



Universidad de Costa Rica

www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/actualidades

Evaluación de habilidades metacognitivas según acciones en programación

Metacognitive Skills Evaluation Based on Programming Actions

Ricardo Gang Vincenzi ¹

 <https://orcid.org/0009-0006-0509-7704>

¹ Escuela de Ciencias de Computación e Informática, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

¹ ✉ ricardo.gang@ucr.ac.cr

Recibido: 01/12/2024. Aceptado: 04/02/2026.

Resumen. *Objetivo.* Establecer las bases de una evaluación en línea que mida las habilidades metacognitivas de planificación, regulación y organización de un grupo de estudiantes de ingeniería en programación, basándose en sus acciones al momento de programar. *Método.* Se evaluaron las destrezas metacognitivas del estudiante mediante un sistema experto difuso con reglas de inferencia que relaciona acciones concretas sobre el código con habilidades metacognitivas. Posteriormente, se compararon los resultados con evaluaciones según MAI. *Resultados.* Se encontró correlación positiva ($r = .72, p = .1$) entre la evaluación de la destreza de planificación dada por el sistema experto y por el instrumento MAI. Esta correlación aumenta cuando se considera únicamente el componente de regulación del MAI ($r = .77, p = .1$). De igual manera, se encontró una correlación positiva entre regulación (Spearman $r = .40, p = .1$) y organización sin alcanzar un umbral de significancia.

Palabras clave. Habilidades metacognitivas, regulación, planificación, organización, programación

Abstract. *Objective.* To establish the possibility of online evaluating metacognitive skills of planning, regulation and organization, based on actions at the time of programming. *Method.* Metacognitive skills of students programming were measured using a fuzzy expert system with inference rules relating concrete actions on code with skills, as defined with information from experts (systematically with thematic analysis) and theory. Evaluations were then compared with MAI evaluations. *Results.* A positive correlation was found ($r = .72, p = .1$) between the evaluation for planning skills given by the expert system and the MAI instrument. This correlation is stronger when only the regulations components of MAI are considered ($r = .77, p = .1$). Similarly, a positive correlation was found when comparing the evaluation from the expert system with the evaluation regulation skills with MAI (Spearman $r = .40, p = .1$), and with organization but without reaching significance threshold.

Keywords. Metacognitive skills, regulation, planning, organization, programming



Introducción

Obtener información sobre las habilidades metacognitivas de los estudiantes permite al docente ajustar sus metodologías de enseñanza, especialmente si la información es individualizada o por grupos, para adecuar sus refuerzos metacognitivos, por ejemplo, aquellos adaptados al contexto de programación (Loksa et al., 2022; Prather et al., 2020). Frente a esta premisa, la presente investigación busca nuevas formas de evaluar en línea las habilidades metacognitivas de un grupo de estudiantes de ingeniería en programación mediante el registro de sus acciones al momento de programar y resolver problemas en códigos sin interrupción. Al registrar sus acciones, se puede obtener información relevante sobre los procesos cognitivos de cada persona estudiante durante la resolución de problemas y obstáculos (Jain et al., 2023; Rakovic et al., 2022). La evaluación de la metacognición del estudiantado posibilitaría adecuar sus refuerzos metacognitivos según sus habilidades, lo que podría resultar en la mejora de su rendimiento académico (Adiansyah et al., 2021; Bergin et al., 2005; Vrugt & Oort, 2008).

El registro de las acciones de las personas estudiantes y su posterior análisis da como resultado una lectura más eficiente y automatizada de sus habilidades metacognitivas (Chaparro et al., 2021; Mai et al., 2023). Este proceso muestra mayor eficiencia en sus resultados en contraposición al de la verbalización, que puede interrumpir el curso mental del estudiante al solicitar su autorreporte e introspección (Bannert & Mengelkamp, 2008; Ericsson, 1987; Ericsson & Simon, 1993, 1980).

En el ámbito de la programación, el accionar al momento de programar registra con mayor fidelidad de la intención del estudiante, sobre todo si se le interpreta con base en sus efectos sobre el código. Es necesario considerar ese efecto en el código, mediante un análisis a nivel sintáctico o semántico, como acciones propias de la creación y edición de programas computacionales. Es decir, las acciones de bajo nivel como el tecleo o los mo-

vimientos del mouse se deben interpretar, por su significado sintáctico y semántico, como acciones sobre la estructura general del código. Así, frente a la necesidad de nuevos métodos de evaluación en línea, se presenta puntualmente el propósito del estudio y la hipótesis.

El propósito de esta investigación es establecer las bases de una evaluación en línea que mida las habilidades metacognitivas de planificación, regulación y organización de un grupo de estudiantes de ingeniería en programación, basándose en el registro de sus acciones al momento de programar y en la interpretación de estas según su valor sintáctico o semántico en relación con el código desarrollado durante el estudio. A la luz de este objetivo, se plantea la siguiente hipótesis: existe una correlación positiva y estadísticamente significativa entre las evaluaciones de las destrezas metacognitivas de planificación, organización y regulación obtenidas por el sistema experto difuso (PSE, OSE, RSE) y los puntajes correspondientes de los subcomponentes del cuestionario MAI (P.MAI, O.MAI y R.MAI), lo cual establece la validez convergente del sistema experto.

Por su lado, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿existe validez convergente entre la evaluación de las habilidades metacognitivas de planificación, organización y regulación obtenidas según un sistema que incorpora reglas de inferencia y la interpretación de las acciones en comparación con la evaluación global y por subcomponentes obtenida mediante el cuestionario MAI?

El modelo original de metacognición está integrado por cuatro componentes: el Conocimiento Metacognitivo (CM), las Experiencias Metacognitivas (EM), las Metas y las Estrategias (Flavell, 1979). Este modelo se complementa, además, con la Regulación Metacognitiva (RM; Brown, 1987), que incluye estrategias de monitoreo y planificación. El CM incluye conocimiento procedimental (sobre lo que se sabe hacer), declarativo y condicional (sobre cuándo usar el conocimiento procedimental o declarativo; Schraw, 1998). Para este estudio, no se operaciona-

za el componente de EM pues se lo consideró como un insumo para las Destrezas Metacognitivas (DM).

Se ha estudiado también el efecto afectivo que se produce cuando, como resultado del monitoreo, se identifica la necesidad de corrección para alinear mejor el resultado obtenido con el esperado y la corrección efectuada no es suficiente (Efklides, 2006, 2008).

Las DM son las estrategias o actos a los que se recurre de manera intencional para controlar la cognición (Efklides, 2008). Son procesos necesarios para poner en práctica del CM y mejorar el aprendizaje. Incluyen la organización, la planificación y el monitoreo (Bannert & Mengelkamp, 2008; Veenman & Elshout, 1999). Para el caso de este estudio, solo se observaron las variables de regulación, organización y autorregulación de las DM.

El CM y EM brindan insumos sobre el rendimiento obtenido en la solución de una tarea, lo que hace que se dispare las DM (Efklides, 2008). Es decir, las estrategias de control de cognición del ciclo regulatorio cognitivo combinan el CM con información específica de la tarea que se está realizando y con la EM sobre si se está avanzando correcta o incorrectamente, esto para ejecutar alguna habilidad específica de monitoreo, planificación u organización.

La evaluación metacognitiva puede ser en línea (en el momento de la actividad metacognitiva) o fuera de línea (en otro momento; Veenman, 2005). Por tanto, es posible obtener una valoración más apropiada, que prediga mejor el rendimiento obtenido, mediante métodos en línea, según sugiere este Veenman (2005). Estos métodos incluyen lo que puede ser directamente observable como efectos de la tarea que se resuelve, lo valorable concurrentemente en registros digitales, y las técnicas de verbalización.

Una técnica fuera de línea utilizada comúnmente se conoce como MAI (Metacognitive Awareness Index; Schraw & Sperling, 1994). Consta de un cuestionario de autorreporte con 52 preguntas diseñadas para medir niveles en dos grandes categorías de CM (declarativo, procedimental y condi-

cional) y RM (planificación, monitoreo, evaluación, regulación y reflexión).

En programación, algunos autores han relacionado las habilidades metacognitivas con el rendimiento del programador. Por ejemplo, se han registrado comportamientos específicos del estudiantado ante un programa. Gracias a su registro, se ha logrado identificar exitosamente a estudiantes en riesgo de fallo (Estey & Coady, 2016). Estey y Coady (2016) registraron comportamientos de compilación y búsqueda de información, y relacionaron los bajos niveles de compilación y los altos niveles de búsqueda de información con bajos rendimientos en el curso inicial de programación (CS1). Se ha relacionado el buen rendimiento al comportamiento ante errores (Watson et al., 2013), registrando cambios en el código fuente al momento de compilar. Desarrollar las habilidades de resolución de problemas se ha ligado con buenos rendimientos en programación, incluso más que haber llevado cursos previos (Allan & Kolesar, 1996).

Método

Esta investigación se enmarcó en un estudio más amplio de naturaleza multiestudio que siguió un diseño secuencial exploratorio. Esto incluyó tratar con expertos, teoría y estudiantes. Como primer paso, se llevó a cabo un proceso de entrevistas semiestructuradas con una contextualización inicial sobre las destrezas metacognitivas. Estas entrevistas fueron guiadas por una serie de preguntas hechas a expertos en programación. Se realizaron con el fin de identificar las acciones indicativas de habilidades metacognitivas, además de su posible implicación metacognitiva. El proceso de entrevistas se realizó hasta alcanzar saturación en los datos recolectados. Se incluyeron las consideraciones éticas necesarias para llevar a cabo el estudio, incluyendo un paso introductorio para comunicar los objetivos de la investigación y la contextualización del tema, esto para obtener el consentimiento informado de cada persona entrevistada.

Concluidas las entrevistas, se realizó un análisis temático (Braun & Clarke, 2006) de los datos recolectados para identificar y codificar las categorías

de acciones a observar y registrar, y para definir la manera en la que estas acciones se relacionan con las destrezas metacognitivas de la población estudiada. Adicionalmente, se realizó una actividad de observación donde se buscó confirmar la pertinencia y posibilidad de registrar las acciones sugeridas por expertos. Esto permitió diseñar e implementar un software para capturar las acciones de cada estudiante al momento de programar y otro software para realizar la evaluación de las destrezas metacognitivas basado en reglas de inferencia.

Participantes

Como criterio de inclusión, las personas participantes debían expresar su voluntad de participar y aceptar el consentimiento informado. Además, el estudiantado debía estar matriculado en el primer curso de Programación I de la sede central de la Universidad de Costa Rica. Estos criterios se usaron para mantener la homogeneidad de la muestra. Se descartaron los casos de participaciones incompletas.

Se realizaron en total 23 entrevistas: quince fueron a un experto principal con amplia trayectoria, dos a docentes, dos a investigadores, dos a asistentes de curso y dos a estudiantes avanzados. La fase de observación incluyó 10 estudiantes de programación entre los 19 y 20 años). La población total disponible para el estudio fue de 83 personas participantes.

El software de captura y el cuestionario MAI se aplicó a una muestra no probabilística de 49 estudiantes ($N = 49$), de los cuales participaron 29 de manera presencial (aplicación 1) y 20 de manera virtual (aplicación 2). Todo el estudiantado cumplía los criterios de inclusión.

Instrumentos

Las destrezas metacognitivas operacionalizadas y evaluadas fueron la planificación, la organización y la regulación. Esta selección obedeció al resultado del análisis temático proveniente de las entrevistas hechas a los expertos en programación, en las cuales se ligaron las acciones emergentes a estas habilidades metacognitivas específicas.

Las entrevistas semiestructuradas a expertos y la observación al grupo de estudiantes sirvieron para la definición operacional de las variables y la identificación de acciones observables. El análisis temático aplicado permitió el mapeo entre acciones y destrezas.

El instrumento de captura de acciones, con insumo del análisis teórico, se definió en cuanto a las acciones a registrar sobre el código durante un ejercicio de programación. Este instrumento incluyó la capacidad de interpretar las acciones de acuerdo con un valor sintáctico o semántico. Algunas de estas acciones se registraron e identificaron sin mayor interpretación, debido a que estaban ligadas a funcionalidades de la interfaz, como la acción de "compilar" y "ejecutar". Otras requirieron ser interpretadas mediante el análisis sintáctico del código, para identificar la acción por su efecto en este (e. g. agregar método, modificar valor de una variable, modificar una condición de una instrucción condicional y otras).

El instrumento de autorreporte MAI, en su forma original en inglés, se aplicó a la misma población tras registrarse sus acciones mediante el software de captura de acciones. Los detalles generales de la estructura del instrumento se incluyeron en apartados anteriores. De aquí, se obtuvieron evaluaciones generales y específicas para las dimensiones de Planificación, Organización y Regulación designadas como: P.MAI (Planificación), O.MAI (Organización) y R.MAI (Regulación). Estas variables son las que, luego, se compararon con la evaluación dada por el sistema experto OSE (Organización), RSE (Regulación) y PSE (Planificación). En la aplicación presencial, se usó el método de falso/verdadero, donde los resultados que se sumaron fueron las respuestas verdaderas. Para la aplicación virtual, se utilizó una escala de 0 a 100 y, a partir de ahí y se evaluaron los resultados de forma análoga con las respuestas de los ítems correspondientes. Los ítems se asociaron a las subcategorías del MAI según la definición original (Schraw & Sperling, 1994). Por ejemplo, para la evaluación de P.MAI se utilizaron únicamente los ítems 4, 6, 8, 22, 23, 42 y 45. La fiabilidad de la muestra, para los 52 ítems, utilizando fue de $\alpha = .93$

(aplicación presencial) con $N = 21$ y de .97 (aplicación virtual) con $N = 17$. Estos valores son aceptables; sin embargo, es crucial anotar que se tratan de muestras de baja densidad, al separar las personas participantes por modalidad y grupo de individuos. Si se considera la combinación de los datos y al hacer la salvedad de que sería únicamente como ejercicio de obtener un estimado de la fiabilidad del instrumento, este sería de $\alpha = .98$ con $N = 38$.

Estrategia de análisis

Una vez registradas las acciones, se evaluaron las destrezas metacognitivas de las personas estudiantes de programación mediante un sistema experto difuso con reglas de inferencia que relacionaban las acciones concretas hechas sobre el código con habilidades metacognitivas específicas, las cuales fueron definidas según la información dada por los expertos en programación (sistematizando con análisis temático) y la teoría estudiada. La evaluación del sistema experto se aplicó a los datos registrados.

Para la creación del sistema experto difuso, se definieron las frecuencias en las que se dieron las acciones como variables difusas con tres niveles: bajo, medio y alto. Las reglas se definieron para relacionar las acciones identificadas con las habilidades metacognitivas, esto de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis temático de las entrevistas y la observación.

Finalmente, se realizó la aplicación del sistema experto difuso y se compararon los valores obtenidos en la evaluación con los resultados del cuestionario MAI. Con esta evaluación, se procedió a hacer un análisis de *clustering* para agrupar a las personas estudiantes con acciones similares y observar si emplearon distintas estrategias para resolver el mismo ejercicio. Se aplicó también una correlación de Spearman con $p = .1$ (ambas aplicaciones), además de varios algoritmos para encontrar la configuración de números de grupos (en orden de complejidad de menor a mayor): agrupación jerárquica (ward.D) y PCA. A partir de esto, el análisis final se realizó con un mapa autoorganizado, configurado con 20 neuronas y 4 grupos de personas participantes (según los análisis de *clustering*).

Resultados

Codificaciones y reglas de inferencia

El resultado de las entrevistas se concretó en el análisis temático, donde se codificaron, enlistaron y categorizaron las observaciones. En este caso, se obtuvieron dos codificaciones (ver [Figura 1](#)): una por temas predefinidos y otra por temas emergentes. La codificación por temas predefinidos se dio por las tres habilidades o destrezas metacognitivas escogidas para la investigación: Planificación, Organización y Regulación. En esta, se agruparon las observaciones por acciones, las cuales se relacionaron con una

Figura 1. Codificaciones resultantes del análisis temático del estudio 1

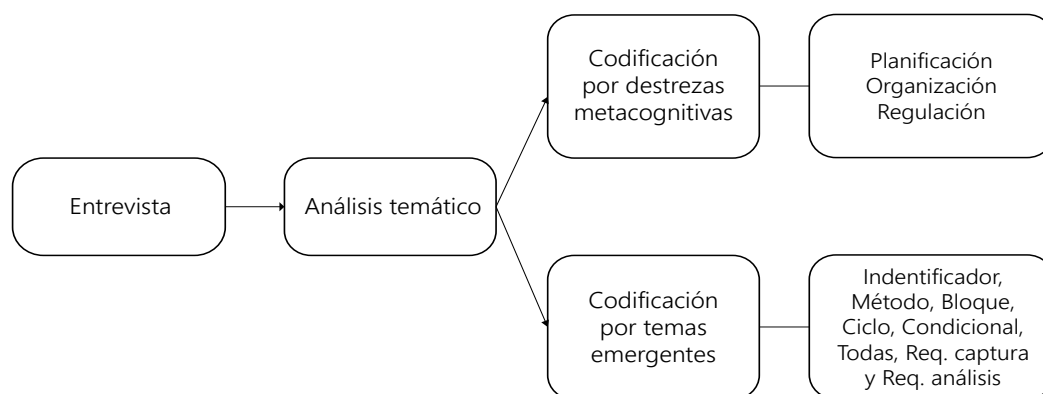


Tabla 1. Ejemplos de datos codificados por temas emergentes de entrevistas

Tema	Descripción	Datos	Código Nivel 1	Código Nivel 2
IDENTIFICADOR	Agrupa acciones de creación, uso y modificación de variables.	"Algunos agregan código indiscriminadamente" "Unos cuantos definen varias variables al inicio sin saber para qué serán." "Lo típico es definir variables conforme se van requiriendo"	Agregar muchas variables	Agregar variable
		"Si no hay claridad cambian mucho los nombres de variables" "Usualmente los nombres de variables se mantienen hasta el final, aunque sean malos nombres"	Muchos cambios de nombre de variables	Modificar nombre de variable
MÉTODOS	Agrupa acciones de creación, modificación y llamado de métodos.	"Usar métodos es señal de mayor comprensión del problema" "Una solución con métodos está más organizada" "Si temprano se definen métodos, hay planificación"	Agregar método	Agregar método
		"Cuando se definen y llaman más métodos, quiere decir que el programa está mejor estructurado" "Si se planifica bien, se puede dividir el problema en métodos para después solo llamarlos" "Progresar en el código es cuando ya tiene pensado qué va a hacer." "Cuando se cambian los términos de un ciclo es clara evidencia que se está intentando corregir algo" "Cambiar cualquier parte de un ciclo muestra comprensión de que hay un problema y se está haciendo algo para remediarlo"	Muchos llamados a método tarde Agregar instrucción Modificar condiciones de ciclo tarde	Llamar método Agregar instrucción Modificar condiciones de ciclo

destreza en particular. Algunas acciones se agruparon con más de una destreza. Por ejemplo, el usar un método específico fue visto por los expertos como una señal de Planificación, ya que implica la presencia de pasos a seguir. De igual manera, puede verse como un indicador de Organización por implicar la división de un problema en partes más pequeñas.

La codificación por temas emergentes dio como resultado seis categorías, bajo las cuales se agruparon las acciones a observar: Identificador, Método, Bloque e Instrucción, Ciclo, Condicional y Otras acciones. En la categoría de Método, se reunieron observaciones acerca de la creación y uso de métodos. Algunos ejemplos de las observaciones y de la codificación de Nivel 1 y 2 se presentan en la [Tabla 1](#).

Reglas de Inferencia

Las reglas de inferencia se constituyeron en el siguiente resultado. Se establecieron relaciones, según la opinión de expertos, entre las destrezas metacog-

nitivas de Planificación, Regulación y Organización con alguna posible acción sobre el código (ver [Tabla 2](#)). Se definieron reglas de inferencia para cada acción, de manera que, para el sistema experto, la acción específica hiciera aumentar o bajar el nivel de pertenencia al conjunto de una destreza metacognitiva. Así, las reglas tomaron la siguiente forma: "si toma X acción, entonces indica Y destreza". Al tratarse de lógica difusa, no bastó con que se cumpliera una acción para obtener el nivel más alto. Por tanto, se tomó en consideración todos los niveles de todas las variables.

Como puede observarse, en la [Tabla 2](#), cada acción relacionada a las destrezas metacognitivas muestra correspondencia con una regla de la forma (si toma acción, indica destreza). Por ejemplo, según la primera acción asociada a planificación, si el programador llama un método aún no creado, se indica planificación.

Tabla 2. Reglas de producción del sistema experto difuso basado en destrezas metacognitivas, según opinión de expertos

Regla por correspondencia: Si toma acción → Indica destreza	
Acción	Destreza
Agregar variables / métodos temprano	PLANIFICACIÓN
Desarrollar ciclos y métodos	
Usar variables y métodos	
Cambios de nombre de variable	ORGANIZACIÓN
Agregar y usar método	
Mover método	
Agregar variable temprano	
Ver código (ejecutar/navegar)	REGULACIÓN
Leer instrucciones	
Modificar / reorganizar código en métodos	

Análisis Correlación con MAI

La Figura 2 muestra dos variables difusas, según se utilizaron en el sistema experto. Aparecen en tres

niveles de bajo, medio y alto, y con trapezoides que definen las fronteras entre ellos, esto de acuerdo con el modo en que el sistema experto difuso ma-

Figura 2. Variables difusas, correspondientes a acciones registradas, del sistema experto que representa conocimiento de personas expertas

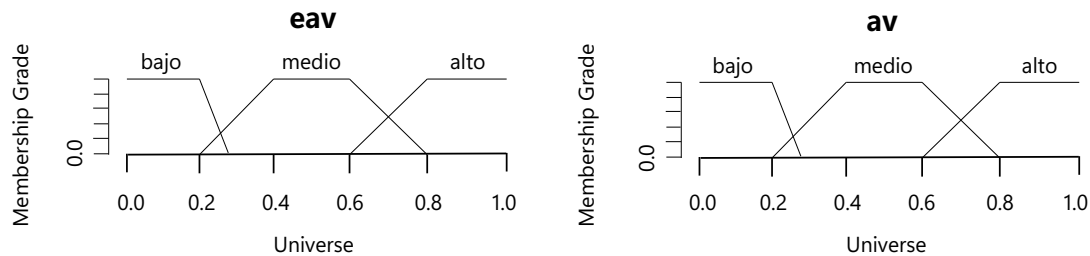
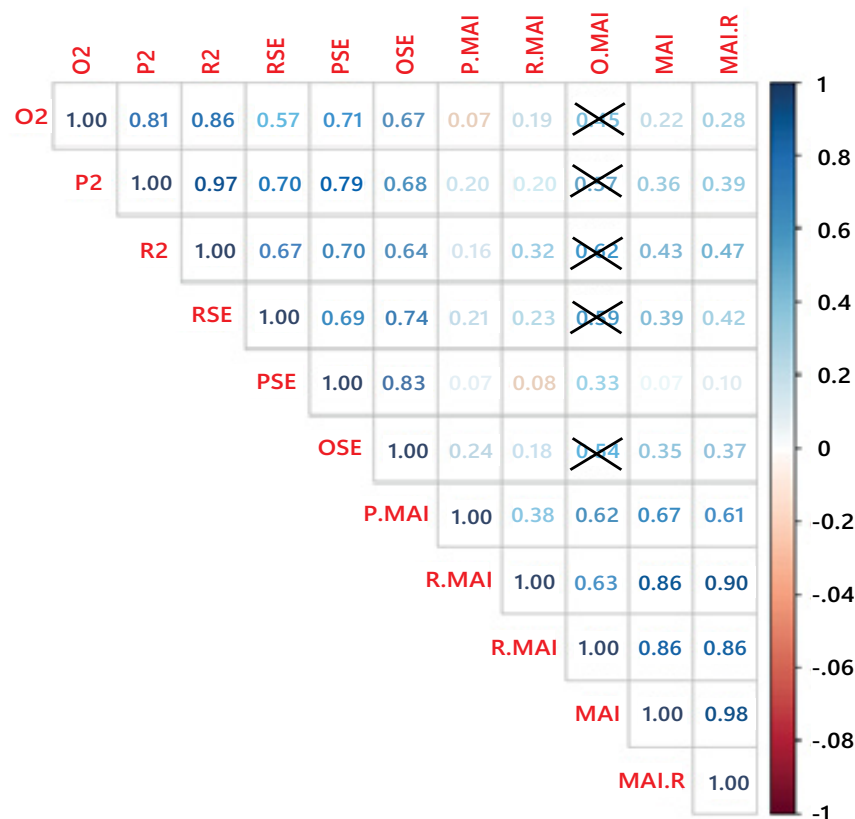


Figura 3. Correlación de Spearman entre evaluaciones de destrezas metacognitivas para la aplicación presencial



Nota. P.MAI = dimensión de Planificación MAI; O.MAI = dimensión de Organización MAI; R.MAI = dimensión de Regulación MAI; PSE = dimensión de Planificación de Sistema Experto; OSE = dimensión de Organización de Sistema Experto; RSE = dimensión de Regulación de Sistema Experto; P2 = indicador de Planificación; O2 = indicador de Organización; R2 = indicador de Regulación. $p = .1$

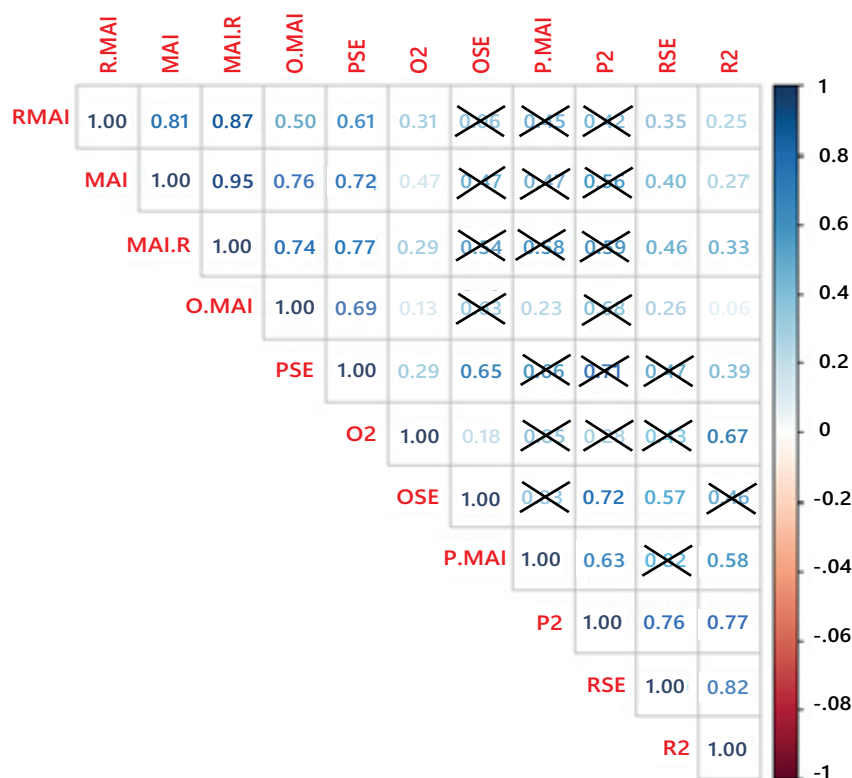
nejó la incertidumbre. Los valores posibles de entrada estuvieron en un rango entre 0 y 1, pues se asignó mayor membresía a las variables difusas con mayor cantidad de acciones de un tipo.

Se correlacionaron con Spearman las evaluaciones según el sistema experto con las evaluaciones metacognitivas obtenidas mediante el autorreporte MAI. Los resultados se presentan en la Figura 3, que corresponde a la aplicación presencial del software. Como se logra apreciar en la Figura 3, las evaluaciones dadas por el sistema experto para las variables de Organización (OSE) y Regulación (RSE) se correlacionaron positivamente con las destrezas de organización y regulación en las evaluaciones específicas

del MAI para las dimensiones denotadas como O.MAI y R.MAI. La regulación de manera significativa tuvo un valor $p = .1$. En el caso de la Planificación, la evaluación del sistema experto la correlacionó positivamente pero con valores muy bajos, principalmente con las preguntas específicas de organización (O.MAI), que obtuvo un valor de .33.

En la aplicación virtual, los resultados evidencian una correlación positiva para la evaluación según el sistema experto y la destreza de planificación (PSE) con las variables de MAI (.72) y R.MAI (.77; ver Figura 4). Estas correlaciones son significativas con el umbral de $p = .1$. Los resultados reflejados en las variables P.MAI, O.MAI y R.MAI respondieron a las

Figura 4. Correlación de Spearman entre evaluaciones de destrezas metacognitivas para la aplicación virtual



Nota. P.MAI = dimensión de Planificación MAI; O.MAI = dimensión de Organización MAI; R.MAI = dimensión de Regulación MAI; PSE = dimensión de Planificación de Sistema Experto; OSE = dimensión de Organización de Sistema Experto; RSE = dimensión de Regulación de Sistema Experto; P2 = indicador de Planificación; O2 = indicador de Organización; R2 = indicador de Regulación. $p = .1$

preguntas de las dimensiones de Planificación, Organización y Regulación.

Análisis de Grupos

El análisis de grupos se realizó utilizando una agrupación jerárquica, un Análisis de Componentes Principales (PCA) y un mapa autoorganizado. En las Figuras 5 y 6, se muestra la segmentación de la población estudiantil participante en cuatro grupos, esto tanto para la aplicación presencial como para la aplicación virtual.

El mapa autoorganizado se utilizó para crear una visualización de agrupación, la cual se relacionó con las evaluaciones del sistema experto. Esta visualización combinó la agrupación sugerida por similitud entre las personas estudiantes en cuanto a las acciones tomadas con la evaluación del sistema experto. Esto permitió confirmar la relación entre las evaluaciones y las acciones tomadas. En las Figuras 7 y 8, se muestra el mapa autoorganizado con 20 neuronas. Los cuatro grupos se identificaron por medio de colores de fondo, y cada neurona, a través de un grá-

Figura 5. Dendrograma con el método de enlace ward.D para la aplicación presencial

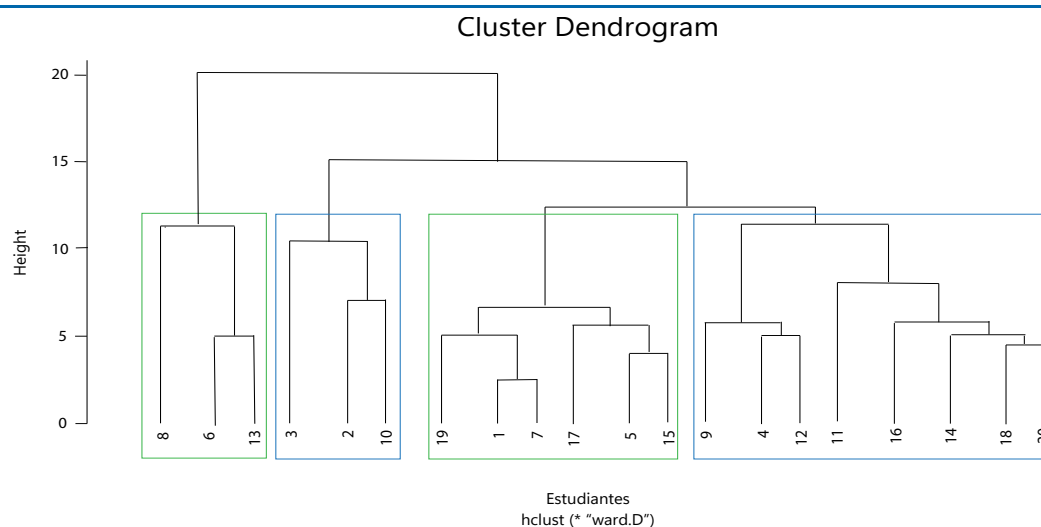


Figura 6. Dendrograma con el método de enlace ward.D para la aplicación virtual

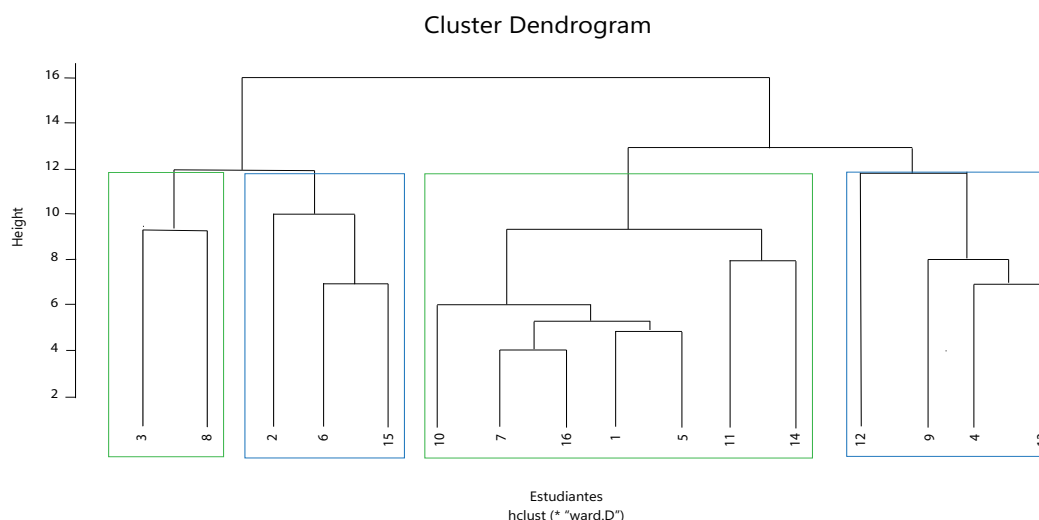
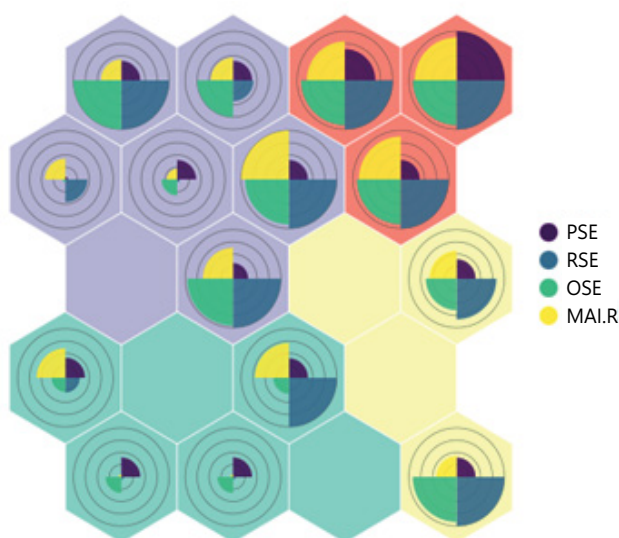


Figura 7. Mapa autoorganizado entrenado con los datos de la primera aplicación



fico de pastel que indica el nivel de cada habilidad demostrada por el estudiantado del mismo grupo.

Discusión

La presente investigación comenzó por determinar qué se debía registrar. Para ello, se recurrió a la opinión de expertos que, por medio de una discusión enfocada en destrezas metacognitivas, identificaron un conjunto finito de acciones, el cual fue relativamente pequeño. Tras identificar las acciones a observar y registrarlas en varias personas estudiantes en las pruebas preliminares, se empezó a vislumbrar patrones. Se estableció así que, al haber correlación entre lo registrado y lo evaluado por el SE y por MAI, es posible registrar acciones que, interpretadas a un nivel sintáctico y semántico, se pueden tomar como cercanas a la intención de la persona estudiante y como indicadores del proceso metacognitivo.

Al tratarse de destrezas metacognitivas señaladas ya por expertos y observadas en pruebas preliminares, se esperaba una correlación positiva con el instrumento MAI, un hallazgo que coincide con la literatura que sugiere que el desarrollo de las habilidades metacognitivas mejora el rendimiento académico y la construcción de soluciones en programación (Adiansya et al, 2001; Bergin et al, 2005; Vrugt

Figura 8. Mapa autoorganizado entrenado con los datos de la segunda aplicación



& Oort, 2008). Además, el registro de acciones en línea es común en varias investigaciones recientes, que lo consideran una forma efectiva y eficiente de estudiar el proceso cognitivo al momento de programar (Jain et al., 2023; Chaparro et al., 2021). Las correlaciones positivas observadas indican una relación entre los instrumentos que puede explorarse más a fondo. Sin embargo, la correlación no fue fuerte, resultado que se esperaba debido a que se trata de dos instrumentos de evaluación distintos, uno contextualizado a la programación y realizado en línea, y otro descontextualizado y de autorreporte (el MAI). Esto también se alinea con la literatura que sugiere la dificultad de medir la metacognición. En ese sentido, los métodos en línea (como el propuesto) parecen mostrar mejores resultados en cuanto a la predicción de rendimiento que las medidas fuera de línea (Chaparro et al., 2021; Mai et al., 2023; Veenman, 2005).

Realizar análisis de grupos a partir de las acciones registradas permite al docente fortalecer la enseñanza (Loksa et al., 2022; Prather et al., 2020), pues le permite orientar sus esfuerzos docentes según las habilidades metacognitivas identificadas. Identificar las distintas estrategias utilizadas por el estudiantado (entendidas como conjuntos de ac-

ciones) le proporciona a la persona educadora información de su actuar como docente. En este caso, el mapa autoorganizado que relaciona los grupos identificados por análisis jerárquico con las evaluaciones metacognitivas del sistema experto permite identificar los grupos que pueden beneficiarse por un tratamiento metacognitivo específico. Por ejemplo, para la aplicación presencial, el grupo identificado con el color amarillo (ver Figuras 7 y 8) se le podría aplicar una actividad enfocada a reforzar su capacidad de planificar. En las aplicaciones realizadas, cuyos resultados se reflejan en las Figuras 7 y 8, el grupo identificado por el color amarillo de la aplicación virtual podría beneficiarse con una actividad enfocada en reforzar su capacidad de regular su proceso de aprendizaje.

Cabe mencionar que la naturaleza del presente estudio permitió abrir un portillo para el desarrollo de nuevas investigaciones sobre las destrezas metacognitivas y su relación con acciones específicas, la cual puede estudiarse a fondo con la ayuda de una guía experta. Se ilustró también la posibilidad de utilizar un software que obtener información sobre las destrezas metacognitivas sin interrumpir el proceso mental de las personas participantes. Esto es ventajoso para futuros estudios, pues el software conlleva una intervención mínima, que se puede aplicar de tal modo que permita al usuario concentrarse sin interrupción en la tarea cognitiva y metacognitiva, aun cuando, en línea, se le está evaluando sus destrezas.

Se pueden señalar otras múltiples aplicaciones para una herramienta similar de registro de acciones tanto en el mismo dominio de programación (e. g. la evaluación), como para otros dominios, como la creación de documentos (cuentos, novelas, reportes, etc.). Se puede, por ejemplo, involucrar a la persona estudiante en la interpretación de las acciones y, así, enriquecer el análisis y obtener un beneficio tanto para la investigación futura como para la persona estudiante.

La principal implicación del estudio es que se mostró la posibilidad de utilizar información reco-

gida automáticamente en un grupo de estudiantes de programación para obtener observaciones concretas sobre su trabajo. Esto unido a un mecanismo de interpretación de las acciones, como el sistema experto difuso, permitirá al docente adecuar tratamientos metacognitivos u otro tipo de tratamientos didácticos para atender mejor su labor.

Sin embargago, este estudio también tuvo limitaciones. La principal radicó en el número reducido de casos finalmente considerados. Esto se dio por los datos que debieron descartarse por participación incompleta. Esta limitación afectó la posibilidad de profundizar en la validación del instrumento propuesto y en los valores de significancia alcanzados. La dependencia a opiniones de expertos de la metodología planteada puede verse como un riesgo a la reproducibilidad, pues permite la consideración de opiniones posiblemente sesgadas, que no necesariamente representan a todas las personas aprendices. Esta limitación es mitigada por la inclusión de múltiples expertos de diverso tipo y por la sistematización en análisis temático.

Otras limitaciones como el enfoque en programadores principiantes, la dificultad de generalizar resultados debido los contextos específicos de las personas participantes, y el potencial de subjetividad inherente del uso de sistemas expertos difusos representan retos y oportunidades para futuras investigaciones.

A manera de conclusión, se logró establecer la posibilidad de registrar acciones automáticamente y evaluar los registros con reglas de inferencia que relacionen destrezas metacognitivas con acciones específicas. Las evaluaciones se correlacionan positivamente con un instrumento estandarizado a pesar de ser este de autorreporte y no en línea, ya pesar de ser generalizado en lugar de enfocado a un dominio. Se mostró, entonces, el potencial del uso de reglas de inferencia difusas para la evaluación metacognitiva.

A partir de estos hallazgos, se sugieren algunas posibles extensiones. Realizar análisis de grupos a partir de las acciones registradas e interpretadas de manera sintáctica y semántica permite al do-

cente identificar distintas estrategias (conjunto de acciones) utilizadas por estudiantes. El mapa autoorganizado que combina la información de los componentes metacognitivos con las evaluaciones de otros individuos en el mismo grupo permite la posibilidad de ver qué características comparten o qué tratamiento metacognitivo aplicar a qué subgrupo. Sin embargo, estas son conjeturas que deben ser confirmadas.

Referencias

- Adiansyah, R., Corebima, A. D., Zubaidah, S., & Rohman, F. (2021). The correlation between metacognitive skills and scientific attitudes towards the retention of male and female students in South Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 10(4), 1272-1281. <http://doi.org/10.11591/ijere.v10i4.21597>
- Allan, V. H., & Kolesar, M. V. (1996). Teaching computer science: A problem solving approach that works. In D. Ingham (Ed.), *Proceedings of the Annual National Educational Computing Conference '96* (pp. 9-15). The International Society for Technology in Education.
- Bannert, M., & Mengelkamp, C. (2008). Assessment of metacognitive skills by means of instruction to think aloud and reflect when prompted. Does the verbalisation method affect learning? *Metacognition and Learning*, 3, 39-58. <https://doi.org/10.1007/s11409-007-9009-6>
- Bergin, S., Reilly, R., & Traynor, D. (2005). Examining the role of self-regulated learning on introductory programming performance. In *ICER '05: Proceedings of the First International Workshop on Computing Education Research* (pp. 81-86). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1089786.1089794>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brown, A. L. (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. In *Metacognition, Motivation, and Understanding* (pp. 65-116). L. Erlbaum Associates.
- Chaparro, E., Restrepo-Calle, F., & Ramírez-Echeverry, J. J. (2021, October 19-21). *Learning analytics in computer programming courses* [Conference session]. LALA '21: IV Latin American Conference on Learning Analytics, Arequipa, Perú. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:245635411>
- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, 1(1), 3-14. <http://dx.doi.org/10.1016/J.EDUREV.2005.11.001>
- Efklides, A. (2008). Metacognition: Defining its facets and levels of functioning in relation to self-regulation and co-regulation. *European Psychologist*, 13(4), 277-287. <https://doi.org/10.1027/1016-9040.13.4.277>
- Ericsson, K. A. (1987). Verbal reports on thinking. En H. Simon (Ed.), *Introspection in Second Language Research* (pp. 24-54). Multilingual Matters.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. The MIT Press.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87(3), 215-251. <https://acs.ist.psu.edu/ist597/papers/ericssonS80.pdf>
- Estey, A., & Coady, Y. (2016). Can Interaction Patterns with Supplemental Study Tools Predict Outcomes in CS1? In *ITiCSE '16: Proceedings of the 2016 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 236-241). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2898786.2898800>

[org/10.1145/2899415.2899428](https://doi.org/10.1145/2899415.2899428)

- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Jain, Y. R., Callaway, F., Griffiths, T. L., Dayan, P., He, R., Krueger, P. M., & Lieder, F. (2023). A computational process-tracing method for measuring people's planning strategies and how they change over time. *Behavior Research Methods*, 55, 2037-2079. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01789-5>
- Loksa, D., Margulieux, L., Becker, B. A., Craig, M., Denny, P., Pettit, R., & Prather, J. (2022). Metacognition and self-regulation in programming education: Theories and exemplars of use. *ACM Transactions on Computing Education*, 22(4), 1-31. <https://doi.org/10.1145/3487050>
- Mai, T. T., Crane, M., & Bezbradica, M. (2023). Students' learning behaviour in programming education analysis: Insights from entropy and community detection. *Entropy*, 25(8), Article 1225. <https://doi.org/10.3390/e25081225>
- Prather, J., Becker, B. A., Craig, M., Denny, P., Loksa, D., & Margulieux, L. (2020). What do we think we think we are doing?: Metacognition and self-regulation in programming. In *ICER '20: Proceedings of the 2020 ACM Conference on International Computing Education Research* (pp. 2-13). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3372782.3406263>
- Rakovic, M., Fan, Y., van der Graaf, J., Singh, S., Kilgour, J., Lim, L., Moore, J., Bannert, M., Molenaar, I., & Gasevic, D. (2022). Using learner trace data to understand metacognitive processes in writing from multiple sources. In *LAK22: 12th International Learning Analytics and Knowledge Conference* (pp. 130-141). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3506860.3506876>
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26(1), 113-125. <https://doi.org/10.1023/A:1003044231033>
- Schraw, G., & Sperling, D. R. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460-475. <https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033>
- Veenman, M. (2005). The assessment of metacognitive skills: What can be learned from multi method designs? In C. Artelt & B. Moschner (Eds.), *Lernstrategien und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (pp. 77-99). Waxmann.
- Veenman, M., & Elshout, J. J. (1999). Changes in the relation between cognitive and metacognitive skills during the acquisition of expertise. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 509-523. <https://doi.org/10.1007/BF03172976>
- Vrugt, A., & Oort, F. J. (2008). Metacognition, achievement goals, study strategies and academic achievement: Pathways to achievement. *Metacognition and Learning*, 3(2), 123-146. <https://doi.org/10.1007/s11409-008-9022-4>
- Watson, C., Li, F. W. B., & Godwin, J. L. (2013). Predicting Performance in an Introductory Programming Course by Logging and Analyzing Student Programming Behavior. In *Proceedings of the 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 319-323). Institute of Electrical and Electronics Engineers.