

## MetaTutor: revisión sistemática de una herramienta para la evaluación e intervención en autorregulación del aprendizaje

María Esteban\*, Rebeca Cerezo, Antonio Cervero, Ellían Tuero y Ana B. Bernardo

Universidad de Oviedo

**Resumen:** Las denominadas Tecnologías Avanzadas para el Aprendizaje han supuesto un gran avance en el campo de investigación del aprendizaje autorregulado; estas tecnologías posibilitan registrar las conductas autorregulatorias al tiempo que se interviene sobre ellas. Son muchos los entornos de aprendizaje mediados por ordenador los desarrollados con este objetivo, sin embargo, MetaTutor resulta uno de los más importantes por la cantidad y diversidad de instrumentos de evaluación e intervención que integra. El presente trabajo tiene por objetivo revisar sistemáticamente las principales publicaciones sobre MetaTutor. Se ha realizado una búsqueda documental en las bases de datos Web of Science, PsycInfo y PubMed bajo el descriptor “metatutor”, delimitando la búsqueda a los escritos publicados entre el año 2010 y 2020. La búsqueda generó 50 resultados que, aplicados los criterios de exclusión, se redujeron a 25. Los productos del análisis de dichas publicaciones ponen de relieve la influencia de una cantidad considerable de variables en el proceso autorregulatorio y en sus resultados; factores personales, conocimientos previos, orientación a metas, patrones de navegación, emociones, estrategias de aprendizaje, interacción con agentes pedagógicos, etc. Así, es posible concluir que MetaTutor es una herramienta eficaz para la evaluación e intervención en procesos autorregulatorios aprendizaje.

**Palabras clave:** MetaTutor, Autorregulación del aprendizaje, Metacognición, Estrategias de aprendizaje, Universidad.

## MetaTutor: systematic review of a tool for evaluation and intervention in self-regulated learning

**Abstract:** The so-called Advanced Learning Technologies have produced large advances in the research of self-regulated learning. These technologies make it possible to register self-regulatory behaviors while intervening on them. Many computer-mediated learning environments have been developed with this objective, but MetaTutor is one of the most important ones because of the quantity and diversity of evaluation and intervention instruments that it integrates. The purpose of this paper is to systematically review the main publications on this intelligent tutoring system. Thus, a search of papers under the descriptor “metatutor” was carried out in the Web of Science, PsycInfo, and PubMed databases, limiting the search to the papers published between 2010 and 2020. The search produced 50 results that, after the application of the exclusion criteria, were reduced to 25. The results of the analysis highlight the influence of a considerable number of variables in the self-regulatory process and in its learning outcomes: personal factors, previous knowledge, goal orientation, navigation patterns, emotions, learning strategies, interaction with pedagogical agents, etc. Thus, it is possible to conclude that MetaTutor is an effective tool for the evaluation and intervention in self-regulated learning processes.

**Keywords:** MetaTutor, Selfregulated learning, Metacognition, Learning strategies, Higher education.

La investigación sobre autorregulación, entendida como proceso intencional para controlar la motivación, cognición y

comportamiento del individuo, se remonta a los años 70: durante este primer periodo los estudios sobre el tema se caracterizaban por su abordaje parcial desde una de tantas disciplinas (Dodge, 2013), así como por carencias en la definición del constructo (Dinsmore, Alexander, y Loughlin, 2008) y diversidad en cuanto a diseños y metodología

Recibido: 20/11/2019 - Aceptado: 09/02/2020 - Avance online: 20/03/2020

\*Correspondencia: María Esteban García.

Universidad de Oviedo. Facultad de Psicología (desp. 215).

Plaza Feijoo s/n

C.P.: 33003, Oviedo, España.

E-mail: [maria\\_esteban\\_garcia@hotmail.com](mailto:maria_esteban_garcia@hotmail.com)

de investigación (Zimmerman, 2008). En este contexto la autorregulación era abordada como aptitud y, por tanto, como una característica del individuo perdurable en el tiempo (Beheshitha, Gašević, y Hatala, 2015).

Durante la última década del siglo XX y primera del XXI surge la concreción de este término dentro de diferentes ámbitos, como por ejemplo el referido al estudio de la autorregulación en contextos de aprendizaje académico o profesional (Lajoie, 2008). Este segundo periodo se caracterizó no solamente por una mejor definición y operativización del constructo, sino por la incorporación de instrumentos de medida objetivos que abordaban la autorregulación como evento y, por tanto, dependiente de factores contextuales al mismo (Winne, 2017). Estos dos estadios configuran lo que Panadero, Klug y Javela (2016) han dado en llamar primera y segunda ola de medición de procesos autorregulatorios del aprendizaje.

Asimismo, el desarrollo tecnológico ha hecho posible que las llamadas Tecnologías Avanzadas para el Aprendizaje (TAA) en combinación con los equipos de hardware y software informáticos se pongan al servicio del estudio del aprendizaje autorregulado. Este hecho ha supuesto un cambio cuantitativo y cualitativo en la investigación dada la capacidad de estas tecnologías para registrar los procesos autorregulatorios en tiempo real (Cerezo et al., 2017A). Esta evolución en la medición de los procesos autorregulatorios llevó aparejado un importante desarrollo del conocimiento científico desde un punto de vista más objetivo, dado que hasta el momento los autoinformes eran el principal instrumento de recogida de información (Lajoie, 2008).

Este cambio cualitativo es lo que Panadero et al. (2016) consideran como la irrupción de la tercera ola de medición, caracterizada por la capacidad que tienen los nuevos instrumentos para fomentar el aprendizaje autorregulado al tiempo que lo registran. Así, numerosos autores identifican los entornos de aprendizaje mediado por ordenador como herramientas cognitivas y metacognitivas, capaces no solo de registrar los procesos autorregulatorios en tiempo real sino también

de fomentarlos (Azevedo, 2005). En este sentido, dos herramientas destacan por su relevancia teórica y práctica (Panadero et al., 2016); *n-Study* y *MetaTutor*.

*n-Study* es una aplicación web diseñada para registrar los eventos cognitivos y metacognitivos que se despliegan durante el aprendizaje online. Incluye una amplia variedad de herramientas que dan soporte al aprendizaje individual o colaborativo (Winne y Hadwin, 2013).

*MetaTutor* es un Sistema de Tutorización Inteligente cuyo objetivo es estudiar y andamiar el aprendizaje autorregulado sobre tópicos científicos complejos. Una de las características diferenciales del software es que integra multitud de instrumentos de investigación que pretenden registrar objetivamente los procesos que el aprendiz desarrolla para adquirir conocimientos (Harley, Bouchet, Hussain, Azevedo, y Calvo, 2015a).

El andamiaje del proceso de aprendizaje que proporcionan algunos de estos sistemas resultan fundamentales, ya que diferentes estudios han observado que la mayor parte de aprendices -sin importar su edad, nivel o área de conocimiento- no desarrollan adecuadamente procesos autorregulatorios durante sus procesos de estudio (Azevedo, Behnagh, Duffy, Harley y Trevors, 2012; Cerezo, Esteban, Sánchez-Santillán, y Núñez, 2017; Järvelä y Hadwin, 2013). Es por tanto fundamental avanzar en la investigación sobre estos entornos para poder identificar las cualidades que debe incluir el andamiaje autorregulatorio para garantizar su efectividad (Bulu, y Pedersen, 2012; Järvelä, et al., 2013).

A pesar de lo abundante, la literatura científica al respecto es diversa, dificultando el desarrollo del conocimiento; la escasa publicación de resultados sobre un mismo entorno virtual de aprendizaje hace difícil obtener un modelo mental que sistematice los trabajos y permita comparar sus hallazgos con los obtenidos por otros investigadores (Dinsmore, et al., 2008). Así, resulta necesario abordar esta cuestión, por lo que el presente trabajo propone hacerlo mediante la revisión sistemática de la literatura existente sobre

uno de los sistemas que mayor producción científica y reconocimiento ha generado hasta la fecha.

Teniendo en cuenta los principales entornos virtuales, se ha optado por seleccionar aquellos destinados al aprendizaje de estudiantes universitarios por dos motivos; en primer lugar por ser la etapa del sistema educativo sobre la que mayor producción científica se da (Dahlstrom, Brooks, y Bichsel, 2014), y en segundo lugar, por ser una etapa en la que los estudiantes deberían acceder con destreza para desarrollar procesos de aprendizaje de manera autorregulada, pues el desarrollo de esta competencia es objetivo primordial de todas las etapas educativas anteriores (Bogarin, Cerezo, y Romero, 2018). De entre los sistemas más destacados, MetaTutor parece ser el de mayor potencial, tanto por las herramientas que integra como por la prolijidad de los resultados de investigación sobre él publicados.

Así, el presente trabajo pretende contribuir al desarrollo del conocimiento en el campo de la autorregulación del aprendizaje, siendo el primer estudio centrado en analizar pormenorizadamente uno de los programas más destacados del momento.

## DESCRIPCIÓN DE METATUTOR

El diseño de MetaTutor se basa en la metáfora de los ordenadores como herramientas cognitivas y metacognitivas, sirviendo de soporte y modelado para el desarrollo de este tipo de procesos (Azevedo, Johnson, Chauncey, y Burkett, 2010a).

Los experimentos con el software generalmente se llevan a cabo en dos sesiones (Azevedo et al., 2016): la primera sesión es más breve y está dirigida a la aplicación de un test de conocimientos sobre el tema de estudio (pre-test) y determinados cuestionarios que permiten obtener un profundo conocimiento del participante. La segunda sesión se corresponde con la sesión de aprendizaje: en ella los participantes pasan un determinado tiempo aprendiendo sobre un tópico científico complejo, para después completar una prueba de saber (post-test) y los cuestionarios post-sesión.

La interfaz del sistema de tutorización inteligente cuenta con ocho áreas de interés especialmente diseñadas para facilitar el desarrollo cíclico de las cuatro fases del aprendizaje autorregulado durante la sesión (Azevedo, Moos, Johnson, y Chauncey, 2010b; Lallé et al., 2016; Taub y Azevedo, 2016): El tiempo, que permite al usuario regular el ritmo de progreso, adaptándose a diversidad de situaciones; El objetivo general y las submetas, que mantienen centrado al aprendiz en el fin deseado y le permiten trazar un plan para alcanzarlo; Los avatares, agentes pedagógicos que se relacionan con el alumno y le entrenan para la eficaz aplicación de estrategias autorregulatorias y metacognitivas; La tabla de contenidos que, además de suponer un bosquejo de los puntos principales, posibilita al usuario navegar entre las páginas de contenidos de manera no lineal; las páginas de contenidos y las imágenes, que se corresponden con las siete posibles submetas y aportan información relevante sobre cada una de ellas; la paleta de estrategias, que permite planificar el aprendizaje, monitorearlo, aplicar una estrategia o evaluar y reajustar su avance; y, por último, la zona de comunicación, donde el usuario puede revisar la interacción realizada con los agentes y llevar a cabo diversas acciones.

La interacción con el sistema varía en función de la versión en uso de MetaTutor; en un primer momento los autores trabajaron con una versión no adaptativa del software en la que la conducta del usuario no condicionaba la configuración del sistema, mientras que en posteriores versiones adaptativas el comportamiento del usuario da lugar a la aplicación de determinadas “reglas de producción” que adaptan el sistema a las necesidades de cada sujeto en tiempo real (Azevedo et al., 2010a; Azevedo et al., 2016; Harley et al, 2016; Lallé et al., 2016; Martin et al., 2016; Trevors, Duffy y Azevedo, 2014).

Del mismo modo, la interacción con el sistema también cambia en base a la condición experimental de los sujetos: en la condición *prompt and feedback*, o condición experimental, los sujetos reciben propuestas para la aplicación de estrategias, así como

una retroalimentación sobre el uso de las mismas y sobre los resultados obtenidos en los quiz, mientras que en la condición *control* se priva a los usuarios de estas propuestas y comentarios.

En cuanto a la capacidad de MetaTutor para evaluar los procesos de aprendizaje autorregulado y las variables en ellos influyentes, es necesario decir que este Sistema de Tutorización Inteligente integra cinco tipos de instrumentos de recogida de información: pruebas de conocimiento, test psicométricos, autoinformes, log de interacción y sensores para la toma de medidas fisiológicas.

En cuanto a pruebas de conocimiento, Metatutor integra tres tipos. En primer lugar, los test globales de nivel (el pre y post-test): se trata de dos cuestionarios de treinta ítems cada uno sobre el tópico de aprendizaje (el sistema circulatorio), cuyo cometido es establecer el nivel de conocimientos previos y posteriores a la sesión de aprendizaje (Harley, Taub, Azevedo, y Bouchet, 2017; Witherspoon, Azevedo, y Cai, 2009; Witherspoon, Azevedo, y D'Mello, 2008). En segundo lugar, los quiz de página: breve cuestionario de tres ítems relativos al contenido de una única página que se le propone a los sujetos tras aplicar determinadas estrategias metacognitivas (juicio de aprendizaje o sensación de conocimiento) sobre los contenidos de la página en cuestión (Trevors et al., 2014). Por último, los quiz de submeta: test de diez preguntas que se le presenta al sujeto tras completar una determinada submeta y cuyo contenido se limita a ésta (Lallé, Taub, Mudrik, Conati y Azevedo, 2017).

Por su parte los test psicométricos que se integran en el sistema son siete y todos – salvo los dos últimos- se aplican durante la primera sesión de interacción con MetaTutor. Primeramente, el Achievement Emotions Questionnaire (AEQ) o Cuestionario de Emociones de Logro, que es un instrumento desarrollado y validado por Pekrun, Goetz, Frenzel, Barchfeld y Perry (2011). El AEQ se compone de 24 escalas dirigidas a medir las emociones de estudiantes durante las clases, el estudio cotidiano y los exámenes. Las escalas son fiables y han sido integradas de

forma independiente en MetaTutor, aplicando cada una de ellas en el momento adecuado a tenor del progreso del usuario en el sistema (Harley et al., 2016).

Así mismo, también se aplica la Mini International Personality Item Pool (mini-IPIP) o Mini-encuesta Internacional de Personalidad, compuesta por cinco escalas validadas, correspondientes a cada uno de los cinco grandes rasgos de personalidad; extroversión, amabilidad, responsabilidad, neuroticismo y apertura a nuevas situaciones (Harley et al., 2015b; Harley et al., 2016; Lallé et al., 2016; Lallé et al., 2017).

Además, el Connotative Aspects of Epistemological Beliefs (CAEB) o Cuestionario sobre Aspectos Connotativos de las Creencias Epistemológicas, es un cuestionario diseñado por Stahl y Bromme (2007) para evaluar las creencias epistemológicas del alumnado. La escala compuesta por veinticuatro ítems dicotómicos informa sobre la simplicidad, certeza y recursos correspondientes a la visión epistemológica del conocimiento científico (Trevors, Feyzi-Behnagh, Azevedo, y Bouchet, 2016).

Igualmente, se presenta el Emotion Regulation Questionnaire o Cuestionario de Regulación Emocional, que es una escala de diez ítems diseñada por Gross y John (2003) para evaluar el tipo de tendencia que los participantes tienen a la hora de regular sus emociones; re-evaluación cognitiva o supresión expresiva (Price, Mudrick, Taub, y Azevedo, 2018).

Por su parte, la Rosenberg Self-esteem Scale o Escala de Autoestima de Rosenberg es una escala de diez ítems tipo Likert elaborada por Rosenberg (1979) y validada por Martín-Albo, Núñez, Navarro y Grijalvo (2007).

En cuanto al Achievement Goal Questionnaire-Revised (Cuestionario de Orientación a Metas) desarrollado por Elliot y McGregor (2001), es un cuestionario de doce ítems tipo Likert en el que los estudiantes reflejan dos dimensiones de su motivación hacia metas: su antecedente (necesidad de logro o temor al fracaso) y su consecuente (motivación intrínseca o motivación para el desempeño en exámenes). Este cuestionario

es aplicado en la segunda sesión de MetaTutor (Cloude, Taub, y Azevedo, 2018; Lallé et al., 2016; Lallé et al., 2017).

Por último, el Attribution for Post-test Performance o Cuestionario de Atribuciones para el Desempeño en el Post-test, que es una escala tipo likert con 12 ítems que inquietan al usuario sobre sus atribuciones respecto a su desempeño en la prueba de conocimientos y se aplica en la segunda sesión, tras el post-test.

En cuanto a autoinformes, la literatura sobre MetaTutor identifica cuatro tipos diferentes. En primer lugar, los protocolos para *pensar en alto* (Think aloud protocol en inglés) que son una técnica empleada para recoger datos sobre los procesos cognitivos en tiempo real (Azevedo et al., 2009). Por su parte, el autoinforme de Atribuciones de Desempeño en los Quiz que, compuesto por siete ítems tipo Likert, pide a los usuarios que valoren su desempeño en cada quiz que realicen (Azevedo y Strain, 2011). También el Cuestionario de Emociones y Valor (o Emotions-Value Questionnaire): se trata de un autoinforme formado por veinte ítems, diecinueve de ellos sobre emociones y uno de ellos sobre el valor otorgado a la actividad que el sujeto desarrollaba en ese momento. El autoinforme es presentado a los participantes en cinco momentos durante la sesión de aprendizaje (Jaques, Conati, Harley, y Azevedo, 2014). Por último, el Agent Reaction Inventory o Inventario de Reacción ante los Agentes: es un cuestionario de 72 ítems tipo Likert en el que se pregunta al sujeto acerca de la intensidad con la que cada agente le ha hecho sentir determinadas emociones, su grado de satisfacción con los comentarios que los avatares realizaban y si éstos les han hecho ver el valor de MetaTutor (Azevedo et al., 2016; Harley et al., 2016).

Por otro lado, los logs, que son registros donde se produce la grabación secuencial de datos sobre la interacción de cada usuario con el sistema. Estos registros graban el momento exacto en el que ocurre cada acción del usuario y del propio sistema, constituyendo un historial que permite reconstruir la sesión (Azevedo et al., 2013; Harley et al., 2017; Lallé et al., 2017; Taub et al., 2018; Witherspoon et al., 2009; Witherspoon et al., 2008).

Por último, MetaTutor integra la toma de tres tipos de medidas fisiológicas. En primer lugar, el hardware y software de seguimiento ocular, que es empleado en combinación con MetaTutor para registrar la conducta visual de los participantes en los experimentos de aprendizaje (Jaques et al., 2014; Lallé et al., 2017). En segundo lugar, el sensor de respuesta galvánica: se trata de un sensor que capta la respuesta electrodermal, cuyos cambios son habitualmente activados en base a las emociones del sujeto (Harley et al., 2015a). Por último, el software de reconocimiento facial, empleado para la detección automática de la expresión facial a partir de vídeos grabados con una webcam. Esta medida, triangulada con otras (respuesta galvánica de la piel y autoinformes), supone un indicador fiable de las emociones que el sujeto vive en cada momento (Harley et al., 2015a).

Así, estos cinco tipos de instrumentos de investigación dan cuenta de la evaluación multimodal-multicanal que se realiza en la investigación con MetaTutor. Supone un abordaje del proceso de adquisición de conocimientos multinivel que aventaja planteamientos anteriores y garantiza la fiabilidad de los datos recogidos. Así, la información recogida sobre de los procesos metacognitivos y autorregulatorios que se dan durante la instrucción pretende ser más objetiva (Harley et al., 2015a; Lallé et al., 2017).

Una vez descrita la herramienta se da paso a la explicación de la metodología empleada en la presente revisión, cuyo objetivo principal es integrar los resultados de investigación obtenidos a través del software MetaTutor. De esta manera se cubre un vacío de información, pues no existe una publicación que describa la herramienta con tanto detalle y resuma todos los hallazgos que a través de su aplicación se han obtenido.

## MÉTODO

### PROCEDIMIENTO DE BÚSQUEDA Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se realizó la búsqueda en tres bases de publicaciones seleccionadas en base a la

calidad de las publicaciones indexadas: Web of Science, Psycinfo y PubMed. El descriptor empleado fue “MetaTutor” y se empleó como criterio de inclusión en la revisión las referencias publicados en español o en inglés entre los años 2000 y 2020. La búsqueda dio lugar a 50 resultados, de los que 7 eran repetidos (43 estudios diferentes). Tras la lectura de resúmenes se cribaron las publicaciones, limitando la selección a aquellos cuya temática fuera el software MetaTutor desarrollado por la North Carolina State University y la McGill University ( $n = 30$ ) y se descartaron aquellos textos cuyo contenido no proviniese un estudio empírico o cuya muestra no fuera de población universitaria ( $n = 25$ ). La búsqueda se dio por concluida el 31 de enero de 2020. La Figura 1 ilustra la aplicación de estos criterios a los resultados de la búsqueda mediante un diagrama de flujo.

## MUESTRA

La muestra quedó conformada por 25 publicaciones científicas, siendo el 48% comunicaciones en congresos, el 44% artículos y el 8% restante capítulos. En cuanto a las fechas de publicación, el año más prolífico fue el 2016 (24% de las referencias), seguido del 2018 (20%), los años 2010, 2014 y 2015 con un 12% de referencias cada uno, 2017 y 2019 con un 8% y el menos prolífico fue el 2012 con un 4% de las referencias.

Todas las publicaciones se caracterizan por involucrar a multitud de autores; así el 28% tienen cuatro autores, el 20% tienen tres y seis autores respectivamente, el 8% tienen cinco y siete autores y tan solo el 16% tiene dos autores. Los autores son mayormente de Estados Unidos (participando en un 88%

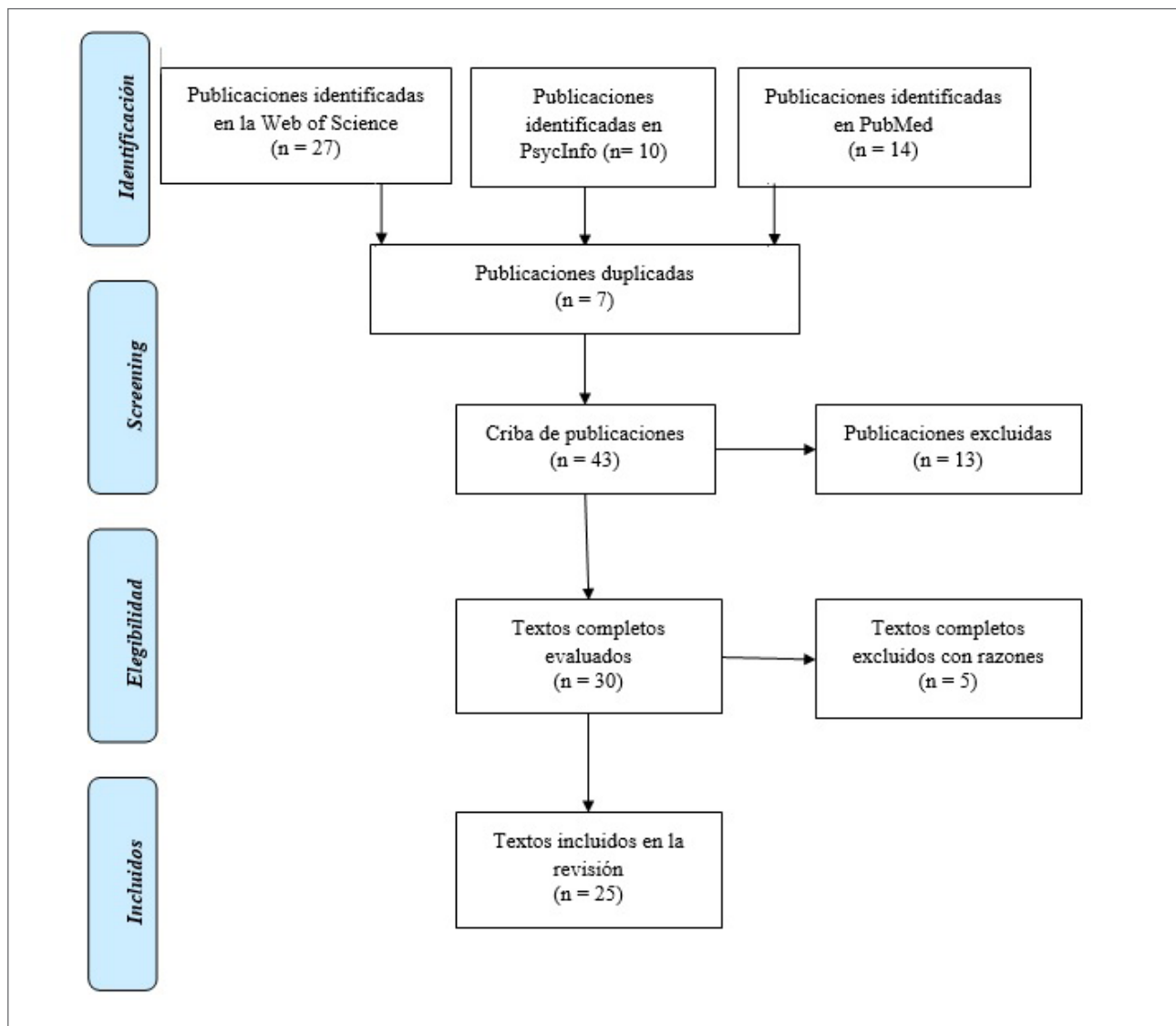


Figura 1: Diagrama de flujo sobre el proceso de revisión

de las publicaciones) y Canadá (participado en un 48%), sin embargo, autores franceses participan en un 16% de las obras y autores australianos y alemanes en un 4%.

Diez departamentos se involucraron en la elaboración de los textos; el departamento de Psicología participa en un 52% de las obras, el de Ciencias Informáticas en un 16%, el de Educación y Orientación en un 12%, y los departamentos de Educación, Psicología de la Educación, Estudios Educativos, Ciencias del Aprendizaje, Psicología del Aprendizaje, Sistemas Inteligentes e Ingeniería Electrónica y Computacional en un 4% de los escritos.

Dos de los textos examinados se centraban en el estudio de una única variable; modelos mentales y emociones. En el resto de estudios se especifican las variables dependientes e independientes empleadas para los análisis: En cuanto a las variables independientes, las más frecuentemente aplicadas son la condición experimental e interacción con los agentes pedagógicos (31.25%), emociones (15.63%), rasgos de personalidad (12.50%), orientación a metas, atención visual y conocimientos previos (con un 9.38% cada una) y las menos empleadas son procesos autorregulatorios (6.25%), navegación y ganancias de aprendizaje (con un 3.13% cada una). Las variables dependientes utilizadas son una menor cantidad que las independientes; los procesos autorregulatorios son los más estudiados (34.78% de las publicaciones), ganancias de aprendizaje (30.43%), emociones (17.39%), orientación a metas (8.70%) y condición experimental/interacción con agentes pedagógicos y atención visual con un 4.35% cada una.

## RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados de investigación obtenidos a través de MetaTutor tratando de abordarlos, en primer lugar, desde la evaluación, y, en segundo lugar, desde la intervención; aun así, algunos estudios cuentan con objetivos tanto de intervención como de evaluación.

## RESULTADOS QUE DAN CUENTA DE METATUTOR COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN

Azevedo et al. (2010b) examinan el constructo de la autorregulación del aprendizaje como evento a través del análisis de protocolos think aloud, encontrando que se dan más frecuentemente estrategias de aprendizaje que monitoreo del mismo.

Taub, Azevedo, Bouchet, y Khosravifar (2014) examinan como los conocimientos previos de los participantes afectan al uso de estrategias; hallan diferencias significativas entre los grupos de conocimientos previos altos y bajos para las estrategias metacognitivas [ $\chi^2(3) = 10.19, p = .02$ ] pero no para estrategias cognitivas [ $\chi^2(3) = 2.24, p = .52$ ].

Trevors et al. (2014) investigan sobre los efectos de los conocimientos previos y toma de notas en el aprendizaje con MetaTutor. Para ello, desarrollan diversos análisis multivariados de la covarianza tomando como variables dependientes cinco características de toma de notas y la puntuación del pre-test como co-variable. Aquellos participantes con conocimientos previos altos manifestaron menor frecuencia de toma de notas [ $F(1,155) = 3.98, p = .052, \eta^2_p = .067$ ], tomaron menor cantidad de notas [ $F(1,155) = 3.88, p = .054, \eta^2_p = .066$ ], pasaron menos tiempo tomando notas [ $F(1,155) = 4.22, p < .05, \eta^2_p = .071$ ] y tuvieron menos segmentos reproductivos del contenido [ $F(1,155) = 4.25, p < .05, \eta^2_p = .072$ ] que sus pares con conocimientos previos bajos. En cuanto a los efectos del andamiaje por parte de los agentes, aquellos participantes en la condición prompt and feedback dedicaron menos tiempo a la toma de notas [ $F(1,155) = 5.73, p < .05, \eta^2_p = .094$ ], tomaron menor cantidad de notas [ $F(1,155) = 4.90, p < .05, \eta^2_p = .082$ ] y menor número de segmentos reproductivos [ $F(1,155) = 4.82, p < .05, \eta^2_p = .081$ ]. En relación con esto, Martín et al. (2016) obtienen evidencias de que la interacción de estos agentes pedagógicos con el aprendiz bajo la condición experimental les conduce a mayores ganancias de aprendizaje.

Taub et al. (2016) estudian los efectos de los conocimientos previos de los participantes en los procesos atencionales respecto a siete áreas de interés en la interfaz de MetaTutor, encontrando para aquellos con bajos conocimientos previos una mayor proporción de atención a las imágenes del software. Adicionalmente examinan las diferencias de ambos grupos en las ganancias de aprendizaje, controlando la condición, dándose un efecto significativo respecto a conocimientos previos de las submetas activas [Lambda de Wilks  $\lambda = .94$ ,  $F(2, 141) = 4.93$ ,  $p = .009$ ,  $\eta^2_p = .07$ ].

En relación con lo anterior, Taub, y Azevedo (2019) amplían los estudios, examinando la proporción de fijaciones que alumnos con bajos y altos conocimientos previos realizan sobre las áreas de interés relativas a diferentes estrategias de aprendizaje. Los resultados muestran cómo los estudiantes con conocimientos previos altos centraban su atención en áreas correspondientes a las estrategias de aprendizaje cognitivas y metacognitivas, mientras que el grupo de conocimientos previos bajos no lo hacía [Lambda de Wilks  $\lambda = .49$ ,  $F(8, 20) = 2.65$ ,  $p = .037$ ,  $\eta^2_p = .52$ ].

Graesser y McNamara, (2010) desarrollan un estudio cuyo objetivo es triangular la información recogida sobre las emociones experimentadas por el usuario de MetaTutor a través de tres métodos de medición diferentes (autoinformes, reconocimiento de la expresión facial y respuesta psicogalvánica). Los resultados obtenidos ponen de relieve la sincronización de los datos recogidos a través de las dos primeras medidas, pero no de éstas con la actividad electrodermal de los aprendices.

Jaques et al. (2014) investigan sobre la utilidad de los datos de seguimiento ocular para la predicción de emociones relevantes para el aprendizaje (aburrimiento y curiosidad) empleando técnicas de aprendizaje automático. Los resultados obtenidos fueron similares para ambas emociones; no encontrando efectos significativos de clasificación o interacción.

Harley et al. (2015a) y Harley et al. (2015b) examinan la relación entre los rasgos

de personalidad de los participantes, las emociones que típicamente experimentan durante el estudio y las emociones que reportan como resultado de la interacción con los cuatro agentes pedagógicos integrados en el Sistema de Tutorización Inteligente. Sus hallazgos ponen de relieve una relación significativa entre parte de los rasgos y estados de personalidad para con las emociones dirigidas hacia los agentes pedagógicos del software. Concretamente, para el agente Sam (el avatar estratega) los análisis de regresión muestran un efecto significativo ( $R^2 = .20$ ,  $p < .05$ ) experimentando los participantes bajo la condición control mayores niveles de felicidad ( $\beta = -.30$ ,  $p < .01$ ). En lo relativo a la agente Pam (el avatar planificador) no se encontraron efectos significativos de la condición, pero sí una interacción significativa de la condición con la emoción de enfado ( $\beta = -.61$ ,  $p < .01$ ) y del rasgo de personalidad agradabilidad con la condición ( $\beta = -.30$ ,  $p < .01$ ). En cuanto a la agente Mary (el avatar manager), se da una relación para la emoción orgullo ( $R^2 = .21$ ,  $p < .01$ ), con un efecto estadísticamente significativo de la condición ( $\beta = .25$ ,  $p < .01$ ) manifestando los usuarios bajo la condición *prompt and feedback* mayores niveles de orgullo con Mary. El modelo en el paso dos muestra una interacción significativa entre condición y enfado ( $\beta = -.48$ ,  $p < .05$ ), así como entre el rasgo de personalidad y condición ( $\beta = -.29$ ,  $p < .05$ ). Por último, no se dan efectos o interacciones significativas para el agente Gavin (el avatar guía). En cuanto a la posible influencia de los rasgos y estados de personalidad en el rendimiento de los usuarios, ninguno de los modelos de regresión producidos permitía predecir de manera significativa las ganancias de aprendizaje.

Completando los anteriores estudios Harley et al. (2016) examinan emoción neutral como variable dependiente, obteniendo modelos significativos tanto en el paso 1 ( $R^2 = .19$ ,  $p < .05$ ) como en el paso 2 ( $R^2 = .33$ ,  $p < .01$ ), dándose un efecto principal para la condición experimental ( $\beta = -.33$ ,  $p < .01$ ) en la que los participantes en la condición control se sintieron más neutrales hacia Sam.



Así mismo localizaron efectos de interacción para ansiedad y condición ( $\beta = -.54, p < .05$ ), enfado y condición ( $\beta = .53, p < .01$ ) y responsabilidad y condición ( $\beta = -.24, p < .05$ ). En cuanto a la agente Pam, también se obtuvieron modelos significativos en el paso 1 ( $R^2 = .19, p < .05$ ) mostrando un efecto principal para enfado ( $\beta = .34, p < .05$ ), y agradabilidad ( $\beta = .21, p < .05$ ). El modelo en el paso 2 ( $R^2 = .28, p < .05$ ) mostro un efecto principal para neuroticismo ( $\beta = .41, p < .05$ ) y una interacción significativa entre neuroticismo y condición ( $\beta = -.38, p < .05$ ). Por último, en cuanto a la agente Mary, tomando como variable dependiente la emoción aburrimiento no obtuvieron un modelo significativo en el paso 1 pero sí en el paso 2 ( $R^2 = .30, p < .05$ ), identificando un efecto principal para neuroticismo ( $\beta = .50, p < .05$ ) y condición ( $\beta = -.22, p < .05$ ), así como una interacción entre neuroticismo y condición ( $\beta = -.44, p < .01$ ).

Wortha, Azevedo, Taub, y Narciss (2019) desarrollaron análisis clúster para identificar perfiles emocionales en los participantes en el experimento. Así encontraron un perfil positivo, uno neutral y uno negativo. Una vez clasificados los sujetos, examinaron la relación de estos perfiles con el rendimiento académico, observando cómo los estudiantes con un perfil emocional negativo aprendían menos [ $b = -0.40, SE = 0.16; t(173) = -2.43, p < .05, VIF = 1.18$ ] y empleaban menos estrategias de regulación emocional [ $F(2,163) = 4.185; p < .05$ ] que los estudiantes con los otros dos perfiles. Sus hallazgos ponen de relieve el rol que las emociones negativas tienen en el aprendizaje.

Lallé et al. (2016) debido a la importancia de las emociones en el proceso autorregulatorio, estudian la relación entre diferencias individuales (metas de logro y rasgos de personalidad), emociones vividas durante el aprendizaje y la reacción hacia los cuatro agentes pedagógicos integrados en MetaTutor. Para ello realizan varios análisis de regresión logística tomando como variable dependiente las emociones vividas durante el aprendizaje con el sistema. Los autores encuentran efectos de interacción entre las

emociones de logro y la condición experimental para orgullo [ $X^2(1) = 20.5, p < .001, r = .55$ ] y ansiedad [ $X^2(1) = 13.4, p < .001, r = .47$ ]; los participantes cuyas metas de logro se orientan al desempeño experimentan más emociones positivas (mayor orgullo, menor ansiedad) en la condición prompt and feedback que en la condición control, mientras que para los participantes cuyas metas de logro se orientan al dominio de conocimientos el efecto es opuesto.

Lallé et al. (2017) estudian la relación entre las metas de logro de los participantes y los patrones atencionales dirigidos a los agentes pedagógicos durante el aprendizaje con MetaTutor mediante análisis de regresión lineal. Los análisis muestran efectos de interacción entre las metas de logro y la fijación más larga [ $F(2,8) = 4.97, \eta^2_p = .09, p = .04$ ], así como con la tasa de fijación [ $F(2,8) = 6.51, \eta^2_p = .15, p = .02$ ] en el área de interés dedicada a los agentes cuando estos están hablando, así como una interacción de las metas de logro con la tasa de fijación en el área dedicada a los agentes cuando estos están en silencio [ $F(2,8) = 5.64, \eta^2_p = .1, p = .03$ ]. Así, los estudiantes orientados al rendimiento aprenden más cuando tienen una fijación más larga y una tasa de fijación mayor en el área de interés cuando los agentes están hablando. Por su parte, los estudiantes orientados al dominio de los contenidos aprenden menos cuando tienen una tasa de fijación alta en el área de interés cuando los agentes están hablando.

Por su parte, Lallé, Conati, y Azevedo (2018) confirman que los agentes pedagógicos pueden influir en las emociones experimentadas por los estudiantes durante la sesión de aprendizaje con MetaTutor. Sin embargo, la posibilidad de rectificar las emociones negativas experimentadas hacia estos agentes depende del tipo de orientación a metas que tengan los aprendices.

Cloude, et al. (2018) examinan las diferencias las ganancias de aprendizaje, uso de estrategias cognitivas y uso de estrategias metacognitivas en función de la orientación a metas de los participantes. Para ello desarrollan una serie de análisis multivariados

de la covarianza. La orientación a metas se describe en base a cuatro constructos (dominio, desempeño, aproximación y evitación) que operativizan en dos variables; una para dominio, desempeño y combinación de ambos y otra para aproximación, evitación y combinación de ambas. En primer lugar, examinando los efectos de la orientación a metas en las ganancias de aprendizaje descubren un efecto principal de la aproximación, evitación y combinación de ambas [ $F(4,360) = 4.6, p = .001$ , Pilliai'sV = 10,  $\eta^2_p = .05$ ] pero no del dominio, desempeño y combinación de ambos [ $F(4,360) = 9.3, p = .45$ , Pilliai'sV = 02,  $\eta^2_p = .01$ ], ni de efectos de interacción [ $F(8,360) = .57, p = .8$ , Pilliai'sV = 3,  $\eta^2_p = .01$ ]. En cuanto al uso de estrategias cognitivas, no se dieron diferencias significativas. De manera similar ocurre al examinar las estrategias metacognitivas entre dominio, desempeño y combinación de ambos [ $F(8,356) = 1.31, p = .238$ , Pilliai'sV = 06,  $\eta^2_p = .03$ ], ni para aproximación, evitación y combinación de ambas [ $F(8,356) = .90, p = .518$ , Pilliai'sV = 04,  $\eta^2_p = .02$ ].

Price et al. (2018) dada la importancia de las emociones en el proceso autorregulatorio, investigan sobre el perfil de regulación emocional de los participantes en relación con sus emociones negativas, uso de estrategias cognitivas, uso de estrategias metacognitivas y ganancia de aprendizaje. Para ello, emplean en primer lugar análisis univariado de la varianza tomando como variables independientes los perfiles de regulación emocional y la condición experimental; encuentran un efecto principal de las emociones negativas [ $F(3,95) = 2.75, p = .047$ ,  $\eta^2_p = .08$ ], pero no de la condición experimental [ $F(1,95) = 0.51, p = .475$ ], ni interacción entre ambas variables [ $F(3,95) = .06, p = .982$ ]. Los análisis posthoc muestran que aquellos estudiantes con un perfil de regulación emocional alto en reevaluación emocional y bajo en represión expresiva informaban de menores emociones negativas que el grupo de puntuaciones bajas en ambas variables. En cuanto a las diferencias entre condiciones experimentales y perfiles de regulación emocional, los análisis muestran

la inexistencia de efectos de la condición experimental [ $F(1,95) = .52, p = .474$ ] o grupo de regulación emocional [ $F(3,95) = 1.52, p = .215$ ] en las ganancias de aprendizaje, así como la inexistencia de interacción entre ambas variables [ $F(3,95) = 0.64, p = .592$ ]. Así mismo, los autores examinaron las posibles diferencias en la frecuencia total de procesos metacognitivos en función del perfil de regulación emocional de los sujetos [ $\chi^2(6) = 28.21, p < .001$ ]. Por último, realizaron el mismo análisis para las estrategias cognitivas identificando diferencias significativas entre los grupos estudiados [ $\chi^2(9) = 85.06, p < .001$ ].

Sinclair et al. (2018) examinan los perfiles emocionales de los aprendices y su relación con las ganancias de aprendizaje mediante análisis transición latente. Los resultados obtenidos permiten observar que las transiciones entre perfiles muestran patrones consistentes; la mitad de los participantes se mantienen en la misma clase durante los tres momentos analizados, siendo aquellos que iniciaron la sesión de aprendizaje aburridos o frustrados los que mayor probabilidad de permanecer en ese estado tenían. Aquellos participantes que transitaron de una clase a otra, no lo hacían de una clase extrema a otra (positivo, frustrado/aburrido). Aquellos con mayor probabilidad de transitar desde una clase moderada a una positiva eran aquellos con mayores ganancias de aprendizaje" por "los sujetos con mayores ganancias de aprendizaje. Aquellos con mayor probabilidad de transitar desde una clase moderada a una negativa eran los que menores ganancias de aprendizaje obtenían.

Taub et al. (2018) desarrollan un estudio con el objetivo de analizar algunas estrategias cognitivas en relación con las emociones vividas durante el aprendizaje con MetaTutor y sus ganancias de aprendizaje. De esta manera localizan correlación entre ciertas emociones y las ganancias de aprendizaje; desprecio [ $r(19) = .46, p = .035$ ], confusión [ $r(17) = .47, p = .042$ ].

Por su parte, Azevedo et al. (2010a) se centran en revisar procedimientos de análisis y resultados obtenidos en estudios anteriores,

poniendo de relieve la necesidad aplicar métodos mixtos, triangulando la información recogida por diversos instrumentos, así como de hacer análisis cualitativos y cuantitativos para examinar en profundidad las interrelaciones persona-sistema de tutorización inteligente.

Por último, Lintean, Rus, y Azevedo (2012) se centran en probar tres metodologías diferentes para analizar los modelos mentales de los participantes a través de los conocimientos previos que expresan antes de abordar un determinado contenido de MetaTutor (métodos de superposición basados en contenido, análisis de cohesión de texto y representaciones ponderadas basadas en tf-idf). La comparativa entre metodologías pone de relieve que un método de ponderación de palabras, que utiliza valores tf-idf calculados a partir del corpus, combinado con un algoritmo de aprendizaje automático Bayes Nets, ofrece los resultados más precisos.

## RESULTADOS QUE DAN CUENTA DE METATUTOR COMO HERRAMIENTA DE INTERVENCIÓN

Una vez revisados los trabajos con mayor énfasis en la evaluación del aprendizaje, se revisan aquellos que se centran en promocionar las estrategias de aprendizaje autorregulado.

Harley et al. (2017) examinan el proceso de enunciación de submetas por parte de los aprendices encontrando cuatro perfiles; el primero cuando es el avatar el que finalmente tiene que proponer una meta en concreto, el segundo cuando el avatar propone varias opciones para que el usuario escoja, el tercero cuando el avatar ayuda mediante feedback a que sea el propio aprendiz quien enuncie la submeta y el cuarto cuando el estudiante enuncia bien la submeta sin necesidad de ayuda. Una vez examinados los perfiles, los autores indagan sobre la relación de éstos con las ganancias de aprendizaje; En general no se encuentra una relación significativa entre ambas variables, pero sí se identifica ésta para el grupo control, submeta 1 [ $F(2,54) = 3.96, p < .05, \eta_p^2 = .13$ ], obteniendo mayor rendimiento el grupo del cuarto perfil respecto al grupo del primer perfil.

Azevedo et al. (2016) encuentran que los resultados de aprendizaje obtenidos por los aprendices bajo la condición de andamiaje adaptativo (*prompt and feedback*) superan a los obtenidos por los aprendices en la condición control, con un tamaño del efecto grande [ $F(1,117) = 76.90, p < .001, \eta_p^2 = .40$ ]. Ambas condiciones experimentales también se diferencian en los procesos que desarrollan durante el aprendizaje, dándose un mayor número de procesos cognitivos y metacognitivos cuando los estudiantes están actuando en la condición experimental frente a la condición control.

Duffy y Azevedo (2015) analizan la relación entre objetivos de logro, condición experimental, proceso de aprendizaje y rendimiento; aunque no se encuentra relación significativa entre el proceso de aprendizaje y el rendimiento, sí se da una relación entre estos procesos y la condición experimental, dedicando la condición *prompt and feedback* un mayor tiempo a visitar páginas relevantes para sus submetas [ $F(1,78) = 20.62, p < .01$ ]. También se da un efecto significativo de la condición en las estrategias puestas en juego [ $F(1,78) = 5.5, p < .05$ ], en el que la condición *prompt and feedback* muestra un mayor uso de la paleta de estrategias. En cuanto a rendimiento, no se da un efecto significativo para objetivos de logro [Pillai's Trace = .01,  $F(2,77) = .20, p > .05$ ], ni para condición [Pillai's Trace = .02,  $F(2,77) = .71, p > .05$ ].

Bouchet, Harley y Azevedo (2016) examinan los efectos de tres condiciones experimentales diferentes (control, prompts adaptativos y prompts que se desvanecen). Así, encuentran que el uso de estrategias es inferior para la condición control respecto a las otras dos condiciones. Sin embargo, los autores no encuentran diferencias significativas entre los tres grupos en términos de ganancias de aprendizaje.

Martin et al. (2016) encuentran un mayor aprendizaje de aquellos en la condición *prompt and feedback* respecto a aquellos en la condición control [ $t(163) = 2.63, p = .01, d = .41$ ]. Así mismo examinan la relación entre el rendimiento y la interacción con los agentes,

encontrando que a mayor interacción con Sam el estrategia, mayores ganancias de aprendizaje ( $\beta = .29, p = .003$ ). La proporción de tiempo interaccionando con los agentes pedagógicos explicaba el 9% de la varianza en las ganancias

de aprendizaje con MetaTutor ( $R^2 = .09, p = .002$ ).

La Tabla 1 proporciona una síntesis de las variables analizadas en cada estudio, a fin de facilitar consultas específicas por parte del lector.

*Tabla 1*  
Relación entre variables de estudio y manuscritos que versan sobre MetaTutor

	Factores personales	Cono. previos	Orientación a metas	Patrón de navegación	Emociones	Autorregulación	CAMM	Interacción con Agentes	Ganancia de aprendizaje
Azevedo et al. (2010a)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Azevedo et al. (2010b)						x			
Azevedo et al. (2016)						x		x	x
Bouchet et al. (2016)						x		x	x
Cloude et al. (2018)			x						x
Duffy et al. (2015)			x			x		x	
Graeser et al. (2010)						x			
Harley et al. (2015a)					x				
Harley et al. (2015b)	x				x			x	
Harley et al. (2016)	x				x			x	x
Harley, et al. (2017)								x	x
Jaques, et al. (2014)					x	x			
Lallé et al. (2016)	x		x					x	
Lallé, et al. (2017)			x					x	x
Lallé, et al. (2018)					x	x			
Lintean et al (2012)									x
Martin et al. (2016)								x	x
Price et al. (2018)					x		x		
Sinclair et al. (2018)					x				x
Taub et al.(2014)		x				x			
Taub et al. (2016)		x					x		x
Taub et al. (2018)					x	x			x
Taub et al. (2019)		x					x		
Trevors et al. (2014)						x	x		

## DISCUSIÓN

El presente trabajo planteaba proporcionar una síntesis de la literatura acerca de MetaTutor desde su creación hasta la actualidad, aunando en un mismo documento la información sobre el diseño y resultados del software diseminada en otras publicaciones. A continuación, se discuten y extraen algunas conclusiones sobre los estudios revisados.

En primer lugar, es preciso poner de relieve que la mayor parte de textos analizados identifican las bases teóricas del Sistema de Tutorización Inteligente de manera parcial, requiriendo la lectura de varios manuscritos para obtener una visión global de los fundamentos del sistema. La revisión de dichas bases permite observar cómo se integran los avances en el campo del aprendizaje autorregulado y superan algunas limitaciones más comunes, entre las que destacan la medición en tiempo real de los procesos cognitivos, afectivos, motivacionales y metacognitivos que se desarrollan a lo largo de cada una de las fases del proceso autorregulatorio (Azevedo et al. 2010; 2011; 2016; Martín, et al., 2016).

En cuanto a MetaTutor como herramienta de medición cabe afirmar que, todos los estudios sobre MetaTutor se han llevado a cabo desde un enfoque cuasi-experimental e integran multitud de instrumentos capaces de medir los procesos cognitivos, afectivos, metacognitivos, y motivacionales de los estudiantes durante su aprendizaje con en dicho entorno bajo una metodología multimodal y multicanal (Harley et al., 2015a). Esta metodología aporta consistencia a los hallazgos obtenidos y posibilita la triangulación de la información recogida y su consecuente validación. Por tanto, uno de los mayores aportes de MetaTutor es su capacidad para detectar, monitorear y mejorar las habilidades y conductas autorregulatorias de sus usuarios en tiempo real a través de la articulación de múltiples mecanismos, superando así las limitaciones características de la investigación en el campo del aprendizaje autorregulado (Azevedo et al, 2009;2016; Bouquet et al., 2016).

En base a ello sabemos que algunos factores inherentes a la persona pueden influir en el transcurso y resultados del aprendizaje en el sistema. El análisis de los textos muestra cómo, en efecto, sus conocimientos previos (Taub et al., 2014; Trevors et al., 2014; Taub et al., 2016), destreza y experiencia en entornos de aprendizaje virtuales (Link, y Marz, 2006), rasgos de personalidad (Harley et al., 2015a; Harley et al, 2016), emociones (Harley et al., 2015b), motivación (Duffy et al., 2015) y metas personales (Lallé et al., 2016) influyen el proceso de aprendizaje.

En cuanto a MetaTutor como herramienta de intervención se confirma que la aplicación de la versión adaptativa de MetaTutor ha mostrado ser más eficaz que la versión no adaptativa; así, cuando los agentes pedagógicos aportan propuestas y feedback a los estudiantes en base a su conducta autorregulatoria, enuncian submetas más apropiadas (Harley et al., 2017), mejoran sustancialmente su conducta autorregulatoria y aumenta su satisfacción para con los propios agentes (Azevedo et al., 2016; Bouchet et al., 2016), al tiempo que aumentan las ganancias de aprendizaje (Azevedo et al., 2009; Martín et al., 2016).

Así mismo, en la condición experimental el grado de interacción con los agentes y la reacción del aprendiz ante los mismos también ha probado su influencia el proceso y los resultados de aprendizaje, desarrollando un mayor número de estrategias autorregulatorias y obteniendo mayores ganancias de aprendizaje aquellos usuarios en los que se da una mayor interacción con los agentes (Azevedo et al., 2016; Duffy et al., 2015; Martín et al., 2016).

En base al anterior análisis, es posible afirmar que los hallazgos recogidos en las publicaciones analizadas evidencian la eficacia de MetaTutor para el estudio y promoción de los procesos metacognitivos y autorregulatorios durante el aprendizaje.

A modo de conclusión, el presente trabajo tenía por objetivo cubrir un vacío de información respecto al software MetaTutor. Este software es un Sistema de Tutorización Inteligente especialmente diseñado para

evaluar y promocionar el desarrollo de procesos metacognitivos y autorregulatorios durante el aprendizaje en un entorno virtual. Hasta el momento no existía una publicación que describiese el diseño y funcionamiento de la herramienta de forma integral. Por ello, el presente trabajo cubre un vacío en la literatura que era necesario rellenar, pues MetaTutor es reconocido como uno de los instrumentos más eficientes en el campo de investigación del aprendizaje autorregulado.

Sin embargo, este artículo tiene una limitación principal; el no haber podido complementar el trabajo incluyendo un meta-análisis que evidencie la eficiencia de las diversas versiones de la herramienta. Esto ha sido motivado por la falta de determinados datos en algunas de las publicaciones incluidas en la revisión. Por ello, como futuras líneas de investigación se propone continuar pendientes de las nuevas publicaciones sobre el software –a fin de localizar las más actuales para intentar llevar a cabo dicho meta-análisis-, así como realizar otras revisiones sistemáticas de la literatura sobre alguna otra de las más prestigiosas herramientas de investigación en el campo, por ejemplo; cristal island y gstudy.

● **Conflicto de intereses.**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

● **Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (BES-2015-072470) y por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte en el marco del Programa Nacional de I+D (referencia EDU2014-57571-P). Así mismo, se ha recibido financiación adicional por parte de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y del Plan Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación del Principado de Asturias (FC-GRUPINIDI/2018/000199 and BP16014).

**REFERENCIAS**

\*Publicaciones que forman parte de la revisión sistemática.

Azevedo, R. (2005). Computers as metacognitive tools for enhancing learning. *Educational Psychologist*, 40(4), 193-197. doi:[10.1207/s15326985ep4004\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4004_1)

Azevedo, R., Behnagh, R., Duffy, M., Harley, J., y Trevors, G. (2012). Metacognition and self-regulated learning in student-centered learning environments. En D.

Jonassen, y S. Land (Eds.) *Theoretical foundations of student-centered learning environments* (pp. 171-197). Florence, USA: Routledge, Taylor & Francis Group.

Azevedo, R., y Chauncey, A. (2011). Integrating cognitive, metacognitive, and affective regulatory processes with MetaTutor. En R.A. Calvo y S.K. D’Mello (Eds.) *New perspectives on affect and learning technologies* (pp. 141-154). New York, USA: Springer. doi:[10.1007/978-1-4419-9625-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9625-1)

Azevedo, R., Harley, J., Trevors, G., Duffy, M., Feyzi-Behnagh, R., Bouchet, F., y Landis, R. (2013). Using trace data to examine the complex roles of cognitive, metacognitive, and emotional self-regulatory processes during learning with multi-agent systems. En R. Azevedo y V. Aleven (Eds.), *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 427-449). New York, USA: Springer.

\*Azevedo, R., Johnson, A., Chauncey, A., y Burkett, C. (2010A). Self-regulated learning with MetaTutor: Advancing the science of learning with MetaCognitive tools. En M. S. Khine e I. M. Saleh (Eds.), *New science of learning* (pp. 225-247). New York: Springer. doi:[10.1007/978-1-4419-5716-0](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5716-0)

\*Azevedo, R., Martin, S. A., Taub, M., Mudrick, N. V., Millar, G. C., y Grafsgaard, J. F. (2016). Are pedagogical agents’ external regulation effective in fostering learning with intelligent tutoring systems? En A. Micarelli, J. Stamper y K. Panourgia (Eds.) *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 197-207). Zagreb, Croacia: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-39583-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_19)

Azevedo, R., Moos, D. C., Johnson, A. M., y Chauncey, A. D. (2010B). Measuring cognitive and metacognitive regulatory processes during hypermedia learning: Issues and challenges. *Educational psychologist*, 45(4), 210-223.

Azevedo, R., y Strain, A. C. (2011). Integrating cognitive, metacognitive, and affective regulatory processes with MetaTutor. En R.A. Calvo y S.K. D’Mello

- (Eds.) *New perspectives on affect and learning technologies* (pp. 141-154). New York, USA: Springer.
- Azevedo, R., Witherspoon, A. M., Chauncey, A., Burkett, C., y Fike, A. (2009). MetaTutor: A MetaCognitive Tool for Enhancing Self-Regulated Learning. En R. Pirrone, R. Azevedo y G. Biswas (Eds.) *AAAI Fall Symposium: Cognitive and Metacognitive Educational Systems*. Recuperado de [www.aaai.org/ocs/index.php/FSS/FSS09/paper/viewFile/995/1253](http://www.aaai.org/ocs/index.php/FSS/FSS09/paper/viewFile/995/1253)
- Azevedo, R., Witherspoon, A. M., Graesser, A. C., McNamara, D. S., Chauncey, A., Siler, E., Cai, Z.Q., Rus, V., y Lintean, M. C. (2009). MetaTutor: Analyzing Self-Regulated Learning in a Tutoring System for Biology. En D. Dicheva y D. Dochev (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 635-637). Brighton, UK: Sirma Group Corp. doi:[10.3233/978-1-60750-028-5-635](https://doi.org/10.3233/978-1-60750-028-5-635)
- Beheshitha, S. S., Gašević, D., y Hatala, M. (2015). A process mining approach to linking the study of aptitude and event facets of self-regulated learning. En J. Baron, G. Lynch y O. Maziarz (Eds.), *Proceedings of the fifth international conference on learning analytics and knowledge* (pp. 265-269). New York, USA: Association for Computing Machinery.
- Bogarin, A., Cerezo, R., y Romero, C. (2018). Discovering learning processes using inductive miner: a case study with Learning Management Systems (LMSs). *Psicothema*, 30(3), 322-329. doi:[10.7334/psicothema2018.116](https://doi.org/10.7334/psicothema2018.116)
- \*Bouchet, F., Harley, J. M., y Azevedo, R. (2016). Can Adaptive Pedagogical Agents' Prompting Strategies Improve Students' Learning and Self-Regulation? En A. Micarelli, J. Stamper y K. Panourgia (Eds.). *13th International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 368-374). Zagreb, Croacia: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-39583-8\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_43)
- Bulu, S. T., y Pedersen, S. (2012). Supporting problem-solving performance in a hypermedia learning environment: The role of students' prior knowledge and metacognitive skills. *Computers in Human Behavior*, 28(4), 1162-1169. doi:[10.1016/j.chb.2012.01.026](https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.026)
- Cerezo, R., Esteban, M., Rodríguez, L., Bernardo, A., Sánchez, M., Amiero, N., y Pereles, A (2017a). Learning Difficulties in Computer-Based Learning Environments. En J. A. González-Pienda, A. Bernardo, J. C. Núñez, y C. Rodríguez (Eds.), *Factors Affecting academic performance* (pp. 157-171). New York, USA: Nova Science.
- Cerezo, R., Esteban, M., Sánchez-Santillán, M., y Núñez, J. C. (2017b). Procrastinating behavior in computer-based learning environments to predict performance: A case study in Moodle. *Frontiers in psychology*, 8, 1403. doi:[10.3389/fpsyg.2017.01403](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01403)
- \*Cloude, E. B., Taub, M., y Azevedo, R. (2018). Investigating the Role of Goal Orientation: Metacognitive and Cognitive Strategy Use and Learning with Intelligent Tutoring Systems. En R. Nkambou, R. Azevedo, y J. Vassileva (Eds.) *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 44-53). Nueva York, USA: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-91464-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91464-0_5)
- Dahlstrom, E., Brooks, D. C., y Bichsel, J. (2014). The current ecosystem of learning management systems in higher education: Student, faculty, and IT perspectives (Research report). Recuperado de [www.digitallernen.ch/wp-content/uploads/2016/02/ers1414.pdf](http://www.digitallernen.ch/wp-content/uploads/2016/02/ers1414.pdf)
- Dinsmore, D. L., Alexander, P. A., y Loughlin, S. M. (2008). Focusing the conceptual lens on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20(4), 391-409. doi:[10.1007/s10648-008-9083-6](https://doi.org/10.1007/s10648-008-9083-6)
- Dodge, A. M. (2013). From Research to Practice: Understanding Self-Regulation. Newsletter Talk to Teachers. *Education Matters*, 1(1), 4-6. Recuperado de [www.punyamishra.com/wp-content/](http://www.punyamishra.com/wp-content/)

[uploads/2014/02/Dodge-self-regulation.pdf](#)

- \*Duffy, M. C., y Azevedo, R. (2015). Motivation matters: Interactions between achievement goals and agent scaffolding for self-regulated learning within an intelligent tutoring system. *Computers in Human Behavior*, 52, 338-348. doi:[10.1016/j.chb.2015.05.041](#)
- Elliot, A. J., y McGregor, H. A. (2001). A 2x2 achievement goal framework. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80, 501-519. doi:[10.1037/0022-3514.80.3.501](#)
- \*Graesser, A., y McNamara, D. (2010). Self-regulated learning in learning environments with pedagogical agents that interact in natural language. *Educational Psychologist*, 45(4), 234-244. doi:[10.1080/00461520.2010.515933](#)
- Gross, J. J., y John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(2), 348. doi:[10.1037/0022-3514.85.2.348](#)
- \*Harley, J. M., Bouchet, F., Hussain, M. S., Azevedo, R., y Calvo, R. (2015a). A multi-componential analysis of emotions during complex learning with an intelligent multi-agent system. *Computers in Human Behavior*, 48, 615-625. doi:[10.1016/j.chb.2015.02.013](#)
- \*Harley, J. M., Carter, C. C., Papaionnou, N., Bouchet, F., Landis, R. S., Azevedo, R., y Karabachian, L. (2015b). Examining the predictive relationship between personality and emotion traits and learners' agent-direct emotions. En C. Conati, N. Heffernan, A. Mitrovic y M. F. Verdejo (Eds.) *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 145-154). Nueva York, USA: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-19773-9\\_15](#)
- \*Harley, J. M., Carter, C. K., Papaionnou, N., Bouchet, F., Landis, R. S., Azevedo, R., y Karabachian, L. (2016). Examining the predictive relationship between personality and emotion traits and students' agent-directed emotions: towards emotionally-adaptive agent-based learning environments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 26(2-3), 177-219. doi:[10.1007/s11257-016-9169-7](#)
- \*Harley, J. M., Taub, M., Azevedo, R., y Bouchet, F. (2017). "Let's Set Up Some Subgoals": Understanding Human-Pedagogical Agent Collaborations and Their Implications for Learning and Prompt and Feedback Compliance. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(1), 54-66. doi:[10.1109/TLT.2017.2756629](#)
- \*Jaques, N., Conati, C., Harley, J. M., y Azevedo, R. (2014). Predicting affect from gaze data during interaction with an intelligent tutoring system. En S. Trausan-Matu, K. E. Boyer, M. Crosby y K. Panourgia (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 29-38). Nueva York, USA: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-07221-0\\_4](#)
- Järvelä, S., y Hadwin, A. F. (2013). New frontiers: Regulating learning in CSCL. *Educational Psychologist*, 48(1), 25-39. doi:[10.1080/00461520.2012.748006](#)
- Lajoie, S. P. (2008). Metacognition, self-regulation, and self-regulated learning: A rose by any other name? *Educational Psychology Review*, 20(4), 469-475. doi:[10.1007/s10648-008-9088-1](#)
- \*Lallé, S., Conati, C., y Azevedo, R. (2018). Prediction of student achievement goals and emotion valence during interaction with pedagogical agents. En E. Andre y S. Koenig (Eds.), *Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (pp. 1222-1231). *International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems*.
- \*Lallé, S., Mudrick, N. V., Taub, M., Grafsgaard, J. F., Conati, C., y Azevedo, R. (2016). The impact of individual differences on affective reactions to



- pedagogical agents scaffolding. En J. Kolkmeier, J. Vroon y D. Heylen (Eds.), *International Conference on Intelligent Virtual Agents* (pp. 269-282). Verlag: Springer International Publishing. doi:[10.1007/978-3-319-47665-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47665-0_24)
- \*Lallé S., Taub, M., Mudrick, N. V., Conati, C., y Azevedo, R. (2017). The Impact of Student Individual Differences and Visual Attention to Pedagogical Agents During Learning with MetaTutor. En E. André, R. Baker, X. Hu, M. Rodrigo y B. Du Boulay (Eds.), *Artificial Intelligence in Education. Lecture Notes in Computer Science* (pp 149-161). Nueva York, USA: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-61425-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61425-0_13)
- Link, T. M., y Marz, R. (2006). Computer literacy and attitudes towards e-learning among first year medical students. *BMC Medical Education*, 6(1), 34. doi:[10.1186/1472-6920-6-34](https://doi.org/10.1186/1472-6920-6-34)
- \*Lintean, M., Rus, V., y Azevedo, R. (2012). Automatic detection of student mental models based on natural language student input during metacognitive skill training. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 21(3), 169-190. doi:[10.3233/JAI-2012-022](https://doi.org/10.3233/JAI-2012-022)
- Martín-Albo, J., Núñez, J. L., Navarro, J. G., y Grijalvo, F. (2007). The Rosenberg Self-Esteem Scale: translation and validation in university students. *The Spanish Journal of Psychology*, 10(2), 458-467.
- \*Martin, S. A., Azevedo, R., Taub, M., Mudrick, N. V., Millar, G. C., y Grafsgaard, J. F. (2016). Are There Benefits of Using Multiple Pedagogical Agents to Support and Foster Self-Regulated Learning in an Intelligent Tutoring System? En A. Micarelli, J. Stamper y K. Panourgia (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 273-279). Nueva York, USA: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-39583-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_29)
- Panadero, E., Klug, J., y Järvelä, S. (2016). Third wave of measurement in the self-regulated learning field: when measurement and intervention come hand in hand. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 60(6), 723-735. doi:[10.1080/00313831.2015.1066436](https://doi.org/10.1080/00313831.2015.1066436)
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P., y Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36-48. doi:[10.1016/j.cedpsych.2010.10.002](https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2010.10.002)
- \*Price, M. J., Mudrick, N. V., Taub, M., y Azevedo, R. (2018). The Role of Negative Emotions and Emotion Regulation on Self-Regulated Learning with MetaTutor. En R. Nkambou, R. Azevedo, y J. Vassileva (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 170-179). Springer, Cham.
- Rosenberg, M. (1979). *Conceiving the Self*. New York, USA: Basic Books. doi:[10.1007/978-3-319-91464-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91464-0_17)
- Rosenberg, M. (1979). *Conceiving the self*. New York: Basic Books.
- \*Sinclair, J., Jang, E. E., Azevedo, R., Lau, C., Taub, M., y Mudrick, N. V. (2018). Changes in Emotion and Their Relationship with Learning Gains in the Context of MetaTutor. En R. Nkambou, R. Azevedo, y J. Vassileva (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 202-211). Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-91464-0\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91464-0_20)
- Stahl, E., y Bromme, R. (2007). The CAEB: An instrument for measuring connotative aspects of epistemological beliefs. *Learning and Instruction*, 17(6), 773-785. doi:[10.1016/j.learninstruc.2007.09.016](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.016)
- \*Taub, M., y Azevedo, R. (2016). Using eye-tracking to determine the impact of prior knowledge on self-regulated learning with an adaptive hypermedia-learning environment. En A. Micarelli, J. Stamper y K. Panourgia (Eds.), *13th International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 37-47). Zagreb, Croacia: Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-39583-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_4)
- \*Taub, M., y Azevedo, R. (2019). How Does Prior Knowledge Influence Eye Fixations and Sequences of Cognitive and Metacognitive SRL Processes during

- Learning with an Intelligent Tutoring System? *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 29(1), 1-28. doi:[10.1007/s40593-018-0165-4](https://doi.org/10.1007/s40593-018-0165-4)
- \*Taub, M., Azevedo, R., Bouchet, F., y Khosravifar, B. (2014). Can the use of cognitive and metacognitive self-regulated learning strategies be predicted by learners' levels of prior knowledge in hypermedia-learning environments? *Computers in Human Behavior*, 39, 356-367. doi:[10.1016/j.chb.2014.07.018](https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.018)
- \*Taub, M., Mudrick, N. V., Rajendran, R., Dong, Y., Biswas, G., y Azevedo, R. (2018). How Are Students' Emotions Associated with the Accuracy of Their Note Taking and Summarizing During Learning with ITSs? En R. Nkambou, R. Azevedo, y J. Vassileva (Eds.), *International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 233-242). Springer, Cham. doi:[10.1007/978-3-319-91464-0\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91464-0_23)
- \*Trevors, G., Duffy, M., y Azevedo, R. (2014). Note-taking within MetaTutor: interactions between an intelligent tutoring system and prior knowledge on note-taking and learning. *Educational Technology Research and Development*, 62(5), 507-528. doi:[10.1007/s11423-014-9343-8](https://doi.org/10.1007/s11423-014-9343-8)
- Trevors, G., Feyzi-Behnagh, R., Azevedo, R., y Bouchet, F. (2016). Self-regulated learning processes vary as a function of epistemic beliefs and contexts: Mixed method evidence from eye tracking and concurrent and retrospective reports. *Learning and Instruction*, 42, 31-46. doi:[10.1016/j.learninstruc.2015.11.003](https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.11.003)
- Winne, P. H. (2017). Cognition and metacognition within self-regulated learning. En D.H. Schunk y J.A. Green (Eds.) *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 52-64). Routledge.
- Winne, P. H., y Hadwin, A. F. (2013). nStudy: Tracing and supporting self-regulated learning in the internet. En R. Azevedo y V. Aleven (Eds.), *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies* (pp. 293-307). Nueva York: Springer. doi:[10.1007/978-1-4419-5546-3\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5546-3_20)
- Witherspoon, A., Azevedo, R., y Cai, Z. (2009). Learners' exploratory behavior within MetaTutor. En V. Dimitrova, R. Mizoguchi, B. du Boulay y A. Graesser (Eds.) *Proceedings of the 2009 conference on Artificial Intelligence in Education: Building Learning Systems that Care: From Knowledge Representation to Affective Modelling* (pp. 644-646). Amsterdam, Holanda: IOS Press. doi:[10.3233/978-1-60750-028-5-644](https://doi.org/10.3233/978-1-60750-028-5-644)
- Witherspoon, A. M., Azevedo, R., y D'Mello, S. (2008). The dynamics of self-regulatory processes within self-and externally regulated learning episodes during complex science learning with hypermedia. En B. P. Woolf, E. Aïmeur, R. Nkambou y S. Lajoie (Eds.), *9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 260-269). Berlin, Alemania: Springer. doi:[10.1007/978-3-540-69132-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69132-7_30)
- \*Wortha, F., Azevedo, R., Taub, M., y Narciss, S. (2019). Multiple negative emotions during learning with digital learning environments—Evidence on their detrimental effect on learning from two methodological approaches. *Frontiers in Psychology*, 10, 2678. doi:[10.3389/fpsyg.2019.02678](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02678)
- Zimmerman, B. J. (2008). Investigating self-regulation and motivation: Historical background, methodological developments, and future prospects. *American educational research journal*, 45(1), 166-183. doi:[10.3102/0002831207312909](https://doi.org/10.3102/0002831207312909)