.org/https://doi.org/10.1163/156913210X12493538729793>

