

Inteligencia Artificial en Ambientes de Aprendizaje Ubicuo: Una revisión sistemática de literatura

Artificial Intelligence in Ubiquitous Learning Environments: A systematic literature review

Silvina Unzaga¹, Elena Durán¹, Margarita Álvarez¹

¹ Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina

sunzaga@unse.edu.ar, eduran@unse.edu.ar, alvarez@unse.edu.ar

Recibido: 08/02/2024 | Aceptado: 27/02/2024

Cita sugerida: S. Unzaga, E. Durán, M. Álvarez, "Inteligencia Artificial en Ambientes de Aprendizaje Ubicuo: Una revisión sistemática de literatura," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 37, pp. 30-40, 2024. doi:10.24215/18509959.37.e3.

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

Resumen

El aprendizaje ubicuo (u-learning) se refiere a un aprendizaje en cualquier momento y en cualquier lugar. El u-learning se va difundiendo día a día, al punto tal que hay países donde se ha convertido en un enfoque convencional de enseñanza y aprendizaje, y muchas instituciones lo adoptan cuando los alumnos no pueden asistir a clases presenciales. Por su parte, las Ciencias de la Computación, y concretamente el campo de la Inteligencia Artificial (IA) presenta herramientas y técnicas para apoyar el crecimiento del u-learning y proporcionar recomendaciones, inferir el contexto y las situaciones de aprendizaje, generar perfiles de estudiante y adaptar el contenido, las actividades de aprendizaje, los caminos de aprendizaje, entre otras aplicaciones. El objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de trabajos de IA en entornos de aprendizaje ubicuos entre los años 2013 a 2023, con el objetivo de lograr una visión de la literatura relevante, identificar las brechas y proporcionar un alcance claro para esta área de investigación. Para ello, se aplicó un enfoque ampliamente aceptado y flexible que consta de los siguientes pasos: planificación, ejecución y resumen de resultados. Los artículos se obtuvieron de bases de datos ampliamente utilizadas, a saber, IEEEExplore, ACM, Science Direct, Springer y Google Académico. Se revisaron finalmente un total de 28

publicaciones preseleccionadas para este estudio entre 993 artículos identificados a través de búsquedas en las bases de datos mencionadas. Para refinar la necesidad de la revisión se propuso un marco de análisis bidimensional, compuesto por dos vistas diferentes pero complementarias que captura un aspecto particular de los sistemas de u-learning en los que se aplica IA. A su vez cada vista se descompone en facetas que facilitan la comprensión de un aspecto particular. Considerando cada una de las facetas, los resultados obtenidos muestran que la IA se aplica principalmente para: recomendar contenido a los estudiantes en base a diferentes aspectos, detectar el entorno de aprendizaje ubicuo y reaccionar a los cambios de contextos, recomendar rutas de aprendizaje supervisadas, e inferir el nivel de conocimiento del alumno sobre un tema. Las principales técnicas de IA utilizadas resultaron ser: los agentes inteligentes, las Redes Bayesianas, las ontologías y las Reglas.

Palabras clave: Aprendizaje ubicuo; Inteligencia artificial; Revisión sistemática de literatura; Contexto de aprendizaje; Personalización; Recomendación.

Abstract

Ubiquitous learning (u-learning) refers to learning anytime, anywhere. U-learning is spreading day by day, to

the point that there are countries where it has become a conventional approach to teaching and learning, and many institutions adopt it when students cannot attend face-to-face classes. Computer Science, and specifically the field of Artificial Intelligence (AI), presents tools and techniques to support the growth of u-learning and provide recommendations, infer the context and learning situations, generate student profiles, and adapt the content, learning activities, learning paths, among other applications. The aim of this study was to conduct a systematic review of AI work in ubiquitous learning environments between the years 2013 to 2023, with the aim of gaining insight into the relevant literature, identifying gaps and providing a clear scope for this research area. To achieve this, a widely accepted and flexible approach was applied which consists of the following steps: planning, execution and summary of results. The papers were sourced from widely used databases, namely IEEExplore, ACM, Science Direct, Springer and Google Scholar. A total of 28 publications preselected for this study were finally reviewed among 993 articles identified through searches in the aforementioned database. To refine the need for the review, a two-dimensional analysis framework was proposed. It is composing of two different but complementary views that capture a particular aspect of u-learning systems in which AI can be applied. In turn, each view is broken down into facets to facilitate the understanding of a particular aspect. Considering each facet, the results obtained show that AI is mainly applied to recommend content to students based on different aspects, to detect the ubiquitous learning environment and react to changes in contexts, to recommend supervised learning routes and, to infer the student's level of knowledge on a topic. The main AI techniques used turned out to be: intelligent agents, Bayesian Networks, ontologies and Rules.

Keywords: Ubiquitous learning; Artificial intelligence; Systematic literature review; Learning context; Personalization; Recommendation.

1. Introducción

Dos nuevas tecnologías han irrumpido fuertemente en el mundo en los últimos años, la IA y la Computación Ubicua (CU). La primera de ellas se caracteriza por crear máquinas inteligentes que simulan el razonamiento y comportamiento humanos. En las últimas décadas, la investigación en IA fue creando nuevos métodos y algoritmos para resolver problemas específicos. La convergencia de diferentes avances tecnológicos hizo posible el entrenamiento de algoritmos de aprendizaje automático a costos razonables y se inició una explosión de nuevas aplicaciones prácticas de IA que están teniendo un alto impacto en diferentes ámbitos. Sin embargo, la utilización de las nuevas tecnologías de IA en el campo educativo es aún incipiente y de carácter exploratorio, con un alcance limitado y un impacto modesto. Por su parte, la CU hace referencia a una tecnología profunda que está

inmersa en la vida cotidiana, de forma tal que no se puede distinguir de ella. Muchos campos y dominios de aplicación se benefician de la CU, principalmente tiene un gran potencial en el campo de la educación, donde ha surgido un nuevo paradigma denominado aprendizaje ubicuo (AU). Para hacer posible este aprendizaje, los modelos computacionales requieren aplicar técnicas de IA con diferentes finalidades. Por ejemplo, para inferir el contexto y las situaciones de aprendizaje, para generar perfiles de estudiante y adaptar el contenido, las actividades de aprendizaje, los caminos de aprendizaje, entre otras aplicaciones. En consecuencia, la aplicación de la IA al AU puede generar resultados de alto impacto. Es por eso que, en este trabajo se realizó una Revisión Sistemática de Literatura (RSL) para buscar trabajos relevantes sobre la IA aplicada en los ambientes de AU con el objetivo de lograr una visión de la literatura relevante, identificar las brechas y proporcionar un alcance claro para esta área de investigación.

Un RSL es un método científico que tiene como objetivo ayudar en la realización de investigaciones bibliográficas, buscando identificar evidencias en la literatura de un determinado campo, permitiendo descubrir trabajos relevantes y vacíos existentes en el área en cuestión, con miras a futuras revisiones sistemáticas e identificación de áreas para estudios primarios [1]. Una RSL utiliza un protocolo como proceso formal para identificar evidencia en la literatura de estudios primarios relacionados con una pregunta de investigación (PI), de modo que la evidencia relacionada con esta pregunta se identifique y sintetice para su posterior análisis [1].

Para llevar a cabo la RSL se aplicó un enfoque ampliamente aceptado y flexible adoptado por la comunidad académica para realizar tanto revisiones sistemáticas como mapeos. El enfoque consta de los siguientes pasos: planificación, ejecución y resumen de resultados [1].

2. Trabajos Relacionados

En esta sección se presentan antecedentes de trabajos de revisión sobre AU. Se pueden identificar trabajos que realizan revisiones desde lo conceptual; como, por ejemplo, en [2] se presenta una revisión documental sobre el término AU, para elaborar un análisis crítico que apoye en su desarrollo. Se utilizan como categorías de análisis la noción (origen del AU, desarrollo histórico del enfoque y definición actual), categorización (se refiere a qué categoría o clase mayor pertenece el concepto AU), caracterización (características claves del enfoque teniendo en cuenta la noción y la categorización), diferenciación (se describen los enfoques de aprendizaje cercanos, se definen y se diferencian), clasificación (se determinan los tipos de AU de acuerdo con los criterios seleccionados), ejemplificación (se describe un ejemplo concreto que ilustra la aplicación del AU), y vinculación (se refiere a: ¿Cómo se relaciona el AU con determinadas teorías, procesos sociales-culturales y referentes epistemológicos que están por fuera de la

categorización?). En [3] presentan una revisión de trabajos entre 2014 y 2021, donde recogen definiciones y características del concepto de AU de diferentes autores y en diferentes dominios, analizando aspectos cualitativos tales como: los dispositivos usados, el diseño y desarrollo del sistema, los conceptos, la permanencia y el uso del contexto del estudiante. En [4], presentan una revisión sistemática de la literatura sobre diseño de aprendizaje (LD-Learning design) y análisis de aprendizaje (LA-learning analytics), en m/u-learning. Además de proporcionar una visión general de la investigación actual en el campo, esta revisión saca elementos de terreno común entre ambas comunidades. Las preguntas de investigación en las que se centran son: 1) ¿Cuáles son las definiciones y aspectos de m-learning/u-learning considerados por las comunidades LD y LA?, 2) ¿Cómo fueron los contextos de aprendizaje donde LD y/o LA son soportados por m-learning/u-aprendizaje?. 3) ¿Cómo han apoyado LD y LA al m-learning/u-learning (tipo de contribuciones)?. En [5] realizaron un análisis de la literatura sobre la evolución de los entornos de aprendizaje centrándose en el nuevo paradigma "entorno de aprendizaje ubicuo". Este artículo también pretende proporcionar información específica sobre conceptos de AU y los criterios necesarios en futuras investigaciones. Comienza describiendo brevemente la evolución del entorno de aprendizaje con la comparación de cada uno de los paradigmas de aprendizaje. Finalmente, se expresan definiciones de AU y también se discuten y comparan las características del paradigma de AU para mejorar aún más la comprensión de este concepto.

Hay otras revisiones que se centran principalmente en aspectos del contexto en AU; como por ejemplo en [6] donde se presenta una revisión sistemática de literatura para establecer un cuerpo de conocimiento que describa los componentes claves de las aplicaciones de aprendizaje móvil conscientes del contexto que incluye; extracción y representación de información de contexto, adaptación al contexto y diferentes tipos de aplicaciones desarrolladas. En [7], investigan los entornos de AU contextualizados para conocer los servicios educativos y los tipos de contexto utilizados en estos ambientes. En [8] realizan un estudio de revisión desde 2012 al 2019, donde buscan identificar el contexto educativo en el que se aplicó AU y evaluar qué tecnologías se utilizan para analizar el proceso de aprendizaje. En [9] presentan una revisión de mapeo sistemático que se centra en el análisis consciente del contexto y su enfoque de los procesos de aprendizaje en el aprendizaje móvil (m-learning) y el AU. Además, el estudio identifica variables que se han utilizado en la última década para análisis de conciencia del contexto y que se han aplicado a esos procesos de aprendizaje; especialmente en las adaptaciones de los sistemas a los estilos de aprendizaje y características específicas de los estudiantes. En [10] realizan una revisión cuyo objetivo fue identificar criterios para entornos de AU y resumir los conocimientos en esta área de investigación. La revisión responde a las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿cuáles son los criterios para entornos de AU y 2) ¿qué tipos de entornos de AU se han informado? Los criterios

para entornos de AU encontrados incluyen conciencia del contexto, interactividad, personalización y flexibilidad; y en relación a los tipos de entornos se analizaron los componentes, contenidos y resultados de los entornos de aprendizaje ubicuos.

Hay trabajos que revisan aspectos tecnológicos de AU, tales como [11], donde se plantea un estudio para conocer los distintos niveles de inteligencia incorporados en las contribuciones. En este sentido, en primer lugar, en este artículo se informa sobre una revisión de los desarrollos de infraestructura para el AU. A continuación, este informe aborda varios temas abiertos, problemas y requisitos, desafíos tecnológicos y mejoras potenciales dentro del alcance del entorno de AU y el entorno de aprendizaje asistido por IA. En [12], se presenta una revisión de literatura y se exponen las implicancias del aprendizaje ubicuo en sistemas de información de una manera colaborativa, y se cubren las ventajas de un entorno de aprendizaje colaborativo con los beneficios de la computación ubicua y la flexibilidad de los nuevos dispositivos tecnológicos digitales.

Otras investigaciones se centran más en aspectos bibliométricos, como en [13], donde se presenta una exploración que aborda las investigaciones, entre 2010 y 2013, sobre aprendizaje móvil y AU y, cómo se involucran en las investigaciones publicadas en las principales revistas. El estudio busca responder a las siguientes preguntas: ¿Cuántas investigaciones de aprendizaje móvil y de AU se publicaron en las revistas seleccionadas? ¿Qué tipos de grupos de muestra se eligieron en los estudios de investigación? ¿Qué tipos de dominios de aprendizaje se seleccionaron en los estudios de investigación? ¿Qué países importantes contribuyeron al área de aprendizaje móvil y ubicuo? ¿Qué métodos de investigación se estaban empleando para estudiar el aprendizaje móvil y AU?

Otras revisiones se centran en la aplicación del aprendizaje ubicuo, tales como el trabajo de [14] donde se realiza una revisión sistemática, entre los años 2010 a 2017, y se analiza la naturaleza, aplicación y evolución del AU a lo largo de un estudio longitudinal, donde reúne, clasifica y caracteriza los enfoques para revelar rasgos laborales, patrones resultantes y tendencias del campo. Estos cinco resultados se basan respectivamente en una colección representativa, una taxonomía propuesta, un patrón sugerido, interpretaciones estadísticas, hallazgos de minería y análisis crítico. En [15] se presenta una revisión de la literatura sobre el AU, destacando los impactos de este paradigma en la práctica educativa, buscando combinar este paradigma con las teorías del aprendizaje social. Revisa los trabajos en función de las relaciones que se originan en el triángulo didáctico profesor-estudiante-aprendizaje. En [16] revisa la literatura relacionada con la efectividad del AU y en línea, los desafíos que enfrentan las partes interesadas y las posibles estrategias y tecnologías que pueden usarse para garantizar resultados de aprendizaje favorables. En [17] se aborda la siguiente pregunta de investigación de amplio alcance: ¿Cómo se pueden sintetizar los formatos de aprendizaje móvil y

ubicuo en la educación superior de acuerdo con sus fundamentos teóricos y en qué medida están vinculadas estas categorías a diferentes resultados educativos?

En relación a trabajos de revisión más específicos, que muestran aplicaciones del aprendizaje ubicuo en diferentes dominios se puede mencionar a [18], que explora los avances pedagógicos más recientes en una revisión bibliográfica sistemática sobre cursos de inglés basados en aprendizaje ubicuo colaborativo, multimodales en la educación superior. También en [19] se presenta una revisión del paradigma de enseñanza ubicuo dentro del área específica del inglés universitario como lengua extranjera, considerando para ello: conceptos básicos, la base teórica, los enfoques de investigación y señala la tendencia del paradigma del inglés universitario en la era u-learning. En [20] presentan un estudio que tiene como objetivo investigar el impacto del entorno de aprendizaje ubicuo (EAU) en la participación y satisfacción de los estudiantes en aulas invertidas. El estudio también ha proporcionado información sistemática y transparente sobre el proceso de desarrollo. El EAU se generó en el contexto de la histotecnología según la revisión. Los datos recopilados de 115 estudiantes se recogieron electrónicamente y se analizaron estadísticamente. Los resultados mostraron una disminución de la popularidad de la EAU en las instituciones de educación superior. Además, el nivel de compromiso y satisfacción aumentó entre los estudiantes con el uso de EAU con mejoras significativas en sus conocimientos. El estudio concluye en el hecho de que el EAU es eficaz y válido, en comparación con el entorno convencional en la carrera de ciencias de laboratorio biomédico. En [21] investiga la apropiación de la tecnología de detección en el AU consciente del contexto (CAUL) en los campos de las ciencias, la ingeniería y las humanidades. Se han revisado sistemáticamente y analizado temáticamente 40 estudios empíricos con resultados de aprendizaje concretos en la educación obligatoria y superior con un enfoque de enseñanza y aprendizaje basado en resultados. Se han encontrado cuatro temas derivados que describen el diseño y la implementación de CAUL, incluido el enfoque centrado en el alumno, la facilitación tecnológica, la ecología del aprendizaje y la investigación.

En [22] se presenta un marco multidimensional para estudiar orientación accesible en sistemas de u-learning para estudiantes discapacitados, basado en cuatro diferentes vistas (conciencia del contexto, adaptación y accesibilidad). El marco fue usado para revisar seis trabajos sobre sistemas de AU que se ocupan de la orientación y/o el aprendizaje para personas con discapacidad y/o sin discapacidad.

El único trabajo encontrado que revisa la vinculación entre la IA y el u-learning es [23]. La revisión sistemática y el meta análisis propuestos por los autores tienen dos objetivos principales: 1) Presentar la evolución de los trabajos de IA en el u-learning para trazar el terreno para futuros estudios científicos. 2) Resaltar y analizar las áreas de aplicación específicas de los algoritmos de IA predominantes en el u-learning. Se preseleccionaron para

este estudio un total de 16 publicaciones de investigación científica a partir de 330 artículos identificados mediante búsquedas en bases de datos publicados entre los años 2015 y 2020.

3. Método

Para llevar a cabo el RSL, hemos aplicado un enfoque ampliamente aceptado y flexible adoptado por la comunidad académica para realizar tanto revisiones sistemáticas como mapeos. El enfoque consta de los siguientes pasos: planificación, ejecución y síntesis de resultados [1].

En la etapa de planeación, en base a los lineamientos aportados en [1] se redacta un protocolo para revisión, que incluye, además del objetivo de la revisión, las preguntas que guían la investigación, la identificación de las fuentes, la definición de criterios de inclusión y exclusión, y los criterios de calidad. En la etapa de ejecución, se establecen las cadenas de búsqueda y se aplican las mismas en las distintas fuentes, registrando los resultados obtenidos, que responden a los criterios de inclusión y exclusión definidos. En esta etapa también se aplican los criterios de calidad a los resultados elegibles. Finalmente, en la etapa de síntesis de resultados se analizan los documentos elegibles y se sintetizan los hallazgos en relación a las preguntas de investigación.

3.1. Planeación de la revisión

En este trabajo la necesidad de la revisión se expresa como: *Realizar una Revisión sistemática de trabajos científicos, publicados en los últimos diez años, sobre el uso de Inteligencia Artificial en ambientes de u-learning, para conformar un marco de referencias para posteriores investigaciones y desarrollos.*

Para refinar la necesidad de la revisión se propone un marco de análisis bidimensional, que permite estudiar el uso de la IA en AU. El propósito de este marco es ser una herramienta intelectual y conceptual para analizar el estado del arte de diferentes trabajos sobre u-learning, y resaltar los puntos esenciales. Este marco está compuesto por dos vistas diferentes pero complementarias. Cada vista captura un aspecto particular de los sistemas de u-learning en los que se puede aplicar IA. A su vez cada vista se descompone en facetas que facilitan la comprensión de un aspecto particular.

Vista 1: Awareness. Esta vista hace referencia a la sensibilidad del sistema de u-learning. Comprende las siguientes facetas

Faceta 1: Sensibilidad al contexto. Indica si el sistema es sensible a los elementos del contexto de aprendizaje.

Faceta 2: Sensibilidad a la situación. Indica si el sistema es sensible a la situación de aprendizaje; para ello se consideran las situaciones de aprendizaje en u-learning definidas en [24].

Vista 2: Personalización. Esta vista hace a la capacidad del sistema para adaptarse al usuario. Comprende las siguientes facetas

Faceta 1. Perfilado del estudiante. Indica si el sistema infiere características que hacen al perfil del estudiante.

Faceta 2. Recomendaciones/Adaptaciones. Indica si el sistema realiza recomendaciones al estudiante, en alguno de los siguientes tipos; de contenido, de actividades o tareas, de compañeros o grupos de trabajo, etc.

Las preguntas de investigación es la parte más importante e impulsan la investigación, ya que la búsqueda y extracción de elementos en la investigación debe responder a las preguntas planteadas. Para formular las preguntas de investigación nos hemos basado en las facetas del marco de análisis definido anteriormente. La revisión responde a las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Se usan técnicas de IA para inferir el contexto de aprendizaje en sistemas de u-learning? ¿Qué técnicas se usan? ¿Qué aspectos del contexto se infieren?
- 2) ¿Se usan técnicas de IA para inferir situaciones de aprendizaje en sistemas de u-learning? ¿Qué técnicas se usan? ¿Qué situaciones de aprendizaje se infieren?
- 3) ¿Se usan técnicas de IA para inferir características del perfil del estudiante en sistemas de u-learning? ¿Qué técnicas se usan? ¿Qué características del perfil se infieren?
- 4) ¿Se usan técnicas de IA para realizar recomendaciones en sistemas de u-learning? ¿Qué técnicas se usan? ¿Qué se recomienda?

Las fuentes de búsqueda elegidas fueron: ACM, Science Direct, Springer, IEEE Xplore y Google académico.

Se eligieron las mismas por ser las más relevantes en las temáticas de Informática-Computación. Por otra parte, las CATEGORÍAS DE BÚSQUEDA seleccionadas fueron: Revistas, Capítulos de Libro y Conferencias. Se resuelve buscar en los campos de título, resumen, y palabras clave.

3.2. Ejecución de la revisión

El objetivo de una revisión sistemática es encontrar tantos estudios primarios relacionados con las preguntas de investigación como sea posible utilizando una estrategia de búsqueda. Esta se puede obtener dividiendo las preguntas de investigación en facetas individuales y mediante una lista de sinónimos, abreviaturas y ortografías alternativas. Luego, se construyen cadenas de búsqueda sofisticadas usando AND, OR y NOT booleanos.

Para este trabajo se definieron las siguientes cadenas de búsquedas derivadas de las preguntas de investigación:

- ubiquitous learning AND Artificial Intelligence
- u-learning AND Artificial Intelligence
- ubiquitous learning AND context acquisition

- ubiquitous learning AND personalization

Una vez que se han obtenido los estudios primarios potencialmente relevantes, deben ser evaluados por su relevancia real. Para ello, se aplicaron los siguientes criterios:

a) criterios de inclusión: Sólo artículos publicados entre 2013 y 2023.

b) criterios de exclusión: Se excluirán aquellos artículos que no explicitan al menos unos de los aspectos del análisis bidimensional definido anteriormente.

En la Tabla 1 se sintetiza los totales de artículos recuperados, excluidos y aceptados por fuente.

Tabla 1. Total de artículos por fuente

Fuente	CANT. DE ARTÍC. RECUP.	CANT. DE ARTÍC. RECUP. Y EXCL.	CANT. DE ARTÍC. RECUP. Y ACEP
IEEEExplore	165	152	12
ACM	2	1	1
Science Direct	205	201	3
Google Académico	617	606	11
Springer	4	3	1

Para documentar la extracción de datos se diseñó un formulario donde se registró con precisión toda la información necesaria para abordar las preguntas de revisión y los criterios de calidad del estudio. Se consideró fundamental evaluar la "calidad" de los estudios primarios recuperados para [1]:

- Proporcionar criterios de inclusión/exclusión aún más detallados.
- Para investigar si las diferencias de calidad proporcionan una explicación para las diferencias en los resultados del estudio.
- Para ponderar la importancia de los estudios individuales cuando los resultados se sintetizan.
- Para guiar la interpretación de los hallazgos y determinar la fuerza de las inferencias.
- Para guiar las recomendaciones para futuras investigaciones.

La calidad se evaluó utilizando las herramientas de evaluación crítica, del Instituto Joanna Briggs, para estudios descriptivos o cuasiexperimentales o estudios

experimentales no aleatorios [25]. La calidad se cuantificó asignando puntuaciones de 0 o 1 punto por faceta. Se asignó 1 punto si el artículo mencionaba, en el estudio, la faceta con la explicitación de la Técnica de IA; 0,5 si sólo mencionaba la faceta, y 0 si no mencionaba ninguna de las dos o la mención no era clara. El estudio fue incluido para revisión si tuvo al menos un punto del total de 4 puntos (por ser 4 las facetas). Con los artículos que superaron el puntaje establecido se construyeron dos Tablas, una por la vista de Awareness (Tabla 2) y otra para la vista de Personalización (Tabla 3).

Tabla 2. Awareness

Cita	Contexto de Aprendizaje		Situaciones de Aprendizaje	
	Aspectos del contexto inferidos	Técnicas de IA	Situaciones de aprendizaje inferidas	Técnicas de IA
[26]	Detectar el entorno de AU y reaccionar a los cambios de contextos.	Agentes Inteligentes		
[27]			Recomienda rutas de aprendizaje supervisadas.	Redes neuronales
[28]	Inferir el dominio de aprendizaje y el dominio tecnológico.	Ontologías Reglas		
[29]	Detectar el entorno de AU e inferir los recursos de aprendizaje en ambientes de AU	Agentes inteligentes Ontologías		
[30]	Detectar e inferir el contexto para proporcionar servicios adecuados para diferentes perfiles	Árboles de decisión		
[31]	Facilitar la comunicación en línea entre profesores y estudiantes.	Función Lambda, Power Automatic		
[32]			Recomendar estrategias de autorregulación metacognitivas y rutas de aprendizaje supervisadas	Planning
[33]			Recomendar rutas de aprendizaje supervisadas	Planning

Cita	Contexto de Aprendizaje		Situaciones de Aprendizaje	
	Aspectos del contexto inferidos	Técnicas de IA	Situaciones de aprendizaje inferidas	Técnicas de IA
[34]			Recomendar rutas de aprendizaje supervisadas	Maximized Objective Navigation Support. Función fitness
[35]	Producir contextos de aprendizaje generados de manera inteligente a partir del análisis de contenido visual de imágenes de registros de vida, como datos del sensor.	Redes neuronales		
[36]	Adaptar nuevos contextos a través de un sistema de múltiples robots que aprenden de demostraciones, memorizan contextos de aprendizaje y autoorganizan sus partes.	Robótica		
[37]	Modelar la interacción colaborativa entre estudiantes en un entorno de AU.	Agentes Inteligentes		

Tabla 3. Personalización

Cita	Perfilado		Recomendación/Adaptación	
	Características del Perfil que se infieren	Técnicas de IA	Elementos que se recomiendan o adaptan	Técnicas de IA
[26]			Recomienda contenido en base a los estilos de aprendizaje y las ubicaciones.	Agentes Inteligentes
[38]	Infiere nivel de conocimiento de un tema dado y las habilidades	Redes bayesianas Ontologías Reglas	Adapta y personaliza los contenidos educativos	Ontologías Reglas

Cita	Perfilado		Recomendación/Adaptación		Cita	Perfilado		Recomendación/Adaptación	
	Características del Perfil que se infieren	Técnicas de IA	Elementos que se recomiendan o adaptan	Técnicas de IA		Características del Perfil que se infieren	Técnicas de IA	Elementos que se recomiendan o adaptan	Técnicas de IA
	de los estudiantes.		según las necesidades reales de cada alumno						
[39]			Adaptación de la presentación, de curso, navegación y secuencia..	Algoritmos de adaptación					
[40]	Inferir diferencias individuales entre los estudiantes.	Técnicas de minería de datos	Recomienda contenidos multimedia en base a los conocimientos cognitivos, aspectos sociales, colaborativos y contextuales.	Algoritmos de adaptación.					
[41]			Recomienda contenido en base a los estilos de aprendizaje, estilo y estado cognitivo y contextuales.	Reglas					
[28]	Relacionada al perfil infiere preferencias y comportamiento del usuario.	Ontologías							
[29]			Se recomienda contenido basados en similitudes obtenidas en agrupaciones surgidas en la red social del campus.	Clustering					
[42]	Mantener los perfiles de los estudiantes y sus acciones históricas.	Agentes Inteligentes	Recomienda Objetos de Aprendizaje	Agentes Inteligentes					
[43]			Se recomienda contenido y rutas de aprendizaje.	Redes Bayesianas					
[44]	Modela ambientes de AU donde tanto docentes como estudiantes son conscientes de los procesos de enseñanza	Ontologías Redes Bayesianas							
							aprendizaje.		
[45]							Modela los patrones de navegación de los estudiantes y otros datos relevantes que son interpretados por el profesor para mejorar el contenido y desarrollo del curso.	Linear Discriminant Analysis, KNN, Naïve Bayes	
[46]							Genera un modelo de estudiante que describe el estado cognitivo del mismo (características y comportamiento del alumno).	Redes Bayesianas Ontologías	Recomienda contenido (Objetos de Aprendizaje personalizados). Técnicas de aprendizaje de máquina
[47]									Recomienda contenido (Objetos de Aprendizaje personalizados) Agentes Inteligentes
[48]									Se recomienda contenido en base a las características personales, la localización, comportamiento y la especificación del dispositivo del estudiante. Ontologías
[49]							Estudio de expresión de los rostros de alumnos.	Redes Neuronales Algoritmos SAW	Recomienda contenidos multimediales. Redes Neuronales Algoritmos SAW
[50]							Estimar los estados psicológicos de los alumnos en línea.	Redes neuronales	
[51]									Recomienda actividades contextualizadas. Reglas

Cita	Perfilado		Recomendación/Adaptación	
	Características del Perfil que se infieren	Técnicas de IA	Elementos que se recomiendan o adaptan	Técnicas de IA
[52]			Recomienda información de Internet, basado en etiquetado de la información.	Clustering
[53]			Recomienda contenido	Filtrado híbrido colaborativo

3.3. Síntesis de la revisión

La síntesis se formula a partir de analizar las Tabla 2 y 3 en relación a las preguntas de investigación formuladas.

Se observa que para la faceta *Inferir el contexto de aprendizaje en sistemas de u-learning*, la mayor aplicación de técnicas de IA se concreta para, detectar el entorno de aprendizaje ubicuo y reaccionar a los cambios de contextos; y las técnicas más usadas en esta faceta son Agentes inteligentes y ontologías.

Para la faceta *Inferir situaciones de aprendizaje* que se le ofrecen al estudiante, el mayor uso de las técnicas de IA se concreta para recomendaciones de rutas de aprendizaje y no se observa una técnica de IA predominante en los artículos analizados.

Para la faceta de *Perfilado del estudiante*, la principal aplicación de técnicas de IA se da para inferir el nivel de conocimiento de un tema dado, y las técnicas más usadas son las Redes Bayesiana y las Ontologías.

Finalmente, para la faceta de *Recomendación/Adaptación*, se observa que el uso de técnicas de IA se da mayoritariamente para recomendar contenido de aprendizaje, y las técnicas más usadas son Agentes inteligentes y Reglas.

Conclusiones

Este trabajo se llevó adelante con el fin de realizar una revisión sistemática de trabajos científicos, publicados en los últimos diez años, sobre el uso de Inteligencia Artificial en ambientes de u-learning, para conformar un marco de referencias para posteriores investigaciones y desarrollos. Para ello hemos propuesto un marco de análisis bidimensional. El propósito de este marco es ser una herramienta intelectual y conceptual para analizar el estado del arte de diferentes trabajos sobre u-learning, y resaltar los puntos esenciales. Este marco está compuesto por dos vistas diferentes pero complementarias: Awareness y Personalización, que representan aspectos particulares de los sistemas de AU en los que se puede aplicar IA. A su vez cada vista se descompone en facetas

que facilitan la comprensión de ese aspecto particular. Así, para la vista de Awareness, se definieron las facetas de Sensibilidad al contexto y Sensibilidad a la situación de aprendizaje; y para la vista de Personalización, se definieron las facetas de Perfilado del estudiante y Personalización/Recomendación.

El beneficio de esta revisión es triple. En primer lugar, ayuda a comprender y analizar en profundidad para qué aspectos del u-learning se utilizan técnicas de IA, y cuáles son las técnicas empleadas para ello.

En segundo lugar, la revisión permitió clasificar los trabajos encontrados en función de las cuatro facetas previamente establecidas.

En tercer lugar, ayuda a identificar los avances y las tendencias del uso de IA en sistemas de u-learning.

Referencias

- [1] B. Kitchenham et al. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Version 2.3. EBSE Technical Report, Software Engineering Group, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, UK and Department of Computer Science, University of Durham, Durham, UK, 2007
- [2] B. Velazquez Gatica, R. E. Lopez Martínez, "Critical analysis of the concept ubiquitous learning" through conceptual cartography". Revista de Educación a Distancia vol. 21, nro 66, pp, 2-28, 2021. <https://doi.org/10.6018/RED.430841>
- [3] M. Guettala, S. Bouekkache and O. Kazar, "Ubiquitous learning a new challenge of ubiquitous computing: state of the art," 2021 International Conference on Information Systems and Advanced Technologies (ICISAT), pp. 1-5, 2021.
- [4] Gerti Pishtari, M. J. Rodríguez-Triana, E. M. Sarmiento-Márquez. "An Overview of Learning Design and Analytics in Mobile and Ubiquitous Learning". Chapter in Advances in Web-Based Learning – ICWL 2019, Vol. 11841, 2019.
- [5] Tahir, Z.M., Haron, H., Kaur, J., 2018. . 7(3Ubiquitous learning environment and technologies: A review. International Journal of Engineering and Technology(UAE)), pp. 31-35
- [6] Kumar, B.A., Sharma, B. "Context aware mobile learning application development: A systematic literature review". *Educ Inf Technol* vol. 25, p.p. 2221–2239, 2020.
- [7] Á. R. Lopes, D. C. de Oliveira, R. C. de Sousa Aguiar and R. T. Vaccare Braga, "Context-aware ubiquitous learning: Literature systematic mapping on ubiquitous learning environments," International Symposium on Computers in Education (SIIE), 2017,pp. 1-6.
- [8] F. P. Mota, F. P. Tôledo, V. Kwecko, S. Devincenzi, P. Núñez and S. S. da C. Botelho, "Ubiquitous Learning: ASystematic

- Review," *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2021, pp. 1-9.
- [9] P. Vallejo-Correa, J. Monsalve-Pulido y M. Tabares-Beta. "A systematic mapping review of context-aware analysis an approach to mobile learning and ubiquitous learning proces" *Computer Science Review*, 2020
- [10] M. A. Virtanen, E. Haavisto, E. Liikanen, M. Kääriäinen. "Ubiquitous learning environments in higher education: A scoping literature review". *Education and Information Technologies*, 23, 985–998, 2018.
- [11] Kanagarajan, S., Ramakrishnan, S., "Ubiquitous and Ambient Intelligence Assisted Learning Environment Infrastructures Development - a review". *Education and Information Technologies*. 23(1), pp. 569-598, 2018.
- [12] J. Díaz and C. Rusu, "Ubiquitous Computer-Supported Collaborative Learning: A Literature Review," 11th International Conference on Information Technology: New Generations, 2014, pp. 593-598,
- [13] Gunay, A., Yakin, I. The status of mobile and ubiquitous learning: A content review of the recent researches. 2014, *Ubiquitous Learning* 6(3), pp. 35-45.
- [14] L. Cárdenas Robledo y A. Peña Ayala. "Ubiquitous learning: A systematic review". *Telematics and Informatics*. Elsevier. Volume 35, Issue 5, August 2018, p.p. 1097-1132.
- [15] Sousa Monteiro, B., Gomes, A.S.. "Ubiquitous technologies and the emergence of new learning experiences", in *Technology Platform Innovations and Forthcoming Trends in Ubiquitous Learning*, 2013, pp. 142-159.
- [16] A. Schwartz, D. Peterson, W. Rodriguez. "Investigating the effectiveness of ubiquitous learning environments". *Ubiquitous Learning and International Journal*. 9(4), pp. 55-71, 2017.
- [17] C. Pimmer, M. Mateescu, U. Gröbhiel. "Mobile and ubiquitous learning in higher education settings. A systematic review of empirical studies". *Computers in Human Behavior*. Vol 63, pp 490-501, 2016
- [18] S. García-Sánchez, R. Clouet. "Collaborative ubiquitous learning and multimodal communication in english language courses: A systematic review". *Intercultural Communication and Ubiquitous Learning in Multimodal English Language Education*. 2022, pp. 1-19. ISBN 978-179988854-3, 978-179988852-9
- [19] W. Li, "College English Paradigm in the Ubiquitous Learning Era: A Literature Review,". *International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*, 2021, pp. 784-786, doi: 10.1109/ICITBS53129.2021.00195.
- [20] S.H.A. Hamza, S.S. Alotaibi, "Impact of ubiquitous learning environment on student engagement and satisfaction in flipped classrooms ubiquitous learning environment". *International Journal of Advanced Science and Technology*. vol. 29. nro 7 (Special Issue), pp. 555-564, 2020.
- [21] V. Lin, G.Z. Liu, G. J. Hwang, N. S. Chen, C. Yin. "Outcomes-based appropriation of context-aware ubiquitous technology across educational levels". *Interactive Learning Environments*. vol. 30, nro 8, pp. 1515-1538, 2022.
- [22] N. Ben Salah, I. Bayouhd Saadi, H. Ben Ghezala. "A multidimensional framework to study accessible guidance in u-learning systems for disabled learners". *Procedia Computer Science*. Elsevier. vol. 176, pp. 490-499, 2020.
- [23] C. Sam, N. Naicker, M. Rajkoomar . "Meta-analysis of artificial intelligence works in ubiquitous learning environments and technologies". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. vol. 11. nro 9, pp. 603-613, 2020.
- [24] G-J. Hwang. "Criteria and Strategies of Ubiquitous Learning". *Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'06)*. IEEE. 2006
- [25] J. Briggs. "Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual:2015. Methodology for JBI Scoping Reviews". The Joanna Briggs Institute. The University of Adelaide South Australia, 2015.
- [26] M. Guettala, S. Bouekkache, O. Kazar, S. Harous, B. Athamena and Z. Houhamdi, "Cloud ubiquitous learning approach based on multi-agents system," 2022 International Arab Conference on Information Technology (ACIT), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2022, pp. 1-8.
- [27] P. -H. Lin and S. -Y. Chen, "Design and Evaluation of a Deep Learning Recommendation Based Augmented Reality System for Teaching Programming and Computational Thinking," in *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 45689-45699.
- [28] A. M. Pernas, A. C. Yamim, J. L. Lopes, J. Palazzo M. de Oliveiras, "A Semantic Approach for Learning Situation Detection", *IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2014.
- [29] Y. Atif and S. Mathew, "A Social Web of Things Approach to a Smart Campus Model," *IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, Beijing, China, 2013, pp. 349-354, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCom.2013.77.
- [30] A. Belahcen, M. Abik and R. Ajhoun, "Knowledge construction in the Connectivist Learning Environment — CLE, 2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), Antalya, Turkey, 2013, pp. 1-8, doi: 10.1109/ITHET.2013.6671027.
- [31] C. Serbana, I. A. Todericiu. "Alexa, What classes do I have today? The use of Artificial Intelligence via Smart Speakers in Education". In *Procedia Computer Science*. 2020, vol. 176, pp. 2849-2857. 24th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering System.
- [32] L. A. Cárdenas-Robledo , A. Peña-Ayala. "A holistic self-regulated learning model: A proposal and application in ubiquitous-learning". *Expert Systems with Applications*. 2019. Vol. 123, pp. 299-314.
- [33] B. Fernández-Reuter, E. Durán and A. Amandi, "Designing a hybrid method for personalized ubiquitous

- learning paths generation," *2017 36th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*, Arica, Chile, 2017, pp. 1-9
- [34] T-Y. Hsu, C-K. Chiou, J. C.R. Tseng, and G-J. Hwang, "Development and Evaluation of an Active Learning Support System for Context-Aware Ubiquitous Learning", *IEEE Transaction on Learning Technologies*, Vol. 9, Nro. 1, 2016.
- [35] M. N. Hasnine, G. Akçapınar, K. Mouri and H. Ueda, "An Intelligent Ubiquitous Learning Environment and Analytics on Images for Contextual Factors Analysis", *Applied Sciences*, 10 (24), 8996, 2020
- [36] N. Verstaevel, C. Régis, V. Guivarch, M. P. Gleizes, F. Robert. "Extreme Sensitive Robotic A Context-Aware Ubiquitous Learning". *International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2015)*, 2015, Lisbonne, Portugal. pp.242-248
- [37] P. Temdee, "Agent-based modeling of collaborative interaction in ubiquitous learning environment using local dynamic behavior". *Artif Life Robotics*, vol 21, pp.215–220, 2016.
- [38] H. N. M. Ferreira, T. Brant-Ribeiro, R. D. Araújo, F. A. Dorça and R. G. Cattelan, "An Automatic and Dynamic Knowledge Assessment Module for Adaptive Educational Systems," *IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Timisoara, Romania, 2017, pp. 517-521,
- [39] E. Gilman, I. S. Milara, M. Cortés and J. Riecki, "Towards User Support in Ubiquitous Learning Systems," in *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 8, no. 1, pp. 55-68, 2015,
- [40] R. D. Araújo, R. G. Cattelan and F. A. Dorça, "Towards an Adaptive and Ubiquitous Learning Architecture," *IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Timisoara, Romania, 2017, pp. 539-541.
- [41] Inssaf El Guabassi, Zakaria Bousalem, Mohammed Al Achhab, Ismail Jellouli Badr Eddine EL Mohajir. "Personalized adaptive content system for context-aware ubiquitous learning". In *Procedia Computer Science*, Volume 127, 2018, Pages 444-453, 2018.
- [42] P. Temdee, "Ubiquitous Learning Environment: Smart Learning Platform with Multi-Agent Architecture" *Wireless Pers Commun*, vol. 76, pp. 627–641, 2014.
- [43] O. S. Adewale, O. C. Agbonifo, E. O. Ibam, A. I. Makinde, O. K. Boyinbode, B. A. Ojokoh, O. Olabode, M. S. Omirin, S. O. Olatunji. "Design of a personalized adaptive ubiquitous learning system", *Interactive Learning Environments*, 2022. DOI:10.1080/10494820.2022.2084114
- [44] H. N. M. Ferreira, R. D. Araújo, F. A. Dorça and R. G. Cattelan, "Open student modeling for academic performance visualization in Ubiquitous Learning Environments," *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Canada, 2017, pp. 641-646.
- [45] S. Anuradha. "Based Ubiquitous Smart Learning Educational Environments." *Artificial Intelligence Theory, Models, and Applications*. Taylor y Francis Group, 2021, ISBN del libro electrónico 9781003175865
- [46] R. D. Araújo, H. N. M. Ferreira, R. G. Cattelan and F. A. Dorça, "A Hybrid Architecture for Adaptive, Intelligent, and Ubiquitous Educational Systems", *Tecnologías digitales y diseño instruccional para el aprendizaje personalizado*, IGI GLOBAL, 2018.
- [47] R. V. Cavalcante Frade, F. M. Mendes Neto and R. Castro de Souza Source "Blended Learning: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications", Copyright: © 2017 |
- [48] A. Vasilateanu, M. Goga, "A semantic approach for a ubiquitous learning systems", *ICERI 2016 Proceedings*, pp. 7121-7125.
- [49] M. Ashar, H. A. Rosyid, A. R. Taufani, and K. R. Nasir, "Ubiquitous Learning Environment for Smart Improving Disruption Activities in Classroom on Media", *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 14, no. 13, pp. 200–212, 2020.
- [50] X. Zhou, G. Dai, S. Huang, X. Sun, F. Hu, H. Hu, M. Ivanović, "CyberPsychological Computation on Social Community of Ubiquitous Learning", *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2015, Article ID 812650, 7 pp., 2015.
- [51] P.Y. Gicquel, D. Lenne, C. Moulin. "Using Semantic Proximities to Control Contextualized Activities during Museum Visits". In: Lane, H.C., Yacef, K., Mostow, J., Pavlik, P. (eds) *Artificial Intelligence in Education. AIED 2013*, vol 7926. Springer, Berlin.
- [52] Y. Zhang, H. Zhang, "The Development of Intelligent Education and Teachers' Professional Informatization Led by an Intelligent Ubiquitous Network", *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, Article ID 3997080, 12 pages, 2022.
- [53] C. Valliyammai, S. E. Thendral, V. Muthuvalliammai, S. Anandhavalli and K. M. Madhumathi, "Hadoop framework based ubiquitous learning," *Seventh International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, Chennai, India, 2015, pp. 1-5.

Información de Contacto de los Autores:

Silvina Isabel Unzaga
 Av. Belgrano (S) 2933
 Santiago del Estero
 Argentina
sunzaga2016@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5100-5544>

Elena Beatriz Duran
 Islas Malvinas 785|
 Santiago del Estero

Argentina
elebeadur@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3978-5194>
Margarita María Álvarez
Castiglione 606
Santiago del Estero
Argentina
alvarez@unse.com
<https://orcid.org/0000-0002-9582-1818>

Silvina Isabel Unzaga

Master en Ingeniería del Software por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Profesor Adjunto en la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Elena Beatriz Durán

Dra. en Ciencias de la Computación por la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Master en Ingeniería del Software por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Especialista en Enseñanza de la Educación Superior. Profesor Titular en la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Margarita María Álvarez

Master en Ingeniería del Software por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Especialista en Docencia Universitaria por la Universidad Nacional de Cuyo. Profesor Titular en la Universidad Nacional de Santiago del Estero.