

Educación y alfabetización científica del agua mediante robótica educativa a través de un análisis mixto

Water science education and literacy using educational robotics through mixed analysis

Alejandro De la Hoz Serrano¹, Lina Viviana Melo Niño¹,
Nuno Miguel Taborda Cid Dorotea², Florentina Cañada Cañada¹,
Javier Cubero Juárez¹

¹ Universidad de Extremadura, España

² Universidade de Lisboa, Portugal

alexdlhoz@unex.es , lvmelo@unex.es , nmdorotea@ie.ulisboa.pt , flori@unex.es ,
jcubero@unex.es

RESUMEN. La Educación y Alfabetización científica del Agua es uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Además, el empleo de herramientas educativas digitales que mejoren este aprendizaje es vital en todas las etapas educativas. El estudio tiene como objetivo analizar el aprendizaje del Ciclo del Agua, antes y después de una intervención basada en Robótica Educativa. Para ello, se emplea un diseño quasi-experimental y enfoque mixto sobre una muestra de 15 docentes en formación. Los resultados muestran que el nivel de conocimiento científico mejoró significativamente de Problemático (48.36%) a Excelente (83.36%). Además, el análisis de las Redes Asociativas de Cognición refleja una mayor comprensión y capacidad de conexión entre conceptos, así como una distribución y agrupación más coherente. Por tanto, se aboga por un incremento de intervenciones basadas en Robótica Educativa, así como por el aumento de estudios mixtos que engloben análisis de grafos para complementar la evaluación del aprendizaje.

ABSTRACT. Water education and literacy is one of the greatest challenges of the 21st century. Furthermore, the use of digital educational tools that improve this learning is vital at all stages of education. The study aims to analyze learning about the water cycle before and after an intervention based on Educational Robotics. To this end, a quasi-experimental design and mixed approach are used on a sample of 15 pre-service teachers. The results show that the level of scientific knowledge improved significantly from Problematic (48.36%) to Excellent (83.36%). In addition, the analysis of Associative Cognition Networks reflects a greater understanding and ability to connect concepts, as well as a more coherent distribution and grouping. Therefore, we advocate for an increase in interventions based on Educational Robotics, as well as an increase in mixed studies that include graph analysis to complement the evaluation of learning.

PALABRAS CLAVE: Cognición, Educación científica, Educación Superior, Educación tecnológica.

KEYWORDS: Cognition, Science education, Higher education, Technological education.

1. Introducción

En la sociedad contemporánea, las disciplinas científicas y matemáticas se han convertido en pilares fundamentales para afrontar los retos sociales, económicos y medioambientales. La enseñanza adecuada de estas áreas es clave para formar ciudadanos responsables y participativos (Bocconi et al., 2022). Sin embargo, informes como el Informe PISA muestran resultados preocupantes; se evidencia una necesidad urgente de mejorar la formación del profesorado, quienes a menudo enfrentan dificultades tanto en su nivel de conocimiento como en las actitudes negativas asociadas a estas disciplinas (Comisión Europea, 2022). En este contexto, el agua emerge como un recurso vital, cuya educación y alfabetización resulta imprescindible en el siglo XXI. El agua, esencial para la vida, se encuentra en el centro de desafíos como la sostenibilidad y el acceso universal, lo que refuerza su relevancia en los currículos escolares (Sadler et al., 2017). Estudios han demostrado que abordar la temática del agua en el aula puede mejorar la comprensión crítica, así como fomentar actitudes responsables y comportamientos sostenibles en los estudiantes (Çoban et al., 2011; Havu-Nuutinen et al., 2011). Sin embargo, su enseñanza enfrenta obstáculos significativos, entre ellos la persistencia de conceptos erróneos sobre contenidos de relevancia como el Ciclo del Agua (Covitt et al., 2009; Hite & White, 2019; Arthur et al., 2021).

Entre las causas de esta problemática, se identifican metodologías tradicionales basadas en la memorización y el uso excesivo de libros de texto (Reyero et al., 2007). Además, se ha evidenciado que las experiencias educativas prácticas pueden contribuir significativamente a un aprendizaje más efectivo (Ramírez-Segado et al., 2021). En este contexto, la Robótica Educativa (RE) ha ganado protagonismo como una herramienta innovadora que no solo desarrolla habilidades esenciales como el pensamiento crítico, la creatividad y la resolución de problemas, sino que transforma la enseñanza de ciencias y matemáticas (Belmonte et al., 2021; Bers, 2017; Cano, 2022; Chiang et al., 2022).

Por último, los avances de la Neurocognición y Neuroeducación reflejan la importancia de analizar los resultados sobre el aprendizaje mediante la representación de estructuras cognitivas o modelos mentales (Mora, 2021). Bajo este prisma, las Redes Asociativas de Cognición (RAC) ha ganado relevancia, ya que permite comprender cómo los individuos organizan la información y cómo estas estructuras se relacionan con los procesos neurofisiológicos, mediante el análisis de nodos y aristas, especialmente la identificación de los Hub (Baronchelli et al., 2013; Román, 2021). Sin embargo, las investigaciones sobre el Ciclo del Agua bajo esta perspectiva son escasas, especialmente en docentes en formación, representan una línea en auge (Ahi, 2017; Castelltort, 2015). De esta manera, debido a que el Ciclo del Agua se presenta como un contenido con grandes dificultades de relación entre conceptos científicos (Castelltort, 2015; Márquez & Bonil, 2013; Reyero et al., 2007), el análisis de las representaciones mentales permite detectar aquellos conceptos que presentan más dificultades.

2. Revisión de la literatura

El Ciclo del Agua destaca como un contenido educativo de gran valor transversal, pues conecta aspectos relacionados con el medio ambiente, la sostenibilidad y la salud. Este tema integra una amplia gama de conocimientos científicos, aunque estudios previos han señalado la existencia de ideas previas que dificultan el aprendizaje significativo, tales como las aguas subterráneas, la formación de las nubes y los procesos de condensación (Ben-zvi-Assarf & Orion, 2005; Hernández, 2014; Márquez & Bonil, 2013; Reyero et al., 2007).

Sumado a esto, la alfabetización del agua, entendida como el conjunto de conocimientos, actitudes y comportamientos relacionados con el agua, representa un área clave dentro de la alfabetización científica. Este concepto, que se puede extender también con aspectos de alfabetización digital, subraya la importancia de que los estudiantes sepan buscar y utilizar información relacionada con el agua, especialmente en entornos digitales (Covitt et al., 2009; George-Reyes & Avello-Martínez, 2021). A pesar de su relevancia, los estudiantes suelen encontrar dificultades para identificar información fiable en internet, lo que refuerza la necesidad de trabajar competencias digitales como parte de esta alfabetización (Rojas & Useche, 2013).



La incursión y el avance de la tecnología han traído consigo profundos cambios en la infraestructura de la sociedad y han transformado la forma en que las personas se comunican, organizan e interactúan (Bocconi et al., 2022). En la actualidad, los avances en las Ciencias de la Computación (CC), la Robótica y la Inteligencia Artificial (IA) se han convertido en el motor del aprendizaje temprano de la fluidez en ciencia y tecnología (Salas-Pilco, 2020). Ente estos avances, la Robótica Educativa ha incrementado su popularidad en la investigación del campo educativa en las últimas dos décadas. La integración de la robótica en el aula permite a los estudiantes conectar conceptos teóricos con aplicaciones prácticas, fortaleciendo su aprendizaje de manera interdisciplinaria (Jaipal-Jamani & Angeli, 2017; You et al., 2021). De hecho, los estándares educativos como los Next Generation Science Standards destacan la importancia de involucrar a los estudiantes en actividades que conecten la ciencia, la tecnología y la ingeniería de manera integral (You et al., 2021). A pesar de la limitada literatura científica sobre el uso de la RE en el contexto universitario, existen estudios que han analizado el impacto de la RE en el aprendizaje de contenidos científicos y matemáticos (Cepni et al., 2024; Jaipal-Jamani, 2023). En este contexto, diversos estudios se han centrado en contenidos científicos diferentes, como objetivos de desarrollo sostenible (Schina et al., 2020), máquinas simples (An et al., 2022; Jaipal-Jamani, 2023), fuerza y velocidad (Fakaruddin et al., 2023), recursos alimenticios (Fridberg et al., 2022) o leyes físicas (De Lima et al., 2023), donde se identificaron una mejora en la comprensión y aplicación práctica de estos contenidos.

En cuanto al contenido educativo relacionado con el agua, aunque la investigación en este campo aún es limitada, existen estudios prometedores. Por ejemplo, Sánchez et al. (2019) demostraron que los niños en edad preescolar pueden aprender conceptos relacionados con el agua utilizando robots educativos de suelo. También se han observado beneficios al introducir robótica en Educación Primaria para enseñar ciencias y matemáticas sobre el agua marítima (Scaradozzi et al., 2019; Ziaefard et al., 2017). Proyectos como Hydrobots han utilizado la robótica para acercar a los estudiantes a las disciplinas STEM mediante el Proceso de Diseño de Ingeniería (Bampasidis et al., 2021). Por su parte, Liu et al. (2023) han explorado el uso de robótica submarina como una herramienta educativa interdisciplinaria que combina comunicación submarina, ingeniería marina y sostenibilidad.

Si atendemos al aprendizaje de los estudiantes y su evaluación, el análisis de redes y grafos se ha utilizado tradicionalmente en disciplinas como la sociología y las Ciencias de la Computación, pero en educación ha cobrado fuerza en los últimos años por su capacidad para visualizar y cuantificar relaciones entre conceptos (Krendl & Betzel, 2022; Luchini et al., 2024; Román, 2021). En consecuencia, el estudio de las RAC permite complementar la evaluación del aprendizaje de los estudiantes de una manera más compleja, detectando las dificultades de conexión entre los diferentes contenidos. Estas Redes Asociativas de Cognición pueden analizarse en tres niveles (micro-nivel; meso-nivel, y macro-nivel) (Siew, 2019, 2020).

En el micro-nivel, se analizan las propiedades de los nodos individuales dentro de la red, lo que permite identificar su relevancia y posición estructural. Entre las métricas más utilizadas en este nivel se encuentran el Grado, que mide la cantidad de conexiones de un nodo; el Grado con peso, que considera la intensidad de dichas conexiones; Closeness, que evalúa la accesibilidad de un nodo respecto a los demás; Harmonic Closeness, que ajusta la medición para redes con nodos desconectados; Betweenness, que cuantifica la influencia de un nodo en el flujo de información; Coeficiente de Clustering, que indica la tendencia de un nodo a formar clústeres locales (Siew, 2019, 2020).

En el meso-nivel, se estudian las estructuras intermedias que influyen en la organización de la red. La Modularidad (Q) mide la fortaleza de la segmentación de la red en comunidades. Finalmente, en el macro-nivel, se analizan las propiedades globales de la red para comprender su cohesión y eficiencia estructural. Las métricas en este nivel incluyen el Grado medio, que refleja la conectividad promedio de la red; el Grado medio con pesos, que incorpora la intensidad de las conexiones en la medida de conectividad; el Diámetro de la red, que indica la distancia máxima entre dos nodos; la Densidad, que mide la proporción de conexiones existentes en relación con las posibles; la Longitud Media del Camino más Corto, que describe la eficiencia de la propagación de la información. Este enfoque de análisis estructural permite interpretar cómo evoluciona la red

conceptual de los participantes en función de su aprendizaje, facilitando la evaluación de estrategias educativas basadas en representaciones gráficas de conocimiento (Siew, 2019, 2020).

En conclusión, las demandas educativas del siglo XXI exigen enfoques innovadores que integren metodologías prácticas, tecnologías emergentes como la robótica educativa y una alfabetización integral que incluya aspectos digitales y medioambientales. Esto no solo fomenta un aprendizaje significativo en ciencias y matemáticas, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar los complejos desafíos del mundo contemporáneo.

3. Metodología

3.1. Diseño y muestra de estudio

El estudio adoptó un diseño cuasi-experimental con enfoque mixto (QUAN-QUAL) mediante el uso de un método cuantitativo descriptivo e inferencial y un enfoque cualitativo con el uso de un sistema de categorías (Creswell, 2014). El diseño e implementación de la propuesta didáctica se realizó a través de una muestra de conveniencia con un total de 15 docentes en formación (4 de sexo masculino y 11 de sexo femenino) con una media de edad de 21.33 (± 5.86), pertenecientes a la Universidad de Lisboa. En concreto, se realizó en seminarios prácticos de la asignatura de "Robótica Educativa". Los estudiantes habían recibido una introducción de la Robótica Educativa y programación por bloques. De esta manera, se contextualizaba el posterior uso de este recurso digital como medio de enseñanza de contenidos curriculares. Este estudio se realizó de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2024).

3.2. Intervención

La intervención se basó en el uso de la Robótica Educativa durante una sesión práctica de tres horas de duración, a través del aprendizaje de los conceptos científicos que mayor relevancia e ideas previas suelen presentar, de acuerdo a la literatura científica (Ben-zvi-Assarf & Orion, 2005; Castelltort, 2015; Ramírez-Segado et al., 2021; Verdugo et al., 2019), como la formación de las nubes, el proceso de subterráneo o la influencia de los seres vivos. El objetivo de la intervención era aumentar los conocimientos científicos de los estudiantes, así como la formación sobre este recurso digital como medio de enseñanza de contenidos científicos.

En concreto, esta intervención se realizó bajo una metodología de Aprendizaje Basado en Retos (ABR), una metodología utilizada en estudios previos para el uso de RE (Conde et al., 2021), y con el empleo de diversos kits de RE, como los dispositivos Micro:bit®, así como los kits de Lego Wedo 2.0® y Spike Prime®, así como la plataforma de programación Scratch®. Las actividades se llevaron a cabo en grupos cooperativos de 4 a 5 estudiantes. Cada grupo rotó por los diferentes espacios del aula, donde se encontraban los kits específicos para cada actividad. Además, se proporcionó un documento con los objetivos de la actividad, ejemplos de programación como guía, e información científica con sus respectivas fuentes, contribuyendo a la mejora de la alfabetización digital y científica.

En la Tabla 1 se puede apreciar la descripción de las diversas actividades, de acuerdo a la utilización de cada kit de robótica.

Actividad	Kit de robótica	Descripción
Actividad 1: Tablero robótico	Lego Spike Prime®	Los estudiantes deben programar el robot para dirigirlo hacia diferentes zonas del tablero, respondiendo a las preguntas sobre el Ciclo del Agua.
Actividad 2: ¿Cuánta agua gastamos?	Micro:bit® y Lego Spike Prime®	Los estudiantes deben programar dos placas para conectarlas entre sí y manejar el giroscopio, señalizando el gasto de agua correspondiente para cada acción humana establecida.
Actividad 3: Simulación de Scratch	Scratch®	Los estudiantes deben programar el software para que se realice una simulación del proceso de formación de nubes.
Actividad 4: Recoge las piezas	Lego Wedo 2.0®	Los estudiantes deben programar el robot para recoger diferentes piezas que corresponden con fases o procesos del Ciclo del Agua.
Actividad 5: Mueve el joystick	Scratch y Lego Wedo 2.0®	Los estudiantes deben programar un modelo de Lego que permita mover a un objeto en el escenario de Scratch®, para llegar a los diferentes puntos establecidos que permita ir respondiendo a las preguntas del Ciclo del Agua.

Tabla 1. Descripción de las actividades de Robótica Educativa. Fuente: Elaboración propia.

En la actividad 1, los estudiantes disponen de un modelo del Lego Spike Prime®, con el objetivo de desplazarse por un tablero robótico (Anexo 1). En este caso, se les entrega a los estudiantes una serie de preguntas que deben ir respondiendo, así como las respuestas a cada pregunta, como por ejemplo “Ve a la casilla que pienses que es la primera en donde empieza el ciclo del agua y después a la casilla en donde se termina”. El objetivo es que los estudiantes deben llevar al robot a la casilla correspondiente para responder a cada pregunta. Además, se colocarán diferentes tiras de colores en el tablero, a modo de obstáculos, por lo que los estudiantes deben programar el desplazamiento al lugar correspondiente con el uso del sensor de color para alcanzar la casilla correcta.

Respecto a la actividad 2, los estudiantes deben conectar mediante la programación dos placas Micro:bit®. El objetivo es que utilicen una de las placas a modo de mando a distancia para poder mover el giroscopio y una varilla que tiene conectada la otra placa, señalizando diferentes cantidades de gasto de agua en función de diversas acciones de uso directo (ducharse, lavarse los dientes con el grifo abierto) e indirecto del agua (producción de comidas, ropa o dispositivos electrónicos). De esta manera, se pretende que los estudiantes programen diferentes opciones, ajustando el ángulo correspondiente para cada una de ellas. En la Figura 1 se puede apreciar un ejemplo de programación de la actividad.

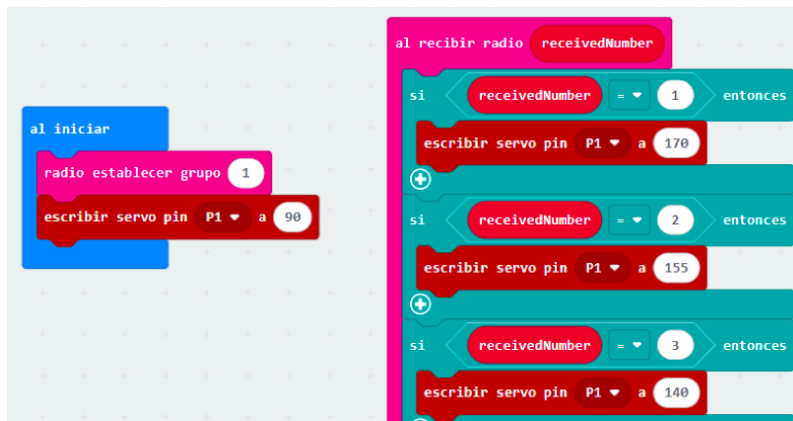


Figura 1. Ejemplo de programación de la actividad 2: ¿Cuánta agua gastamos?. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la actividad 3, los estudiantes deben programar una simulación del proceso de formación de nubes, de manera que se simule el movimiento ordenador de los elementos necesarios para que se produzca la formación de nubes y precipitaciones, como la evaporación, condensación, circulación atmosférica, evapotranspiración o precipitación. Además, al mismo tiempo que se producen los movimientos, se deben explicar las fases, de manera que se comprenda como un proceso continuo.

La actividad 4 consiste en utilizar un modelo del kit Lego Wedo 2.0® para que pueda desplazarse por el suelo, así como arrastrar objetos. En este caso, los estudiantes deben recoger objetos numerados, los cuales corresponden con fases o procesos del Ciclo del Agua (Figura 2). De esta manera, se plantean desafíos como: 'Recoge las piezas que representan las acciones de los seres vivos que afectan al ciclo del agua'. Los estudiantes deben seleccionar únicamente las piezas que correspondan con los números indicados.



Figura 2. Ejemplo de numeración de los procesos o fases del Ciclo del Agua para la actividad 4: Recoge las piezas. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la actividad 5 los estudiantes deben programar un modelo de Lego Wedo 2.0® que permita mover a un objeto (en este caso una flecha) en el escenario de Scratch mediante el sensor de inclinación. Así, los estudiantes deben desplazar el objeto por el escenario según la inclinación del modelo, alcanzando los objetos en las diferentes casillas. De esta manera, se mostrará si la respuesta es correcta o no (Figura 3).

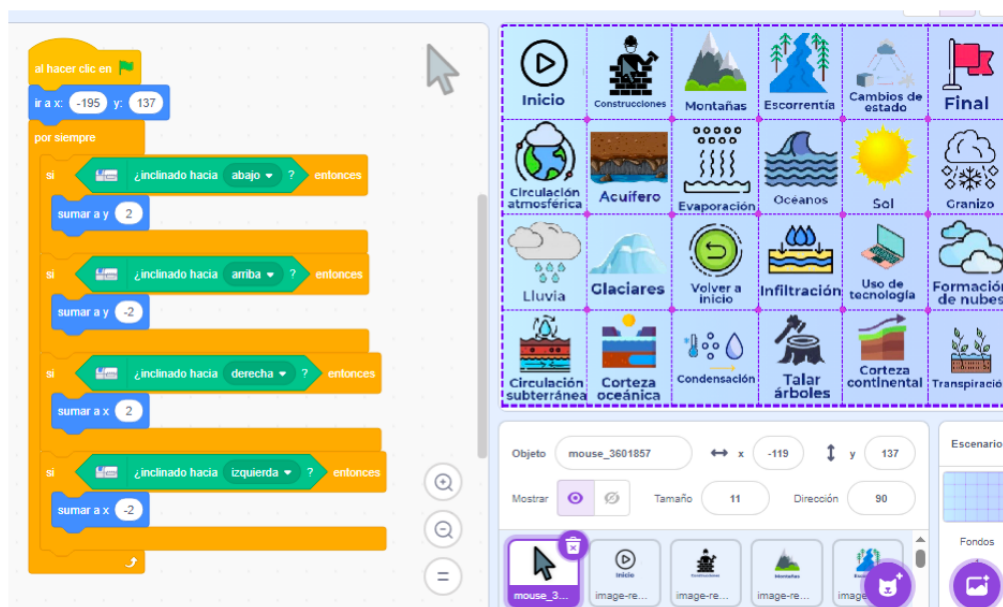


Figura 3. Ejemplo de programación de la actividad 5: Mueve el joystick. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Instrumentos de medida y análisis de datos

Para realizar el análisis del conocimiento científico sobre el Ciclo del agua, se ha utilizado un cuestionario (Anexo 2) con un total de 9 preguntas, siendo 8 preguntas de naturaleza cuantitativa de respuesta múltiple, con una única respuesta correcta, y 1 pregunta cualitativa de respuesta abierta. Las pruebas pretest y postest se elaboraron basándose en el marco conceptual del agua, y se documentaron los conceptos erróneos sobre el Ciclo del Agua, como se ha hecho en estudios anteriores (Levy & Moore, 2020). Para la validación del cuestionario se aplicó un Alfa de Conbrach, que obtuvo un valor final de 0.74, siendo un valor aceptable (Taber, 2018). Para determinar el nivel de conocimiento científico, se ha empleado una escala validada en estudio previos (De la Hoz et al., 2021).

Para el análisis de los datos, se utilizó el programa Microsoft Office Excel 365® para el análisis descriptivo mediante promedios (X), frecuencias (F) (%) y desviaciones estándar (DE). Tras la conclusión de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$), que indicó que los datos no seguían una distribución normal, se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales no paramétricas. En cuanto a las pruebas específicas aplicadas, se utilizó la prueba estadística de McNemar para analizar la evolución de las respuestas correctas e incorrectas a cada ítem del cuestionario. La prueba de Wilcoxon se utilizó para analizar la evolución de la media total. Para realizar estas pruebas, se utilizó la interfaz 'R-Commander' de «R» para realizar las diferentes pruebas estadísticas (Ocaña, 2019).

Bajo el enfoque cualitativo, la recopilación y el análisis de los datos fueron apoyados en el software WebQDA®, (Costa et al., 2016) a través de un sistema de categorías establecido en estudios previos (De la Hoz et al., 2024). A partir de la matriz triangular de los datos de frecuencia recogidos, se realizó un análisis de las diferentes RAC. Para el análisis y representación de los grafos, se han considerado las diferentes escalas (macronivel, mesonivel y micronivel) y sus métricas fundamentales, como Grado, Grado con peso, Coeficiente de Clustering (CC) General y Local, Longitud media del camino más corto (ASPL por sus siglas en inglés), Modularidad (Q), Diámetro de la red, Densidad del grado, Closeness, Harmonic closeness Y Betweenness (Siew et al., 2019, Siew, 2020). Para este análisis se utilizaron los programas informáticos Gephi® y Cytoscape®. La representación y visualización final se realizó en Gephi®, aplicando el algoritmo ForceAtlas2 (González-Bustamante & Cisternas, 2020; Jacomy et al., 2014), basado en repulsión, atracción y gravedad. La ecuación de atracción se expresa de la siguiente manera:

$$F_a(n_1, n_2) = \log(1 + d(n_1, n_2))$$

La ecuación de la repulsión es la siguiente:

$$F_r(n_1, n_2) = k_r \frac{(\deg(n_1) + 1)(\deg(n_2) + 1)}{d(n_1, n_2)}$$

Por último, se emplea el efecto de gravedad para evitar la desconexión de componentes aislados, mediante la ecuación:

$$F_g = k_g(\deg(n) + 1)$$

4. Resultados

En esta sección se describen los resultados del estudio. En primer lugar, se describen los resultados relativos al cuestionario cuantitativo sobre el conocimiento científico; posteriormente, se describen los resultados relativos al análisis de grafos.

En la Tabla 2 se muestran los resultados del conocimiento científico relacionado con el Ciclo del Agua, antes y después de la intervención basada en la Robótica Educativa. Se presentan los promedios (X), las desviaciones estándar (DE), los resultados de las pruebas estadísticas para cada ítem (test de McNemar) y el

promedio total del cuestionario (test de Wilcoxon). Asimismo, se establece la conexión para cada pregunta y el promedio total con el nivel de conocimiento científico de la categorización utilizada en el estudio.

Item	Pretest		Nivel	Posttest		Nivel	McNemar test		
	X	SD		X	SD		X ²	<i>p</i>	
1	0.27	0.46	P	0.73	0.46	S	5.44	0.02*	
2	0.80	0.41	E	0.93	0.26	E	2.00	0.16	
3	0.33	0.49	P	0.80	0.41	E	7.00	0.01*	
4	0.27	0.46	P	0.80	0.41	E	8.00	0.01*	
5	0.67	0.49	S	0.80	0.41	E	0.68	0.41	
6	0.80	0.41	E	0.93	0.26	E	2.00	0.16	
7	0.73	0.46	S	0.87	0.35	E	2.00	0.16	
8	0.33	0.49	P	0.80	0.41	E	7.00	0.01*	
							Wilcoxon test		
							W	<i>p</i>	ES
Total	3.87	1.25	P	6.67	1.54	E	3.00	0.001*	0.30

*Diferencias estadísticamente significativas; C=Control; E=Experimental; I=Inadeguate; P=Problemático; S=Suficiente; E=Excelente.

Tabla 2. Resultados pretest y posttest del cuestionario de Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se presentan los porcentajes de acierto de cada ítem y del promedio total, tanto antes como después de la intervención. Además, el límite establecido se define con el porcentaje que limita el nivel Excelente (76% de acierto) de conocimiento científico.

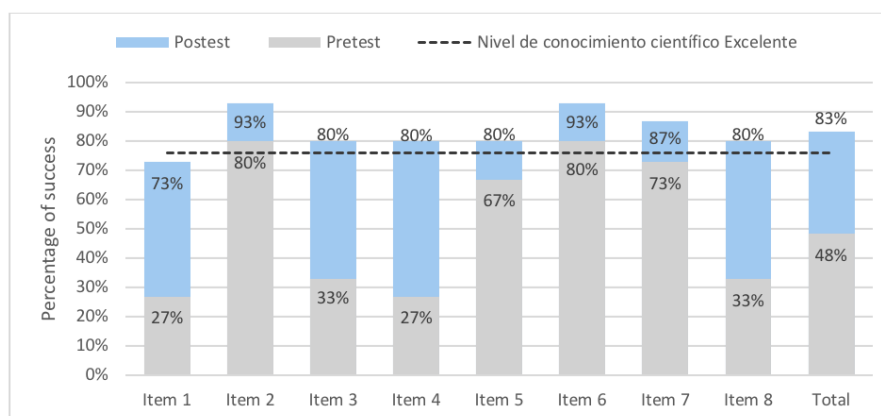


Figura 4. Porcentaje de acierto en el pretest y posttest del cuestionario del Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, existen diferencias significativas en varios ítems (1, 3, 4 y 8), así como en el promedio total. En cuanto al nivel de conocimiento científico, antes de la intervención, la mayoría de los ítems se situaban entre los niveles Suficiente y Problemático, a excepción de los ítems 2 y 6, que alcanzaban un nivel Excelente, como se muestra en la Figura 4. Además, el nivel de conocimiento científico global era Problemático. Tras los resultados del posttest, se observa que todos los ítems alcanzan el nivel Excelente, excepto el ítem 1, que se mantiene en el nivel Suficiente. Asimismo, el nivel global se encuentra en el nivel Excelente.

A continuación, se describen los resultados relativos al análisis de las Redes Asociativas de Cognición (RAC). En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis de las métricas del macro-nivel de redes, tanto para la RAC antes de la intervención como la RAC posterior. Los resultados muestran que la RAC después de la intervención presenta valores más altos en las métricas Grado medio, Grado medio con pesos, Densidad del grado y Coeficiente de Clustering; por su parte, las métricas Diámetro de la red, Modularidad y Longitud media

del camino más corto presentan valores menores en el postest.

Macro-nivel	Intervención	
Métricas	Pretest	Postest
Grado medio	10.29	14.57
Grado medio con pesos	45.81	84.67
Diámetro de la red	3	2
Densidad del grado	0.51	0.73
Coefficiente de clustering	0.69	0.79
Longitud media del camino más corto	1.57	1.37

Tabla 3. Métricas macro-nivel de la RAC en el pretest y postest. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se puede observar la representación de la RAC, así como las métricas micro-nivel de cada nodo en la Tabla 4. En este caso, gracias al resultado de Modularidad ($Q=0.27$) se determinan las comunidades del grafo.

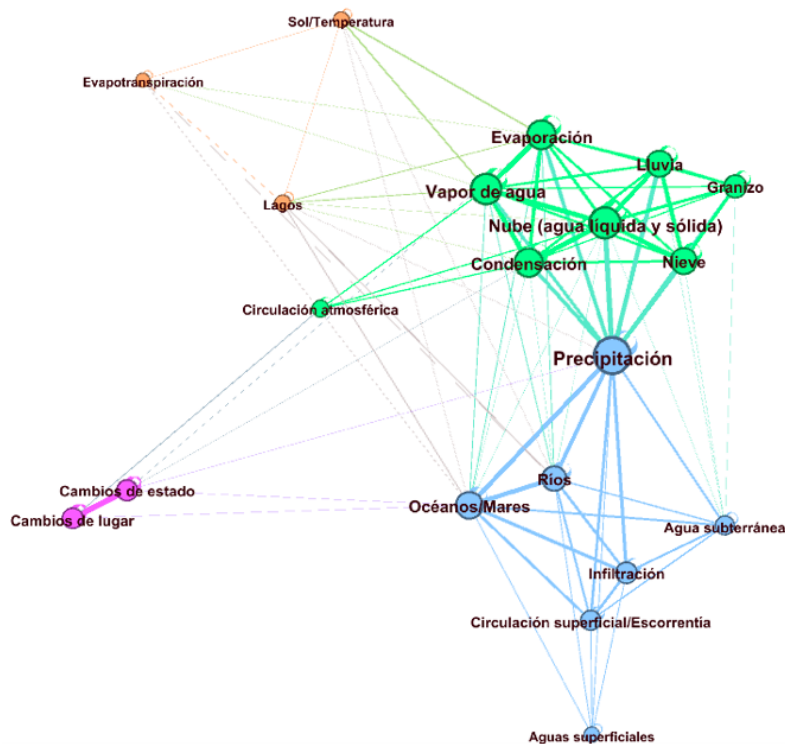


Figura 5. Red Asociativa de Cognición del pretest sobre el Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la RAC presenta 4 clústeres diferentes. En este caso, los nodos pertenecientes al clúster 1 y 2 se localizan en la zona central del grafo, mientras que los nodos pertenecientes al clúster 3 y 4 se encuentran más alejados del centro.

Nodos	Clúster	Grado	Grado con peso	Closeness	Harmonic closeness	Betweenness	Coefficiente Clustering
Precipitación	1	17	107	0.83	0.89	18.66	0.47
Océanos/Mares	1	17	65	0.83	0.89	27.87	0.40
Evaporación	2	15	73	0.76	0.84	9.30	0.53
Vapor de agua	2	15	81	0.76	0.84	11.73	0.52
Nube (agua líquida y sólida)	2	14	84	0.73	0.82	7.39	0.67
Ríos	1	15	55	0.76	0.84	11.76	0.58
Condensación	2	14	72	0.73	0.82	8.28	0.63
Lagos	3	11	17	0.66	0.74	1.20	0.78
Lluvia	2	10	62	0.61	0.70	0.43	0.83
Nieve	2	10	62	0.61	0.70	0.43	0.83
Granizo	2	10	46	0.61	0.70	0.43	0.83
Agua subterránea	1	11	30	0.66	0.74	4.93	0.64
Evapotranspiración	3	8	8	0.59	0.66	0.00	0.86
Sol/Temperatura	3	8	16	0.59	0.66	0.00	0.86
Infiltración	1	8	40	0.58	0.65	0.20	0.86
Circulación superficial/Escurrimiento	1	8	34	0.58	0.65	0.20	0.86
Cambios de estado	4	7	38	0.58	0.63	2.08	0.60
Aguas superficiales	1	7	14	0.56	0.62	0.00	0.87
Circulación atmosférica	2	6	21	0.51	0.58	2.08	0.60
Cambios de lugar	4	5	37	0.50	0.55	1.03	0.50

Tabla 4. Métricas micro-nivel de cada nodo en la Red Asociativa de Cognición del pretest sobre el Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se observa que el nodo Precipitación se presenta como el Hub principal, teniendo el valor más alto de métricas como el Grado, Grado con peso, Closeness y Harmonic closeness. Por el contrario, el nodo de menor importancia es Cambios de estado. En la Figura 6 se puede apreciar la RAC después de la intervención. Así mismo, en la Tabla 5 se pueden observar las diferentes métricas de micro-nivel de los nodos de la RAC. En este caso, gracias al resultado de Modularidad ($Q=0.22$) se determinan las comunidades del grafo.

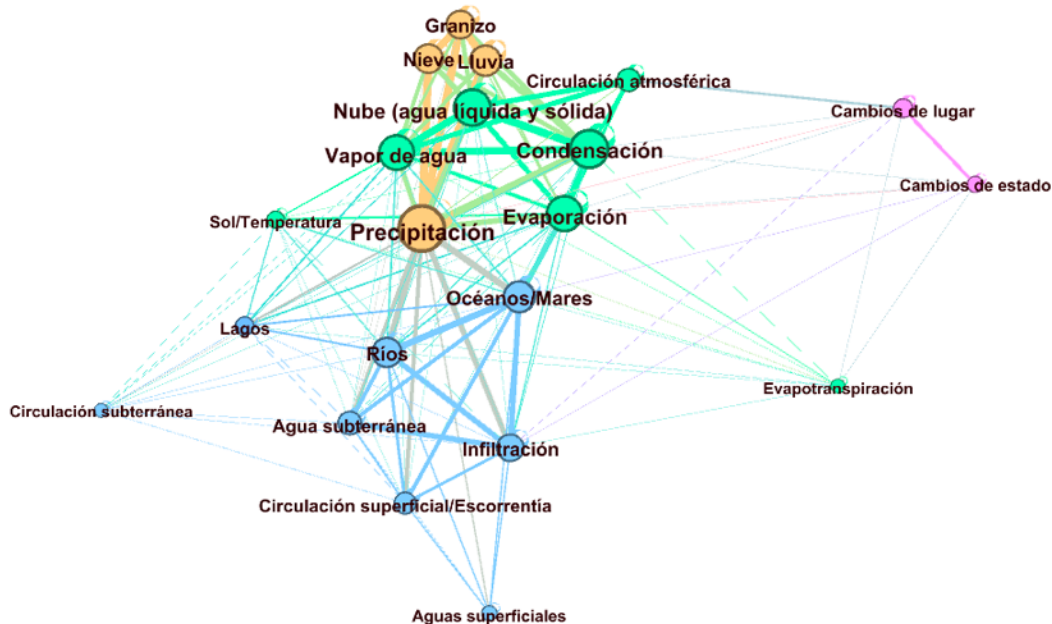


Figura 6. Métricas micro-nivel de cada nodo en la Red Asociativa de Cognición del postest sobre el Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la RAC presenta 4 clústeres diferentes. En este caso, los nodos pertenecientes al cluster 1, 2 y 3 se localizan en la zona central del grafo, mientras que los nodos pertenecientes al cluster 4 se encuentran más alejados del centro.

Nodos	Clúster	Grado	Grado con peso	Closeness	Harmonic closeness	Betweenness	CoefficienteClustering
Precipitación	2	22	202	1.00	1.00	17.41	0.53
Océanos/Mares	1	21	134	0.95	0.98	12.66	0.56
Evaporación	3	21	149	0.95	0.98	12.66	0.56
Vapor de agua	3	19	131	0.87	0.93	7.06	0.63
Nube (agua líquida y sólida)	3	18	88	0.83	0.90	6.04	0.74
Ríos	1	18	67	0.83	0.90	6.17	0.74
Condensación	3	18	141	0.83	0.90	5.67	0.74
Lagos	1	17	111	0.80	0.88	3.66	0.79
Lluvia	2	16	101	0.77	0.85	1.86	0.85
Nieve	2	15	40	0.74	0.83	0.44	0.91
Granizo	2	15	33	0.74	0.83	0.44	0.91
Agua subterránea	1	15	58	0.74	0.83	1.17	0.88
Evapotranspiración	3	14	14	0.71	0.80	0.00	0.95
Sol/Temperatura	3	13	16	0.69	0.78	1.60	0.80
Infiltración	1	10	121	0.63	0.70	0.00	0.89
Circulación superficial/Escurrimiento	1	10	111	0.63	0.70	0.00	0.89
Cambios de estado	4	10	104	0.63	0.70	0.00	0.89
Aguas superficiales	1	9	27	0.61	0.68	0.17	0.86
Circulación atmosférica	3	9	43	0.61	0.68	0.62	0.79
Cambios de lugar	4	8	22	0.59	0.65	0.00	0.95
Circulación subterránea	1	8	65	0.59	0.65	0.37	0.71

Tabla 5. Métricas micro-nivel de cada nodo en la Red Asociativa de Cognición del pretest sobre el Ciclo del Agua. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, la RAC presenta 4 clústeres diferentes. El Hub principal de la RAC es el nodo Precipitación, teniendo el valor más alto de métricas como el Grado, Grado con peso, Closeness, Harmonic closeness y Betweenness, mientras que el nodo de menor relevancia en Circulación subterránea.

5. Conclusiones

La enseñanza científica desempeña un papel fundamental en la formación de ciudadanos responsables y conscientes de los retos medioambientales y sociales actuales, como la sostenibilidad y la gestión del agua. Sin embargo, conceptos científicos como el Ciclo del Agua continúan siendo difíciles de comprender para los estudiantes debido a su complejidad y a la falta de metodologías didácticas efectivas (Imaduddin & Eilks, 2024). Este estudio tiene como objetivo analizar el nivel de conocimiento científico de los estudiantes sobre el Ciclo del Agua, empleando diferentes herramientas de evaluación, incluidas las Redes Asociativas de Cognición (RAC), como método para explorar la organización del conocimiento de los estudiantes.

Los resultados del pretest muestran la falta de un nivel de conocimiento científico adecuado en la mayoría de los conceptos trabajados, lo que coincide con estudios previos (Ramírez-Segado et al., 2021; Reyero et al., 2007; Valle, 2017; Verdugo et al., 2019) que muestran la dificultad de comprensión y aprendizaje que presentan múltiples contenidos del Ciclo del Agua, como la formación de las nubes, la zona subterránea como parte del Ciclo del Agua o la comprensión de las diferencias entre la zona continental y oceánica. Por el contrario, existe un nivel de conocimiento científico Excelente en los ítems 2 y 6, referente al proceso continuo del Ciclo del Agua y a la influencia de los seres vivos en el Ciclo del Agua, los cuales suelen conllevar también dificultades de aprendizaje e ideas previas.

En cuanto a los resultados del cuestionario sobre el Ciclo del Agua tras la intervención basada en Robótica

Educativa, los resultados muestran una mejora significativa en múltiples ítems (1, 3, 4 y 8), así como en el promedio total. Se puede apreciar que todos los ítems alcanzan un nivel Excelente, a excepción del ítem 1, con nivel Suficiente. Esto coincide con estudios previos (De la Hoz et al., 2021) cuya muestra alcanza niveles de conocimientos científicos similares después de intervenciones basadas en recursos digitales y metodologías activas en docentes en formación, así como estudios (Fussero & Occelli, 2022; Ntourou et al., 2021) que reflejan una mejora de conocimiento científico después de intervenciones basadas en RE. De manera específica, los resultados coinciden con estudios que han demostrado una mejora del aprendizaje tras intervenciones basadas en RE sobre contenidos de ciencias y matemáticas en la educación y alfabetización sobre el agua (Sánchez et al., 2019; Scaradozzi et al., 2019; Sujana et al., 2019), así como en la enseñanza de diversos contenidos de ciencias y matemáticas en estudiantes universitarios (Jaipal-Jamani, 2023; Nouri et al., 2020; Sáez-López et al., 2019; You et al., 2021). Esto repercute en la inclusión de este valioso recurso como idóneo en cualquier etapa educativa para la formación del conocimiento científico. Por ello, la introducción de estos recursos digitales debería incrementarse en los programas de enseñanza.

Centrándose en las RAC, se puede apreciar que los nodos más centrados y alejados coinciden en ambos grafos, exceptuando el nodo Sol/Temperatura, el cual presenta una posición mucho más centrada en el posttest. Atendiendo a las métricas micro-nivel de nodos individualmente, se puede observar que el nodo principal (Hub) de la RAC del pretest es Precipitación. En este caso, se puede apreciar que presenta los valores más altos en diversas métricas que lo posicionan como un nodo relevante, no solamente por su frecuencia de aparición (Grado), sino por su importancia en la conexión con el resto de nodos (Grado con peso, Closeness, Harmonic Closenes y Betweeness). Seguidamente se encuentran otros nodos con un alto valor en estas métricas, como Océanos/Mares, Evaporación, Vapor de agua, Nube (agua líquida y sólida), Ríos y Condensación. Se puede observar que entre Condensación y los nodos posteriores hay una diferencia importante en métricas como Grado con peso o Betweeness, lo que sugiere que los nodos mencionados corresponden con aquellos de mayor relevancia dentro de la red, lo cual coincide con aquellos que están en las posiciones más centradas del grafo (Krendl & Betzel, 2022; Luchini et al., 2024).

Estos nodos coinciden con estudios previos (Castelltort, 2015; Márquez & Bonil, 2013) que muestran aquellos conceptos que los estudiantes adquieren con mayor frecuencia, como los procesos de evaporación, precipitación, o la presencia de océanos, mares o ríos, obviando las zonas subterráneas. De la misma manera, estos resultados concuerdan con un estudio reciente (De la Hoz et al., 2024) en el que se analizaron RAC de una muestra similar en una población española, y cuyos nodos principales como Precipitación, Evaporación, Nubes (agua líquida y sólida) y Océanos/Mares coinciden con el presente estudio. Sin embargo, también encontramos nodos destacados como la Condensación y Nube (agua líquida y sólida), los cuales reflejan un conocimiento científico adecuado en contenidos científicos del Ciclo del Agua que conllevan mayor dificultad de comprensión y asimilación, y un alto porcentaje de errores conceptuales (Ben-zvi-Assarf & Orion, 2005; Hernández, 2014).

Por su parte, si observamos las métricas referentes a la RAC del posttest, los nodos principales siguen siendo los mismos. A pesar de ello, métricas como el Grado y Grado con peso aumentaron notablemente, lo que coincide con los resultados de los cuestionarios, indicando una mejora estadísticamente significativa en el nivel de conocimiento científico. Sin embargo, se puede observar que los valores del Betweeness disminuyeron en los nodos principales y aumentaron en el resto de los nodos de manera general, lo que refleja un cambio hacia una red más distribuida y equilibrada, donde las conexiones están menos mediadas por nodos individuales. De esta manera, la RAC presenta una mejor conexión y asimilación de los diferentes procesos y fases que conforman el Ciclo del Agua, sin depender tanto de únicamente los conceptos que previamente poseían mayor conocimiento científico. Así mismo, se puede observar que en la RAC del pretest no existe el nodo Circulación subterránea, el cual sí aparece en el posttest. Esto coincide con los resultados del ítem 8, referente al proceso subterráneo, el cual presenta una mejora estadísticamente significativa entre los resultados del pretest y posttest del cuestionario, y alcanzando un nivel Excelente.

Estos resultados coinciden con los obtenidos en los cuestionarios, en donde tras la intervención educativa,



los estudiantes adquirieron un nivel de conocimiento científico Excelente. Estos resultados se ven reforzados por las métricas de macro-nivel obtenidas. El aumento del Grado medio, Grado medio con pesos y Densidad del grado reflejan que la RAC presenta mayor conectividad de los diferentes nodos entre sí, mientras que el aumento en el Coeficiente de Clustering indica una mejora en la identificación de relaciones directas y relevantes entre las fases del ciclo. Por otra parte, valores inferiores en el Diámetro de la red puede indicar que los participantes entendieron el Ciclo del Agua como un sistema más integrado y accesible, mientras que una disminución en la Longitud media del camino más corto significa que, en promedio, es más fácil llegar de un nodo a otro en la red después de la intervención, lo que refleja un entendimiento más eficiente de las relaciones. De esta manera, los estudiantes presentan no solamente un mayor conocimiento de los conceptos científicos, sino una mayor comprensión y capacidad de relacionar los conceptos entre ellos (Stella, 2022; Van den Heuvel & Sporns, 2013).

Atendiendo al meso-nivel de las Redes Asociativas de Cognición, los resultados muestran diferencias en las agrupaciones (clústeres) de los grafos entre el pretest y postest. La RAC obtenida antes de la intervención refleja 4 comunidades diferentes, reflejando coherencia en algunos nodos pertenecientes de la misma comunidad. Por ejemplo, la comunidad (cluster 1) agrupa nodos correspondientes con fases del Ciclo del Agua en las que el agua se encuentra en estado líquido y su movimiento a lo largo del ciclo, como Precipitación, Océanos/Mares, Ríos, Agua subterránea, Escorrentía y Aguas superficiales; la comunidad (cluster 2), por su parte, corresponde con nodos que atienden a los cambios de estado y conceptos o procesos del Ciclo del Agua involucrados, como Evaporación, Condensación, Nube (agua líquida y sólida), Vapor de agua, Lluvia, Nieve, Granizo y Circulación atmosférica. La comunidad (cluster 4) únicamente hace referencia a conceptos más generales, como Cambios de lugar y Cambios de estado, los cuales aluden a que durante el Ciclo del Agua se producen estos efectos, pero en donde los estudiantes no especifican sobre ellos. Sin embargo, también existen agrupaciones incoherentes, como la comunidad (cluster 3), en donde se encuentran los nodos Lagos, Sol/Temperatura y Evapotranspiración.

Por el contrario, si atendemos a las comunidades de la RAC tras la intervención, se puede observar que hay mayor coherencia en la agrupación de nodos. El nodo Lagos pertenece a la comunidad (cluster 1), el cual corresponde, al igual que la RAC del pretest, a conceptos relativos al agua en estado líquido y su movimiento; los nodos Sol/Temperatura y Evapotranspiración se agrupan en la comunidad (cluster 3), correspondiente con los nodos relacionados con los cambios de estado. Además, se puede observar que la comunidad (cluster 2) presenta una especificación mayor de los nodos, agrupando los nodos que corresponden únicamente con el proceso de precipitación y sus formas.

Los resultados de este análisis de RAC siguen la línea de estudios recientes (Casas et al., 2015; Soto-Ardila et al., 2020), los cuales no analizan únicamente la frecuencia de las categorías empleadas, sino la relación entre diferentes conceptos. Respecto al Ciclo del Agua, los estudios previos que han analizado representaciones gráficas (Ahi, 2017; Castelltort, 2015; Márquez & Bach, 2007) se han basado en modelos mentales y diagramas, evidenciando una evolución hacia sistemas más complejos. Sin embargo, este tipo de análisis es escaso, por lo que se requiere una mayor aportación a la literatura científica de estudios que analicen las RAC en el aprendizaje de contenidos científicos.

El presente artículo presenta una serie de limitaciones de estudio. Una de ellas es la baja muestra de estudio, por lo que en futuras investigaciones sería conveniente ampliar la muestra de estudio que permitiera generalizar resultados. De la misma manera, es necesario realizar estudios en donde existe un grupo control con el que se pueda comparar los resultados obtenidos. Así mismo, sería recomendable realizar futuras investigaciones en las que se analicen múltiples grafos, en función de los niveles diferentes de conocimiento científico, que ayuden a especificar las diferencias más importantes entre ellos, lo cual pueda permitir adaptar futuras intervenciones.

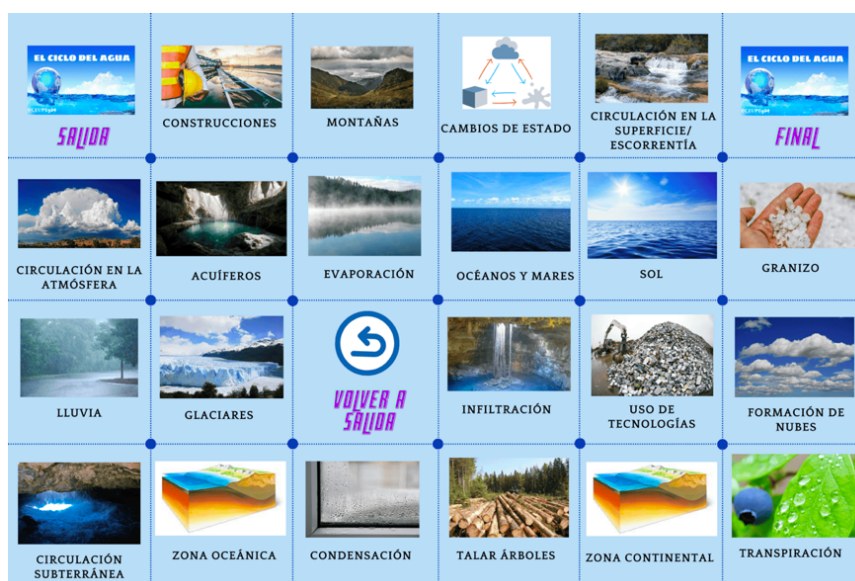
En conclusión, este estudio destaca la importancia de emplear metodologías activas, como la Robótica Educativa, para mejorar la comprensión de conceptos científicos complejos, como el Ciclo del Agua, que

suelen presentar dificultades de aprendizaje. Los resultados obtenidos, tanto a través de cuestionarios como de las Redes Asociativas de Cognición, demuestran que estas intervenciones no solo incrementan el conocimiento de los estudiantes, sino que también favorecen una comprensión más profunda y conectada de los procesos involucrados. Este enfoque educativo, apoyado por herramientas de análisis como las RAC, ofrece una vía prometedora para optimizar la enseñanza de contenidos científicos, contribuyendo a la formación de estudiantes con una mayor capacidad para relacionar conceptos y abordar los retos medioambientales del futuro.

Financiación

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto PID2020-115214RB-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. Este trabajo también ha contado con el apoyo de fondos nacionales a través de la FCT-Fundación Portuguesa para la Ciencia y la Tecnología, I.P., en el marco de la UIDEF —Unidade de Investigação e Desenvolvimento em Educação e Formação, UIDB/04107/2020, <https://doi.org/10.54499/UIDB/04107/2020>. Agradecemos al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades la concesión de un contrato predoctoral (FPU20/04959) y la financiación de una estancia internacional (EST24/00364).

Anexo 1. Tablero robótico del ciclo del agua.



Anexo 2. Cuestionario del ciclo del agua.

1. ¿Cuál es la diferencia entre la zona oceánica y la zona continental?

- a) En la zona continental hay menos precipitación que evaporación.
- b) En la zona oceánica hay menos precipitación que evaporación.
- c) Tanto en la zona oceánica como en la continental hay la misma cantidad de precipitación y evaporación.
- d) No hay relación entre la evaporación y la precipitación del agua.

2. En el ciclo del agua:

- a) El agua circula en una sola dirección hasta que se completa el ciclo.
- b) El ciclo del agua comienza en las montañas y termina en los océanos.

- c) El ciclo del agua tiene muchas direcciones, y el agua cambia de estado y fase a lo largo del ciclo
- d) El agua del océano crece cada día porque el agua de los ríos fluye hacia el océano

3. ¿De qué están compuestas las nubes?

- a) Vapor
- b) Gotas de agua
- c) Otras sustancias (cristales de hielo, polvo...)
- d) Todos son correctos

4. La formación de nubes se produce:

- a) Después de la evaporación, cuando el vapor de agua se eleva a la atmósfera.
- b) Después de la evaporación, cuando el vapor de agua se acumula líquida Después de la condensación, cuando se juntan las gotas de agua líquida
- c) Después de la condensación, cuando se forman gotas de agua y se concentran con otros elementos como cristales de hielo, polvo, vapor de agua...

5. En el Ciclo del Agua, podemos decir que las plantas:

- a) Al igual que las personas, no tienen ninguna influencia en el ciclo del agua.
- b) Influye en el Ciclo del Agua gracias a la transpiración.
- c) Realizan la transpiración, pero no afecta al Ciclo del Agua
- d) Las plantas alteran la calidad del agua.

6. ¿En qué medida influyen los seres vivos en el ciclo del agua?

- a) Las plantas influyen en el almacenamiento de agua y producen cambios en el estado del agua absorbida.
- b) Los seres humanos, aunque usamos agua, no cambiamos el camino ni la cantidad de agua.
- c) Las actividades y construcciones humanas alteran el ciclo natural del agua
- d) A y C son correctas

7. ¿Cuáles de estas acciones afectan la disponibilidad de agua?

- a) Comprar mucha ropa
- b) Tala de muchos árboles
- c) Cambiar con frecuencia de teléfonos, ordenadores...
- d) Todos son correctos

8. ¿Dónde se encuentran las aguas subterráneas?

- a) Solo en climas húmedos
- b) Solo donde hay tierra, ya que el agua no puede moverse a través de la roca
- c) El agua subterránea puede existir en la roca o el suelo, pero no se encuentra debajo de la superficie de la tierra.
- d) Casi en cualquier lugar debajo de la superficie de la tierra.

9. Explica el ciclo del agua con tus propias palabras. Relaciónalo con los cambios de estado de la materia.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

De la Hoz Serrano, A.; Melo Niño, L. V.; Taborda Cid Dorotea, N. M.; Cañada Cañada, F.; Cubero Juárez, J. (2026). Educación y alfabetización científica del agua mediante robótica educativa a través de un análisis mixto. *Campus Virtuales*, 15(1), 91-108. <https://doi.org/10.54988/cv.2026.1.1665>

Referencias

- Ahi, B. (2017). The effect of talking drawings on five-year-old turkish children's mental models of the water cycle. *International Journal of Environmental and Science Education* 12(3), 349-367.
- An, H., Sung, W., & Yoon, S. Y. (2022). Implementation of learning by design in a synchronized online environment to teach educational robotics to inservice teachers. *Education Technology Research and Development*, 70, 1473-1496. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10134-8>.
- Arthur, B., Roberts, D., Rae, B., Marrison, M., McCleary, H., Abbott, A., & Musso, B. (2021). Ocean Outreach in Australia: How a National Research Facility is Engaging with Community to Improve Scientific Literacy. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 610115. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.610115>.
- Bampasidis, G., Piperidis, D., Papakonstantinou, V. C., Stathopoulos, D., Troumpetari, C., & Poutos, P. (2021). Hydrobots, an Underwater Robotics STEM Project: Introduction of Engineering Design Process in Secondary Education. *Advances in Engineering Education*, 1-24.
- Baronchelli, A., Ferrer-i-Cancho, R., Pastor-Satorras, R., Chater, N., & Christiansen, M. H. (2013). Networks in cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, 17(7), 348-360.
- Belmonte, J. L., Segura-Robles, A., Moreno-Guerrero, A. J., & Parra-González, M. E. (2021). Robotics in education: a scientific mapping of the literature in Web of Science. *Electronics*, 10(3), 291. <https://doi.org/10.3390/electronics10030291>.
- Ben-zvi-Assarf, O., & Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of geoscience education*, 53(4), 366-373. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.366>.
- Bers, M. U. (2017). The Seymour test: Powerful ideas in early childhood education. *International Journal of Child - Computer Interaction*, 14, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.06.004>.
- Bocconi, S., Chiocariello, A., Kampylis, P., Dagienė, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., Earp, J., & Stupurienė, G. (2022). Reviewing Computational Thinking in Compulsory Education State of play and practices from computing education. Publications Office of the European Union. (<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128347>).
- Cano, S. (2022). A Methodological Approach to the Teaching STEM Skills in Latin America through Educational Robotics for School Teachers. *Electronics*, 11(3), 395.
- Casas, L. M., Carvalho, J., González, M., & Luengo, R. (2015). Concepciones y creencias de los profesores en formación sobre las matemáticas y su enseñanza aprendizaje. Propuesta de una nueva metodología cualitativa. *Campo abierto*, 34(2), 85-104.
- Castelltort, A. (2015). Educar a favor d'una nova cultura ambiental de l'aigua. [Tesis de Doctorado, Universitat Autònoma de Barcelona]. Repositori Institucional – Universitat Autònoma de Barcelona.
- Cepni, S., Aydin, M., Ada Yildiz, K., Birisci, S., Ozkan, C., & Yalabuk, C. (2024). Examining the impact of modified P3 task taxonomy-enriched educational robotics PD program on teachers' STEM content knowledge. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(1), 81-110. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10475-1>.
- Chiang, F. K., Zhang, Y., Zhu, D., Shang, X., & Jiang, Z. (2022). The Influence of Online STEM Education Camps on Students' Self-Efficacy, Computational Thinking, and Task Value. *Journal of science education and technology*, 31(4), 461-472.
- Çoban, G. Ü., Akpınar, E., Küçükcankurtaran, E., Yıldız, E., & Ergin, Ö. (2011). Elementary school students' water awareness. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 20(1), 65-83. <https://doi.org/10.1080/10382046.2011.540103>.
- Comisión Europea (2022). El aprendizaje de las matemáticas y las ciencias en educación escolar: logros y motivación. Informe Eurydice Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Conde, M. Á., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., & García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: A systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 46-65.
- Costa, A. P., de Souza, F. N., Moreira, A., & de Souza, D. N. (Junio de 2016). WebQDA—Qualitative data analysis software: Usability assessment. 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-6). IEEE.
- Covitt, B. A., Gunckel, K. L., & Anderson, C. W. (2009). Students' developing understanding of water in environmental systems. *The Journal of Environmental Education*, 40(3), 37-51. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.3.37-51>.
- Creswell, J. W. (2014). A concise introduction to mixed methods research. SAGE publications.
- De la Hoz, A., Melo, L. V., Álvarez, A., Cubero, J., Soto-Ardila, L. M., & Cañada, F. (2024). Análisis Cualitativo de Redes Asociativas de Cognición en el aprendizaje científico del Agua. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (46), 107-122. <https://doi.org/10.7203/dces.46.26506>.
- De la Hoz, A., Cubero, J., Melo, L., Durán-Vinagre, M. A., & Sánchez, S. (2021). Analysis of digital literacy in health through active university teaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6674. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126674>.



- De Lima, J., Filho, P., Rossiter, S., & Albino, M. (9-11 de octubre de 2023). The use of education robotics as a teaching tool for physics: Newton's Laws. In 2023 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2023 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2023 Workshop on Robotics in Education (WRE). Salvador, Brazil. <https://doi.org/10.1109/LARS/SBR/WRE59448.2023.10332998>.
- Fakaruddin, F. J., Shahali, E. H. M., & Saat, R. M. (2023). Creative thinking patterns in primary school students' hands-on science activities involving robotics as learning tools. *Asia Pacific Education Review*, 25, 171-186. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09825-5>.
- Fridberg, M., Redfors, A., Greca, I. M., & Terceño, E. M. G. (2022). Spanish and Swedish teachers' perspective of teaching STEM and robotics in preschool – results from the botSTEM project. *International Journal of Technology and Design Education*, 33, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09717-y>.
- Fussero, G. B., & Occelli, M. (2022). Construcción de modelos de Ingeniería Genética a través de la programación con Scratch. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19, 2802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022v19i2.2802.
- González-Bustamante, B., & Cisternas, C. (2020). Aplicación de ForceAtlas2, un algoritmo de diseño gráfico continuo, para el estudio de las élites. *Tufte Working Papers*, 1, 1-15. <https://doi.org/10.31235/osf.io/gxrkc>.
- George-Reyes, C. E., & Avello-Martínez, R. (2021). Alfabetización digital en la educación. Revisión sistemática de la producción científica en Scopus. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 21(66). <https://doi.org/10.6018/red.444751>.
- Havu-Nuutinen, S., Karkkainen, S., & Keinonen, T. (2011). Primary school pupils' perceptions of water in the context of STS study approach. *International Journal of Environmental and Science Education*, 6(4), 321-339.
- Hernández, M. J. (2014). ¿Qué debería conocer todo ciudadano sobre el agua?. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 77, 9-16.
- Hite, R. L., & White, J. (2019). Balancing profits and conservation: A human environmental impact PBL for upper elementary and middle grades STEM club students. *Science Activities*, 56(3), 88-107. <https://doi.org/10.1080/00368121.2019.1693950>.
- Imaduddin, M., & Eilks, I. (2024). A scoping review and bibliometric analysis of educational research on water literacy and water education. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, 101833. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101833>.
- Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S., & Bastian, M. (2014). ForceAtlas2, a continuous graph layout algorithm for handy network visualization designed for the Gephi software. *PloS one*, 9(6), e98679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone0098679>.
- Jaipal-Jamani, K., & Angeli, C. (2017). Effect of robotics on elementary preservice teachers' self-efficacy, science learning, and computational thinking. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 175-192. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9663-z>.
- Jaipal-Jamani, K. (2023). Preservice teachers' science learning and self-efficacy to teach with robotics-based activities: Investigating a scaffolded and a self-guided approach. *Frontiers in Education*, 8, 979709. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.979709>.
- Krendl, A. C., & Betzel, R. F. (2022). Social cognitive network neuroscience. *Social cognitive and affective neuroscience*, 17(5), 510-529. <https://doi.org/10.1093/scan/nsac020>.
- Levy, A. R., & Moore Mensah, F. (2020). Learning through the experience of water in elementary school science. *Water*, 13(1), 43. <https://doi.org/10.3390/w13010043>.
- Liu, L., Oh, H., Zhang, L., Fang, T., Huang, M., Hao, Y., ... & Ying, F. (2023). A study of children's learning and play using an underwater robot construction kit. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(2), 317-336. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09720-3>.
- Luchini, S. A., Wang, S., Kenett, Y. N., & Beaty, R. E. (2024). Mapping the Memory Structure of High-Knowledge Students: A Longitudinal Semantic Network Analysis. *Journal of Intelligence*, 12(6), 56. <https://doi.org/10.3390/jintelligence12060056>.
- Márquez C., & Bach J. (2007) Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 280-286.
- Márquez, C., & Bonil, J. (2013). Las concepciones de maestros en formación inicial respecto a la educación científica recibida. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 9(1), 107-133.
- Mora, F. 2021. Neuroeducación: solo se puede aprender eso que se ama. Alianza editorial.
- Nouri, J., Zhang, L., Mannila, L., & Norén, E. (2020). Development of computational thinking, digital competence and 21st century skills when learning programming in K-9. *Education Inquiry*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/20004508.2019.1627844>.
- Ntourou, V., Kalogiannakis, M., & Psycharis, S. (2021). A study of the impact of Arduino and Visual Programming In self-efficacy, motivation, computational thinking and 5th grade students' perceptions on Electricity. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(5), em1960. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10842>.
- Ocaña, R. (2019). Descubriendo R-Commander, (3ª ed). Escuela Andaluza de Salud Pública (EASP), Andalucía, Spain. (<http://hdl.handle.net/10668/2574>).
- Ramírez-Segado, A., Rodríguez-Serrano, M., & Benarroch, A. B. (2021). El agua en la literatura educativa de las dos últimas décadas. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021v18i1.1107.
- Reyero, C., Calvo, M., Vidal, M.P., García, E., & Morcillo, J.G. (2007). Las ilustraciones del Ciclo del Agua en los textos de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 287-294.
- Rojas, D. F., & Useche, B. (2013). Alfabetización digital en salud: un análisis del constructo en la escala "eHealth Literacy Scale-eHeals" traducida al español. *Revista eSalud. com*, 9(36), 1-14.
- Román, F. (2021). La Neurociencia detrás del aprendizaje basado en problemas (ABP). *Journal of Neuroeducation*, 1(2), 50-56.
- Sadler, T. D., Nguyen, H., & Lankford, D. (2017). Water systems understandings: a framework for designing instruction and considering what learners know about water. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(1), e1178. <https://doi.org/10.1002/wat2.1178>.
- Sáez-López, J. M., Sevillano-García, M. L., & Vázquez-Cano, E. (2019). The effect of programming on primary school students' mathematical and scientific understanding: educational use of mBot. *Educational Technology Research and Development*, 67(6), 1405-

1425. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09648-5>.

Salas-Pilco, S. Z. (2020). The impact of AI and robotics on physical, social-emotional and intellectual learning outcomes: An integrated analytical framework. *British Journal of Educational Technology*, 51(5), 1808-1825. <https://doi.org/10.1111/bjet.12984>.

Sánchez, M. E., Gutiérrez, R. C., & Somoza, J. A. G. C. (2019). Robótica en la enseñanza de conocimiento e interacción con el entorno. Una investigación formativa en Educación Infantil. *RIFOP: Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 33(94), 11-28. <https://doi.org/10.47553/rifop.v33i1.72087>.

Scaradozzi, D., Cesaretti, L., Screpanti, L., Costa, D., Zingaretti, S., & Valzano, M. (2019). Innovative Tools for Teaching Marine Robotics, IoT and Control Strategies Since the Primary School. In: Daniela, L. (eds) *Smart Learning with Educational Robotics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_8.

Schina, D., Esteve-González, V., Usart, M., Lázaro-Cantabrana, J. L. & Gisbert, M. (2020). The integration of sustainable development goals in educational robotics: A teacher education experience. *Sustainability*, 12(23), 10085. <https://doi.org/10.3390/su122310085>.

Siew, C. S. (2020). Applications of network science to education research: Quantifying knowledge and the development of expertise through network analysis. *Education Sciences*, 10(4), 101. <https://doi.org/10.3390/educsci10040101>.

Siew, C. S., Wulff, D. U., Beckage, N. M., & Kenett, Y. N. (2019). Cognitive network science: A review of research on cognition through the lens of network representations, processes, and dynamics. *Complexity*, 2019(1), 2108423. <https://doi.org/10.1155/2019/2108423>.

Soto-Ardila, L. M., Caballero Carrasco, A., Carvalho, J. L., & Casas García, L. M. (2020). Nuevo método de análisis cualitativo mediante software para el análisis de redes sociales de la percepción grupal hacia las Matemáticas. *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 58, 27-50.

Stella, M. (2022). Cognitive network science for understanding online social cognitions: A brief review. *Topics in Cognitive Science*, 14(1), 143-162. <https://doi.org/10.1111/tops.12551>.

Sujana, A., Rachmatin, D., & Panjaitan, R. (2019). Science and mathematics literacy of elementary school students related to water cycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 1318. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1318/1/012131>.

Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*, 48, 1273-1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>.

Valle, M. G. (2017). El conocimiento del ciclo del agua en el segundo ciclo de Educación Primaria. *Ikastorratza, e-Revista de didáctica*, (18), 2.

Van den Heuvel, M. P., & Sporns, O. (2013). Network hubs in the human brain. *Trends in cognitive sciences*, 17(12), 683-696. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.09.01>.

Verdugo, J., Solaz, J. & Sanjosé, V. (2019). Evaluación del Conocimiento Científico en Maestros en formación inicial: el caso de la comunidad Valenciana. *Revista de Educación*, 383, 133-162.

World Medical Association (WMA). (2024). Declaration of helsinki – ethical principles for medical research involving human subjects. (<https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>).

You, H. S., Chacko, S. M., & Kapila, V. (2021). Examining the Effectiveness of a Professional Development Program: Integration of Educational Robotics into Science and Mathematics Curricula. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 567-581. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09903-6>.

Ziaeeffard, S., Miller, M., Rastgaar, M., & Mahmoudian, N. (2017). Co-robotics hands-on activities: A gateway to engineering design and STEM learning. *Robotics and Autonomous Systems*, 97, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.07.013>.