
Ecología robótica desde el litoral: resultados de un programa fortalecedor de las habilidades para la ciencia

Robotic ecology from the coast: results of a science skills strengthening program

来自海岸的机器人生态学:科学技能强化计划的结果

Роботизированная экология с побережья: результаты программы развития научных навыков

Jhon Holguin-Alvarez

Universidad Privada Norbert Wiener
jhon.holguin@uwiener.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-5786-0763>

Juana Cruz-Montero

Universidad César Vallejo
jcruzmo@ucv.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-7772-6681>

Jenny Ruiz-Salazar

Universidad Tecnológica del Perú
c17373@utp.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-9882-3133>

Fernando Ledesma-Pérez

Universidad César Vallejo
fledesma@ucv.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4572-1381>

Fechas · Dates

Recibido: 2022-07-09
Aceptado: 2022-11-28
Publicado: 2023-01-01

Cómo citar este trabajo · How to Cite this Paper

Holguin-Alvarez, J., Cruz-Montero, J., Ruiz-Salazar, J., & Ledesma-Pérez, F. (2023). Ecología robótica desde el litoral: resultados de un programa fortalecedor de las habilidades para la ciencia. *Publicaciones*, 53(2), 13–29. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v53i2.26816>

Resumen

Introducción: Los desechos del litoral se incrementan hasta cuatro veces cada año, aunque muchos de ellos pueden generar sostenibilidad si se les aprovecha como recursos renovables; en este sentido, la investigación se basa en la propuesta STEAM de Garofalo adaptando su versión robótica ciudadina a la exploración educativa de playas. Se desarrolló un experimento de responsabilidad social mediante un programa de ecología robótica basado en tres fases pedagógicas: (a) Inteligencia ecológica social; (b) Tarea científica social y; (c) Reflexión científica; cuyos efectos intentan aportar en el cuidado sostenible de una playa contaminada.

Método: A través del paradigma positivista, estudio de diseño experimental, se conformaron dos grupos de estudiantes de un total de 80 sujetos residentes en el distrito costero de Lima. Se abordó un contexto playero contaminado, desde el cual, estudiantes de escolaridad básica realizaron el reciclaje de desechos para elaborar prototipos de robot.

Resultados: Los datos comparados en el experimento reportaron índices significativos que sustentan el incremento de las habilidades científicas y de la conciencia sobre el medio ambiente, así como los indicadores de cuidado de los elementos naturales y sus recursos. El programa de ecología robótica mejoró las habilidades de conocimiento, observación y reflexión científica.

Conclusiones: La mejora de las habilidades científicas se incrementaron de forma significativa en el grupo experimental ($t_{(74)} = -3.831; p < .005$), así como en la conciencia ambiental ($t_{(72)} = -2.720; p < .005$). Aunque las dimensiones mejoraron, las diferencias obtenidas en la capacidad de conocimiento no fueron significativas en la comparación de grupos.

Palabras clave: conciencia ambiental, habilidades científicas, robótica escolar, sostenibilidad.

Abstract

Introduction: Coastal waste increases up to four times each year, although many of them can generate sustainability if they are used as renewable resources; in this sense, the research is based on Garofalo's STEAM proposal, adapting its urban robotic version to the educational exploration of beaches. An experiment of social responsibility was developed through a robotic ecology program based on three pedagogical phases: (a) Social ecological intelligence, (b) Social scientific task, (c) Scientific reflection; whose effects try to contribute to the sustainable care of a polluted beach.

Method: Through the positivist paradigm, experimental design study, two groups of students were formed out of a total of 80 subjects residing in a coastal district of Lima. A contaminated beach context was approached, from which basic school students recycled waste to elaborate robot prototypes.

Results: The data compared in the experiment reported significant indices that support the increase in scientific skills and awareness of the environment, as well as the indicators that care for natural elements and their resources. The robotic ecology program improved the skills of scientific knowledge, observation and reflection.

Conclusions: The improvement of scientific skills increased significantly in the experimental group ($t_{(74)} = -3.831; p < .005$), as well as in environmental awareness ($t_{(72)} = -2.720; p < .005$). Although the dimensions improved, the differences obtained in knowledge capacity were not significant in the group comparison.

Keywords: environmental awareness, scientific skills, school robotics, sustainability.

Аннотация

Введение: Прибрежный мусор увеличивается в четыре раза каждый год, хотя большая его часть может обеспечить устойчивость, если будет использоваться в качестве возобновляемых ресурсов; в этом смысле исследование основано на предложении Гарофало по STEAM, адаптирующем его городскую роботизированную версию для образовательного исследования пляжей. Эксперимент по социальной ответственности был разработан с помощью роботизированной экологической программы, основанной на трех педагогических этапах: (a) Социальный экологический интеллект; (b) Социальная научная задача и (c) Научное осмысление; последствия которого должны способствовать устойчивому уходу за загрязненным пляжем.

Метод: С помощью экспериментального исследования были сформированы две группы студентов из 80 человек, проживающих в прибрежном районе Лимы. Был использован загрязненный пляж, на котором учащиеся начальной школы перерабатывали отходы для создания прототипов роботов.

Результаты: данные, сопоставленные в ходе эксперимента, показали значительные индикаторы, подтверждающие рост научных навыков и осведомленности об окружающей среде, а также показатели бережного отношения к природным элементам и их ресурсам. Программа роботизированной экологии улучшила научные знания, навыки наблюдения и размышления.

Выводы: Улучшение научных навыков значительно возросло в экспериментальной группе ($t(74) = -3,831$; $p < .005$), также как и экологическая осведомленность ($t(72) = -2,720$; $p < .005$). Хотя показатели улучшились, различия, полученные в способности к знаниям, не были значительными при сравнении групп.

Ключевые слова: экологическая сознательность, научные навыки, школьная робототехника, устойчивое развитие.

摘要

引言: 沿海废物每年以四倍速度增长,但如果将它们用作可再生资源,其中一大部分可以达到可持续性发展;从这个意义上说,这项研究基于 Garofalo 的 STEAM 提案,将其城市机器人版本应用于海滩的教育探索。通过基于三个教学阶段的机器人生态学计划开发了一项社会责任实验:(a) 社会生态智能;(b) 社会科学任务;(c) 科学反思;其影响力图为污染海滩的可持续保护做出贡献。

研究方法: 我们使用实验设计研究,将居住在利马沿海地区的80名学生组成两组受试者。学生从受污染的海滩环境中回收废物用以制作机器人原型。

研究结果: 实验中比较的数据提供了支持提高科学技能和环境意识的重要指标,以及对自然元素及其资源的关注指标。机器人生态学计划提高了科学知识、观察和反思的技能。

结论: 在实验组科学技能 ($t_{(74)} = -3.831$; $p < .005$) 以及环境意识 ($t_{(72)} = -2.720$; $p < .005$) 中表现出显著提高。虽然维度有所提高,但在知识容量方面获得的差异在组间比较中并不显著。

关键词: 环境意识、科学技能、学校机器人、可持续性。

Introducción

En Garofalo (2019) se reportan evidencias de la transformación ecológica desde el reciclaje activo en un contexto ciudadano. En esta experiencia buscamos proseguir otros trabajos que indagan en modalidades de trabajo STEAM, con la producción de elementos didácticos basados en la robótica educativa (Chalmers, 2018; Garofalo & Bacich, 2020; Gentil et al., 2019). Este trabajo reporta los resultados del desarrollo de habilidades científicas basadas en un programa de Ecología Robótica en la interrelación de tipo escuela-sociedad. Contribuye en el estudio de las habilidades básicas de observación, indagación y reflexión mediante el uso de la creatividad aunado al cuidado del medio ambiente. Estas evidencias plasman los primeros resultados en el aprendizaje en ciencia y tecnología desde una didáctica vivencial aplicada en un contexto costero latinoamericano, los cuales reflejan el incremento de las habilidades para la ciencia, el desarrollo de la responsabilidad social y las actitudes de cuidado ecológico.

Ecología robótica para la educación

La propuesta de ecología robótica fundamenta el trabajo de didácticas robóticas basadas en la superación de las dificultades para aprender ciencia y tecnología. En la propuesta de Garofalo y Bacich (2020) se hallan las necesidades del aprendizaje científico desde el desarrollo de habilidades socioemocionales a través de STEAM. Esto se evidencia en otros estudios que han reflejado el desarrollo de las interrelaciones que esquematizan el comportamiento de tipo I-C-R [individuo-computador-robot] (Oliveira et al., 2021), así también el trabajo en grupos con dificultades para aprender (Pivetti et al., 2020).

El aprendizaje social se ha establecido en la gestión educativa para desarrollar diversos componentes emocionales en los estudiantes. Ello se ha comenzado a lograr desde la gamificación, desarrollándose desde el compromiso del individuo para dominar sus propias formas de aprender mediante el aprendizaje autónomo y participativo (Donnermann et al., 2021; Lin et al., 2021; Liu et al., 2021). En este aspecto la robótica también ha sido intermediaria, sin embargo, aún las evidencias no son claras respecto al compromiso y la interacción humana cuando se intercambian procesos didácticos entre el hombre y la máquina basados en la estructuración de modelos robóticos (Donnermann et al., 2021); es así que la robótica como práctica científica permite brindar novedosas vías aún explorables en la práctica STEM (Chalmers, 2018).

Algunos estudios basados en el uso de algoritmos de simulación ya demuestran intentos por mejorar la calidad del aprendizaje y las interacciones en la colaboración entre el ser humano y el robot (Liu et al., 2021). En el área de lenguaje ya se denotan mejoras en la oralidad y el vocabulario con este tipo de interacción (Lin et al., 2021), ello también se corrobora en la interacción colaborativa de tipo comunicativa en la educación virtual basada en la investigación (Schouten et al., 2022).

En el área educativo se han encontrado otras propuestas con estructuras metodológicas innovadoras y lúdicas como el Design Thinking (Da Costa et al., 2020), las cuales ayudan a mediatizar el conocimiento previo, el conocimiento nuevo y la retroalimentación cognitiva (Da Costa et al., 2020; Gentil et al., 2019). Entre otras propuestas, el uso de materiales inorgánicos derivados de la tecnología también ha servido como una oportunidad para generar robóticas más avanzadas, autónomas y con más horas de práctica que teóricas (Bula et al., 2019; Fortunati et al., 2020); aunque el uso de diseños presentados previamente genera mejor conocimiento preventivo en el de-

sarrollo de modelos robóticos (Fortunati et al., 2020), en lugar de desarrollarse con conocimientos neutros o muy básicos. Otro enfoque se implementa desde estructuras pedagógicas de tipo R-H [robot-humano], por lo que las condiciones de desarrollo científico y actitudinal se encuentran mediadas por el uso de robots previamente sin acudir a su construcción usando desechos (Arnett et al., 2020; Castellano et al., 2021; De Albuquerque et al., 2021; Madyal et al., 2020). Estos enfoques son mucho más instruccionales que los constructoristas basados en la responsabilidad social, aunque apliquen una didáctica cada vez más gamificadora en el aula.

Los trabajos basados en el reciclaje de desechos para elaborar modelos robóticos por parte del alumnado, han desarrollado nuevos enfoques de sostenibilidad cuando el aprendizaje parte desde la escuela (Pearce et al., 2020), mediatizada por currículos orientados a la responsabilidad social. En Bélgica ya se ha buscado el ahorro de energía en el trinomio escuela-familia-sociedad. Por lo tanto, este tipo de experiencias se desarrollan para una programación educativa más participativa en la sociedad, sin limitarse al uso de manuales teóricos. En esta investigación se sostiene el desarrollo y uso de la robótica escolar como una práctica de sustentabilidad en el cuidado del agua.

En este sentido, basamos esta experiencia en un programa de robótica educativa a partir del reciclaje de residuos sólidos en un contexto en particular. Los procesos didácticos propuestos se estructuraron en tres pilares pedagógicos: Inteligencia ecológica Social [IES], Tarea científica social [TCS], Reflexión científica social [RCS]. Cada una se fundamenta en las propuestas teóricas del desarrollo de la inteligencia ecológica y social (Aghajani, 2018; Gardner et al., 1996; Nuri et al., 2014).

Con la ejecución de la fase IES se buscó generar en los estudiantes el conocimiento cultural y el reconocimiento de la diversidad de un entorno contaminante con el fin de lograr capacidad de indagación y generar nuevos conocimientos mediante la autorreflexión social. Luego, la fase TCS permite al estudiante utilizar los objetos, prevenir daños y perjuicios sobre su persona, y lograr proponer bosquejos robóticos en el aula con la réplica de otros preexistentes. En cuanto al proceso RCS, se generan cuestionamientos pedagógicos para despertar dos tipos de reflexión, uno de tipo cognitivo, sobre los modelos robóticos; y otro, de tipo social, sobre la conservación del entorno y su sostenibilidad. Los procesos propuestos aquí intentan seguir los pasos de la didáctica múltiple de Irianto et al. (2018), basándonos en la búsqueda del reconocimiento cultural y social para el desarrollo de modelos tecnológicos.

Habilidades científicas: enfoque cognitivo

Las habilidades científicas desde el enfoque cognitivo se conciben como el conjunto de capacidades que permiten desarrollar conocimientos desde la experiencia empírica (Zimmerman, 2005). Esta posición contempla al conjunto de competencias estimuladas para la búsqueda del nuevo conocimiento como precedente de los conocimientos previos que posee el estudiantado (Fisher, 2014; Valdés, 2016), al contrastarlo con los resultados obtenidos, al observar, analizar, comparar, argumentar, refutar y reflexionar sobre determinados fenómenos que le permiten llegar al conocimiento. En determinados estudiantes se han hallado mejores conocimientos ante el uso de tecnologías cuando estos ejercen tareas reflexivas mediante la interpretación del conocimiento (Chang et al., 2016), así también, el pensamiento combinatorio genera mejores habilidades cuando se provoca algún tipo de cooperación entre los miembros de un grupo estudiantil (Yuksel, 2019). Otras evidencias han reportado resultados en

que se describen el uso de la tecnología como generadora de motivación, el desarrollo del pensamiento crítico y de mejores oportunidades para aprender ciencia (Pramono et al., 2019), y la capacidad reflexiva para plantear soluciones a determinados problemas científicos.

En algunos países como China y Rusia, las políticas de la educación científica ya se implementan en el desarrollo de las habilidades de indagación, considerando la capacidad reflexiva desde el uso de la tecnología. En este sentido, si el alumno aplica el diseño y la transformación de productos digitales a sus actividades de reciclaje, tratando los residuos sólidos como los metales y el plástico podría generar actitudes reflexivas hacia la ciencia (Maiurova et al., 2022; Yang et al., 2021). Es así que, las metodologías que buscan la resolución de problemas desde el uso de estos objetos reutilizables necesitan insertarse en todas las escuelas para obtener indicadores potenciales en el cuidado del entorno (Lizana et al., 2021). Esto estimula una formación independiente, consciente e investigadora para la vida profesional.

En el estudio de Hiğde y Aktamış (2022) y Luo et al. (2020) se demuestra que la implicación del desarrollo de la indagación y análisis en disciplinas anexas a la ingeniería potencian los resultados en el rendimiento académico de los estudiantes, en el ámbito científico y computacional. Este tipo de propuestas aportan al currículo elaborado en Sudamérica, en contextos sin la ejecución de una educación científica basada en el desarrollo de proyectos. En otras latitudes ya se ha desarrollado el currículo basado en los aportes de la ciencia, las matemáticas, y la ingeniería (Aranzabal et al., 2022). Sin embargo, el problema principal en el currículo y en las didácticas escolares de América del Sur se centra en la falta de comprensión de las estrategias y el uso de los recursos, o, por lo contrario, en la coherencia entre el uso de estrategias y las características biológicas, sociales y personales de los alumnos para participar en clases que generen mejor concientización de la sostenibilidad.

En este caso, se propone el esquema educativo de tipo IES-TCS-RCS, a través de un programa de desarrollo de habilidades científicas con ecología ambiental. Sin embargo, existe especial interés en el uso de otras metodologías de tipo: Indagación [I]-Aprendizaje Basado en Problemas-Reflexión [ABP] y Retroalimentación [RR] las cuales parten de otros estudios cuyos propósitos buscan desarrollar las habilidades informacionales comunicativas y científicas en estudiantes con bajo nivel cognitivo (Ormanci & Çepni, 2020; Palupi et al., 2020). Por lo cual, adaptamos estos procesos a las fases metodológicas del programa de Ecología robótica: la fase I al proceso de inteligencia de ecología social, el cual es más reconocido como proceso motivacional; el ABP adaptado a las actividades: tareas científicas y sociales y; la reflexión autónoma adaptada al proceso RR. Esto permitió acercar el proceso científico de investigación a los estudios y propuestas centradas en el reciclaje y la búsqueda de la concientización ecológica social (Garofalo, 2019; Garofalo & Bacich, 2020).

Método

La investigación se basa en el paradigma positivista, estudio de tipo aplicado en el cual se manipula una variable independiente y se verifican sus efectos sobre otra dependiente, es así que realizamos medidas en el enfoque cuantitativo. El diseño fue experimental con pre y posprueba. En este estudio se buscó modificar las habilidades científicas (variable dependiente) desde los efectos provocados por el programa de ecología robótica (variable dependiente) en el año lectivo que cursaba un grupo de

escolares costeros. La medición de las habilidades científicas comprometió tanto las capacidades para la ciencia, así también, las competencias de concientización ambiental. Realizamos dicha medición con los instrumentos que permitieron evaluar estas condiciones sobre cada componente.

Sujetos

Comparamos metodológicamente dos grupos de estudiantes ($n_{(Exp.)} = 45$; $n_{(Cont.)} = 35$). Se seleccionaron 80 sujetos provenientes de quinto y sexto grado de primaria incluidos en el total de la muestra experimental. La cantidad de sujetos fue en su mayoría del género femenino (masculino = 39 %; femenino = 61 %), todos asistían a instituciones educativas de contextos vulnerables de distritos capitalinos. La edad promedio de los participantes fue de 10 años y 8 meses (quinto grado = 10.43; sexto grado = 11.2). Se controlaron variables como: (a) asistencia diaria al aula; (b) deficiencias cognitivas profundas; (c) edad superior al rango educativo; (d) etapas de reforzamiento pre y pos-pandemia, (d) estado de salud.

Todos los participantes brindaron su consentimiento a través de la firma del consentimiento informado parental. Dicho documento fue elaborado en concordancia con la aceptación de los padres de familia y firmado por ellos para integrar a sus hijos en el experimento. Este se cedió como parte de un ciclo de reforzamiento cognitivo del área de ciencia y tecnología en sus respectivas instituciones educativas. El proceso descrito permitió evitar sesgos como la obligación institucional directiva o la exigencia del docente. Luego de contactar a los padres de familia, se contactó a los directivos de escuela y a los profesores tutores de las aulas correspondientes quienes mediaron en la investigación en general. Este procedimiento administrativo siguió el modelo ético investigativo basado en el modelo establecido por Declaración de Helsinki y se evadió generar factores exógenos que invalidaran el estudio.

Instrumentos y procedimiento

Elaboramos una prueba de rendimiento teórico y práctico sobre las habilidades científicas, en las que se midieron las dimensiones de tipo, las cuales se indican en la Tabla 1: (a) conocimiento, (b) observación y, (c) reflexión. Las tareas ejecutadas permitieron medir el contenido de estas dimensiones mediante tareas denominadas "Situaciones Científicas". Las tareas se sustentaron en las investigaciones planteadas por Pramono et al. (2019) y Ong et al. (2015), eligiendo y diversificando las dimensiones más adecuadas para evaluar a los estudiantes del contexto. Así también, se utilizó una Escala de Concientización Ambiental con la intención de apoyar la calificación en reflexión científica, en este caso, el instrumento permitió medir los constructos: (a) conciencia sobre el entorno y, (b) creencias sobre el cuidado.

El nivel de fiabilidad alcanzado en ambos instrumentos fue aceptable ($Ins_{(a-1)} = .921$; $Ins_{(a-2)} = .890$). En la Tabla 1 se reflejan los resultados de correspondencia entre las variables y las dimensiones mediante un análisis de correlación de tipo componentes-variables. De las relaciones obtenidas para obtener correspondencias de tipo test-subtest, se encontró mayor índice entre la capacidad de observación y las habilidades científicas, y las creencias sobre el cuidado y la conciencia ambiental. Cabe señalar que todos los índices hallados superaron el índice de .70, por lo que se aceptó como una correspondencia estándar entre los factores y sus variables correspondientes.

Tabla 1

Correlaciones test-subtest en los constructos de la Prueba y la Escala

Variables	Dimensiones	r*
Habilidades científicas	Conocimiento	.891
	Observación	.901
	Reflexión	.789
Concientización Ambiental	Conciencia sobre el entorno	.871
	Creencias sobre el cuidado	.883

Nota. Los valores r son los valores respectivos al índice de correlaciones bivariadas de Pearson, se realizan correlaciones entre las variables y las dimensiones. *p < .001.

Se abordó el problema ecológico de una playa costera con un programa de responsabilidad social, dirigido en convenio de una universidad privada y tres escuelas de contextos vulnerables. El programa constó de tres fases pedagógicas [IES-TCS-RCS], ejecutándose en seis meses del período lectivo escolar. La ejecución se ejemplifica en la Figura 1. Estas permitieron a los sujetos del grupo experimental entrar en contacto con los desechos reciclados para desarrollar prototipos básicos de robots, siguiendo su criterio de creatividad siguiendo las rutas de enseñanza que aplicaron los docentes. Los estudiantes del grupo control desarrollaron actividades de reciclaje común.

Los sujetos del grupo experimental participaron en las fases IES-TCS-RCS durante seis meses. En la primera, inteligencia ecológica social, los estudiantes visitaron una playa costera del Callao hasta en cinco ocasiones en el período de dos meses; las visitas se intercalaron con el trabajo evaluativo en clase sobre la información recogida del contexto. Para el cuestionamiento se organizaron grupos de trabajo, en los cuales se analizaron: (a) contexto y características del lugar, (b) condiciones atmosféricas y acuáticas y, (c) acciones de reciclaje. La información fue recabada durante las cinco visitas; cada grupo de trabajo logró organizar preventivamente el uso de los recursos necesarios para el recojo, la selección y la revisión de los objetos útiles renovables.

En la segunda fase [tarea científica social] aplicamos la actividad de indagación científica como medio de búsqueda de la información sobre los modelos robóticos a implementar por cada grupo. En una segunda etapa, formulamos prototipos de robot en maquetas, para ello se utilizaron los recursos aprovechables, las cuales se describen en la Figura 1 (b), estos fueron sometidos a evaluación por docentes especializados en ciencia y robótica educacional. El propósito permitió fomentar la inclusión de estos prototipos en los proyectos de innovación de las escuelas para generar ingresos económicos propios. Los recursos no aprovechables fueron desechados de forma organizada desde la solicitud de desechos por la Municipalidad implicada. Estos se recolectaron en camiones compactadores para distribuirlos en los lugares de acopio correspondientes. El acopio y la compactación de residuos desarrollaron durante los tres meses posteriores a la ejecución de la primera fase.

Figura 1

Fases pedagógicas del programa de ecología robótica



(a)



(b)



(c)

Nota. La figura representa diferentes fases del programa de abordaje ecológico: (a) inteligencia ecológica social [IES], (b) tarea científica social [TCS], (c) reflexión científica social [RCS].

Finalmente, con la tercera fase: reflexión científica social, logramos organizar eventos publicitarios sobre el cuidado del medio ambiente, estas se dedicaron a criticar temáticas de tipo conocimiento-entorno, ambiente-usuario, contexto-conciencia. La primera temática sirvió para generar autocuestionamiento sobre los elementos que impiden lograr la sostenibilidad en el cuidado del entorno y lo que necesitarían los pobladores y visitantes de la playa abordada para su cuidado. Los productos fueron banners y afiches orientados a la promoción del cuidado del entorno físico (el litoral). Para la segunda y tercera temática logramos elaborar pancartas, carteles y otros que pudiesen pegarse en cada calle de ingreso a la playa, en otros ambientes cercanos a los lugares de desecho. Por cuanto, logramos realizar una crítica social el cuidado del entorno próximo de los visitantes. En este sentido, los productos fueron intangibles, debido a que se esquematizaron y ejecutaron actividades de concientización. Estas se realizaron en el último mes de ejecución del programa.

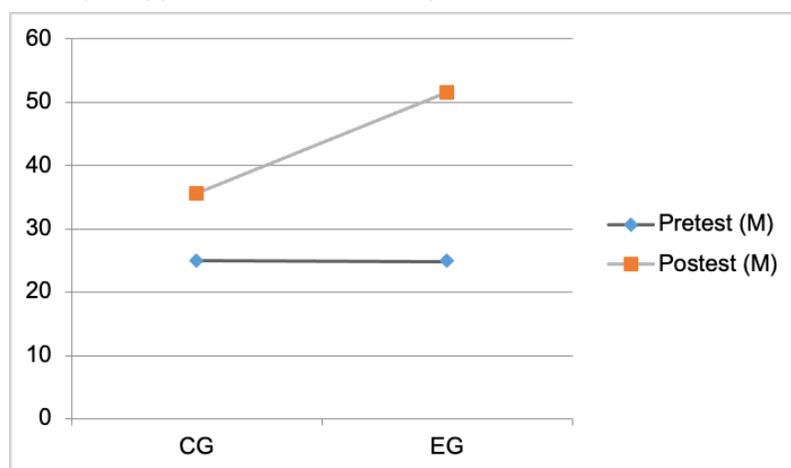
Resultados

Habilidades científicas y conciencia ambiental

Las puntuaciones iniciales de las habilidades científicas ($t_{(53)} = -1.073; p > .005$) y la conciencia ambiental ($t_{(41)} = -1.110; p > .005$) resultaron estadísticamente equitativas (sin significancia). De acuerdo a la Figura 2, los resultados globales permitieron hallar diferencias notables que sustentan la mejora de las habilidades científicas ($t\text{-SS}_{(74)} = -3.831; p < .005$) luego de ejecutar el programa de eco-robótica.

Figura 2

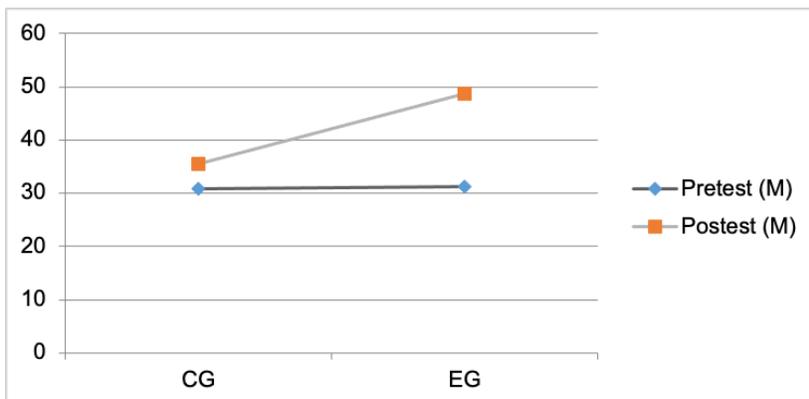
Medidas pretest y postest en las habilidades científicas



Las puntuaciones obtenidas en conciencia ambiental se denotan en la Figura 3. La comparación de medias permitió establecer incrementos considerables en el grupo experimental ($t\text{-CA}_{(72)} = -2.720; p < .005$), estas mediciones evidenciaron el desarrollo paralelo al de las habilidades científicas.

Figura 3

Medidas pretest y postest en la conciencia ambiental



Comparación en medidas promedio en dimensiones

Las puntuaciones iniciales no presentaron diferencias significativas antes de iniciar el abordaje experimental tanto en los componentes de las habilidades científicas y las de conciencia ambiental. En cambio, como se observa en la Tabla 2, se evidenciaron puntajes favorables al grupo experimental luego de aplicar las fases pedagógicas [IES-TCS-RCS] del programa de ecología robótica, las cuales representaron diferencias significativas en las dimensiones de las habilidades científicas: observación ($t_{(70)} = -2.45$), reflexión ($t_{(77)} = -2.31$).

Tabla 2

Promedio en dimensiones de las habilidades científicas y la conciencia ambiental

Dimensión	Pretest		Postest	
	CG	EG	CG	EG
Conocimiento	10.11	10.19	15.16	16.01
Observación	9.21	9.16	15.21	18.32
Reflexión	5.71	5.8	6.34	10.81
Conciencia sobre el entorno	15.20	15.01	20.41	21.30
Creencias sobre el cuidado	12.30	12.35	18.83	20.01

En cuanto a las dimensiones de la conciencia ambiental, también se reportaron diferencias en la conciencia sobre el entorno ($t_{(75)} = -2.21$), las creencias sobre el cuidado ($t_{(78)} = -2.10$). Sin embargo, la Tabla 2 también describe diferencias no significativas en la dimensión conocimiento científico ($t_{(61)} = -1.02$).

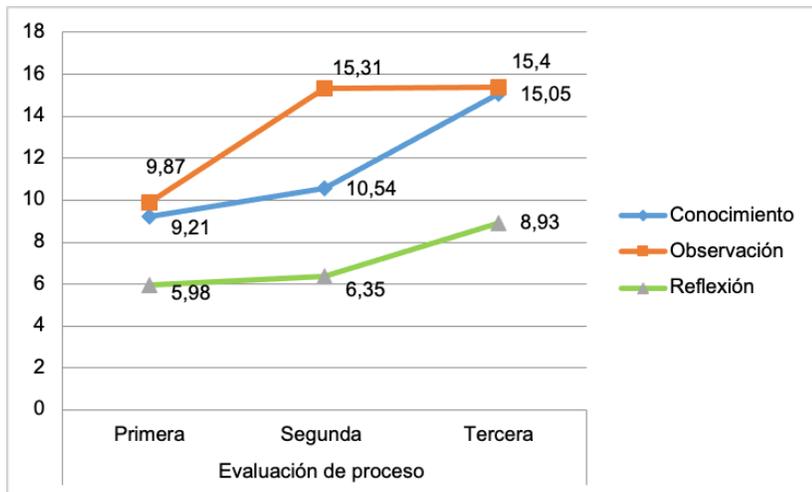
Medidas de progresión en las habilidades científicas

Para medir el progreso de las habilidades científicas en un período de seis meses se elaboraron pruebas adicionales, aplicando las evaluaciones en tres ocasiones para monitorear la calidad del progreso en cada una de las dimensiones o habilidades consideradas (conocimiento, observación, reflexión). La primera prueba se realizó unas semanas después de la aplicación de la prueba pretest, y la última, dos semanas antes de la evaluación posttest.

En la Figura 4 observamos mejor progreso en la habilidad de conocimiento, verificándose mejor diferencia entre la primera y segunda evaluación (dif. = -5.44), y entre la segunda y la tercera aplicación (dif. = -4.51). Por otro lado, fue un poco menos fluida la progresión en la dimensión observación y el incremento fue menor entre el primer y segundo reporte (dif. = -1.33). No obstante, desde la segunda evaluación se reflejan evidencias que sustentan que la propiedad para realizar observación básica fue compleja de desarrollar para los sujetos de prueba (dif. = - .09). Finalmente, se observa progreso menos evidente en la habilidad reflexiva entre la primera y la segunda evaluación. El incremento fue más pronunciado en la última evaluación (dif. = -2.58), aunque el progreso hasta esa última evaluación (M = 8.93) fue de bajo nivel respecto al inicio del programa (M = 5.98).

Figura 4

Mediciones pretest y posttest en los componentes de las habilidades científicas



Descriptivos por niveles en las variables

Para un reporte más descriptivo de las variables, categorizamos los resultados por niveles. Se halló que menos del 20 % de los individuos del grupo experimental llegó al nivel alto de habilidades científicas, más del 30 % ha presentado nivel moderado y más del 40 % presentó nivel bajo. En el grupo control, menos del 30 % representó nivel alto de estas capacidades para la ciencia; el 40 % demostró nivel moderado y más del 25 % a nivel bajo. Una vez aplicado el programa en el grupo experimental, más del 40 % llegó a nivel alto, aminorándose la cantidad de sujetos en el nivel bajo, puesto que

menos del 20 % llegó a ese nivel. En el grupo control el nivel de progreso fue estático, solo se evidenció crecimiento en el nivel moderado en el 45 % del total.

En los niveles sobre la conciencia ambiental evaluados antes de ejecutar el programa de ecología robótica, el 22 % de los sujetos del grupo control y el 24 % del grupo experimental presentaron nivel alto. El 30 % de participantes del grupo experimental y al 35 % del grupo control presentaron nivel bajo. Al finalizar el programa de intervención de la playa costera, en el grupo control los niveles fueron similares. Más del 45 % de participantes del grupo experimental logró nivel alto.

Discusión

Los hallazgos permiten aseverar que las fases del método basado en la responsabilidad [IES-TCS-RCS], aportaron en el fortalecimiento de las habilidades científicas con el despertar el conocimiento previo como ya se ha evidenciado en otros estudios (Da Costa et al., 2020; Garofalo, 2019), lo cual se ha evidenciado en los prototipos robóticos desarrollados en los estudiantes. Esto ha sido una evidencia del período constructivo de los aprendizajes científicos. En este sentido, el programa pudo integrar la creatividad hacia los procesos de indagación científica mediante STEAM en el grupo experimental como procesos de retroalimentación científica (Garofalo & Bacich, 2020; Gentil et al., 2019).

El enfoque general basado en el uso de la inteligencia ecológica social (Gardner et al., 1996; Nuri et al., 2014), y los procesos de didácticas cooperativas y motivacionales (Pramono et al., 2019; Yuksel, 2019), han aportado en la mejora de la obtención del conocimiento, en el incremento de la elaboración del conocimiento y en su reflexión. La dimensión reflexión cognitiva también se favoreció tras desarrollar el aporte en los procesos de concientización ambiental mediante la limpieza de la playa costera.

Las evidencias obtenidas de la ejecución del programa, permiten aceptar que la dimensión conocimiento tiene menor complejidad de desarrollo, ya que el grupo de alumnos desarrollaba sus clases de forma receptiva, sin rastros de ser constructivista. Algunas evidencias han comprobado que, como capacidad básica, suele aplicarse en sujetos con ciertas características al de este estudio (Donnermann et al., 2021; Schouten et al., 2022). Por lo que, la ampliación del trabajo individualista con robótica se ha transformado en esta experiencia debido a la colaboración que generan los propios individuos en su aprendizaje guiado, como también lo hacen en otros contextos a través de la colaboración cognitiva (Schouten et al., 2022; Lin et al., 2021; Liu et al., 2021). De todos modos, los procesos reflexivos evaluados en el progreso de la habilidad reflexiva parecen ir unidos a los procesos observacionales de los sujetos del experimento. Por lo cual, se sustenta que la experiencia de tipo individuo-robótica-aprendizaje, puede ser crucial debido a la estimulación que se generan en los propios procesos de las ciencias (Chalmers, 2018).

En cuanto a los factores conciencia sobre el entorno y las creencias sobre el cuidado, se han encontrado valores que sustentaron su cambio en los sujetos del grupo experimental, debido a que muchos de ellos sumaron a su conocimiento previo, eventos reflexivos basados en el análisis de su propio entorno, por lo que se pone de relevancia el uso de la información contextual sobre los desechos públicos y la calidad del ambiente que visitaron los estudiantes implicados. Si consideramos los estudios que implicaron el trabajo estudiantil mediante el conocimiento del entorno próximo (Garofalo, 2019; Garofalo & Bacic, 2020), se asume que la práctica del conocimiento

previo sumada a la búsqueda de conocimiento del contexto estimula a la generación de información científica. Así como en los estudios en que se reporta el desarrollo de los procesos de retroalimentación pedagógica en el aula (Lin et al., 2021; Nuri et al., 2014; Schouten et al., 2022; Yuksel, 2019), en el estudio encontramos que el contexto sirve como medio para retroalimentar la conciencia ambiental de los estudiantes, así también, el pensamiento crítico sobre los problemas que aquejan a su comunidad.

Finalmente, aunque no se hallaron diferencias significativas en la dimensión conocimiento, es importante notar el avance que demostraron tanto los sujetos del grupo control como los del experimental, ya que ambos descubrieron el entorno próximo al que se enfrentaban, esto los dispuso a conseguir información permanente sobre la contaminación ambiental y los entornos ambientales como una condición propiamente académica.

Conclusiones

La experiencia de ecología robótica premeditó la modificación y mejora de las habilidades científicas, desarrollándose la observación y la reflexión en los participantes del programa de abordaje de una playa costera. Esto se corroboró en las diferencias significativas obtenidas, las cuales fueron favorables al grupo experimental al culminar el programa de ecología robótica ($t_{(74)} = -3.831$; $M = 51.62$; $p < .005$). Respecto a sus formas de reflexionar, las fases de tarea científica y reflexión científica social del programa, mejoraron la conciencia sobre el entorno y cuidado del ambiente como parte de la reflexión científica estudiantil. Los resultados específicos evidenciaron efectos de mejora en el conocimiento científico, aunque los resultados son prometedores, su baja significancia estadística impiden entenderlos como evidencias totalmente determinantes.

De acuerdo al objetivo, se lograron comparar las habilidades científicas, por lo que se concluyó que se incrementaron en paralelo a la conciencia ambiental de los sujetos del grupo experimental ($t_{(72)} = -2.720$; $M = 48.78$; $p < .005$), aunque este incremento puede considerarse como una condición moralista implícita que acompaña el aprendizaje de las ciencias desde la aplicación de modelos robóticos con desechos reciclados.

La pedagogía que buscó implementar el uso de la robótica ecológica como un medio para desarrollar las capacidades para la ciencia, permitió demostrar que la fase basada en el uso de la inteligencia ecológica social, permitió que los sujetos desarrollen sus capacidades de observación y análisis de la información que les rodea, estableciéndose el conocimiento sobre el entorno y los factores contaminantes del ambiente. Por otro lado, las tareas directas con los recursos renovables han permitido desarrollar el conocimiento robótico en cada estudiante y el pensamiento analítico como medio para lograr el conocimiento científico. La reflexión científica promovió tanto el desarrollo de los actos de otros ciudadanos, de sus competencias para cuidar el entorno, así como el conocimiento de los factores que logran la sostenibilidad de este cuidado.

El estudio contribuyó a aclarar nexos entre el aprendizaje de las ciencias, la conservación vivida del ambiente y el uso de los desechos como método de educación STEM. Se pone de manifiesto que la habilidad para conocer es crucial a las capacidades de observación y reflexión, aunque en contextos en que el aprovechamiento del entorno natural son temas de necesidad social (ambiental). Estas últimas competencias generan un pensamiento conservador más amplio, competencias para el análisis investigativo y actitudes positivas hacia la robótica creativa en la etapa de escolaridad.

Financiamiento

La investigación fue financiada con fondos del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Norbert Wiener [Código de Registro No. 1868-2022].

Referencias

- Aghajani, M. (2018). Types of Intelligences as Predictors of Self-Efficacy: A Study on Iranian EFL Students. *International Journal of Research in English Education*, 3(4), 12-6. <http://dx.doi.org/10.29252/ijree.3.4.12>
- Aranzabal, A., Epelde, E., & Artetxe, M. (2022). Team formation on the basis of Belbin's roles to enhance students' performance in project based learning. *Education for Chemical Engineers*, 38, 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.09.001>
- Arnett, M., Luo, Z., Paladugula, P. K., Cardenas, I. S., & Kim, J.-K. (2020). Robots Teaching Recycling: Towards Improving Environmental Literacy of Children. *HRI '20: Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 615-616. <https://doi.org/10.1145/3371382.3379462>
- Bula, I., Hajrizi, E., & Kunicina, N. (2019). Demonstration of the use of robotics in the development of a scrap processing model for mechatronic education. *IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982323>
- Castellano, G., De Carolis, B., D'Errico, F., Macchiarulo, N., & Rossano, V. (2021). Pepperecycle: Improving Children's Attitude Toward Recycling by Playing with a Social Robot. *International Journal of Social Robotics*, 13, 97-111. <https://doi.org/10.1007/s12369-021-00754-0>
- Chang, C. J., Liu, C. C., & Tsai, C. C. (2016). Explicaciones científicas de apoyo con dibujos y narraciones en tabletas: un análisis de patrones de explicación. *Asia-Pacific Education Researcher*, 25, 173-184. <https://doi.org/10.1007/s40299-015-0247-0>
- Chalmers, C. (2018). Robotics and computational thinking in primary school. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 17, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.06.005>
- Da Costa, A., Rodrigues, F., & Ramírez, L. (2020). Creative robotics for the development of inclusive Maker culture in elementary education: the case of the Capistrano de Abreu Municipal School, in São Paulo, Brazil. *Revista de Investigación en Educación Militar*, 1(1), 69-91. <https://doi.org/10.47961/27450171.7>
- De Albuquerque, A. P., Kelner, J., Hung, P.C.K., De Souza Jeronimo, B., Rocha, R., & Ribeiro, A. F. (2021). Toy user interface design—Tools for Child-Computer Interaction. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 30, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100307>
- Donnermann, M., Lein, M., Messingschlager, T., Riedmann, A., Schaper, P., Steinhaeuser, S., & Lugrin, B. (2021). Social robots and gamification for technology supported learning: An empirical study on engagement and motivation. *Computers in Human Behavior*, 121, 106792. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106792>
- Emmiyati, N., Rasyid, M. A., Rahman, M. A., Arsyad, A., & Dirawan, G. D. (2014). Multiple Intelligences Profiles of Junior Secondary School Students in Indonesia. *International Education Studies*, 7(11), 77-103. <https://doi.org/10.5539/ies.v7n11p103>

- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussman, H., Pekrun, R., Neuhaus, B., Dorner, B., Pankofer, S., Fischer, M., Strijbos, J. W., Heene, M., & Eberle, J. (2014). Scientific Reasoning and Argumentation: Advancing an Interdisciplinary Research Agenda in Education. *Frontline Learning Research*, 2(3), 28-45. <https://doi.org/10.14786/flr.v2i2.96>
- Fortunati, L., Manganelli, A. M., & Ferrin, G. (2022). Arts and crafts robots or LEGO® MINDSTORMS robots? A comparative study in educational robotics. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 287–310. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09609-7>
- Gardner, H., Kornhaber, M. L., & Wake, W. K. (1996). *Intelligence: Multiple perspectives*. Harcourt Brace College Publishers.
- Garofalo, D. D. (2019). Robotics with scratch a creative education for all. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, 15(34), 1-21. <https://doi.org/10.21713/rbpg.v15i34.1611>
- Garofalo, D. D., & Bacich, L. (2020). Um olhar para aprendizagem socioemocional no STEAM. En L. Bacich, L. Holanda (Org.). *STEAM em sala de aula: a aprendizagem baseada em projetos integrando conhecimentos na educação básica*, 9. Grupo Educação SA.
- Gentil, D., Martins, F., Palheta, M. C., & Da Silva, W. (2019). Robótica pedagógica na amazônia-aprendizagem significativa e conectividade na Educação 4.0. *Anais IV CONAPESC* (2019). <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57203>
- Hiğde, E., & Aktamış, H. (2022). The effects of STEM activities on students' STEM career interests, motivation, science process skills, science achievement and views. *Thinking Skills and Creativity*, 43, 101000. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101000>
- Irianto, D., Herlambang, Y., & Hana, Y. (2018). Multiliteration model based on Eco pedagogy Approach in improving ecological Intelligence and developing characters. *Universitas Pendidikan Indonesia*, 135-142. <http://proceedings.upi.edu/index.php/icee/article/view/30/27>
- Lin, V., Yeh, H.-C., Huang, H.-H., & Chen, N.-S. (2021). Enhancing EFL vocabulary learning with multimodal cues supported by an educational robot and an IoT-Based 3D book. *System*, 104, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.system.2021.102691>
- Liu, X., Huang, P., & Ge, S. S. (2021). Optimized control for human-multi-robot collaborative manipulation via multi-player Q-learning. *Journal of the Franklin Institute*, 358 (11), 5639-5658. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2021.03.017>
- Lizana, J., Manteigas, V., Chacartegui, R., Lage, J., Becerra, J. A., Blondeau, P., Rato, R., Silva, F., Gamarra, A. R., Herrera, I., Gomes, M., Fernandez, A., Berthier, C., Gonçalves, K., Alexandre, J. L., Almeida-Silva, M., & Almeida, S. M. (2021). A methodology to empower citizens towards a low-carbon economy. The potential of schools and sustainability indicators. *Journal of Environmental Management*, 284, 112043. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112043>
- Luo, F., Antonenko, P. D., & Davis, E. C. (2020). Exploring the evolution of two girls' conceptions and practices in computational thinking in Science. *Computers & Education*, 146, 103759. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103759>
- Maiurova, A., Kurniawan, T. A., Kustikova, M., Bykovskaia, E., Othman, M. H. D., Singh, D., & Goh, H. W. (2022). Promoting digital transformation in waste collection service and waste recycling in Moscow (Russia): Applying a circular economy paradigm to mitigate climate change impacts on the environment. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131604>

- Madyal, J., Platte, L., Arndt, J., Spangenberg, M., & Zähl, K. (2020). MoBi - An Interactive Classroom Robot Helping Children to Separate Waste. *HRI '20: Companion of the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 629–630. <https://doi.org/10.1145/3371382.3379459>
- Oliveira, R., Arriaga, P., Santos, F. P., Mascarenhas, A., & Paiva, A. (2021). Towards prosocial design: A scoping review of the use of robots and virtual agents to trigger prosocial behavior. *Computers in Human Behavior*, 114, 106547. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106547>
- Ong, E. T., Ramiah, P., Ruthven, K., Salleh, S. M., Yusuff, N. A. N., & Mokhsein, S. E. (2015). Acquisition of Basic Science Process Skills among Malaysian Upper Primary Students. *Research in Education*, 94(1), 88-101. <https://doi.org/10.7227/RIE.0021>
- Ormançı, Ü., & Çepni, S. (2020). Investigating the Effects of web-based Science Material for Guided Inquiry Approach on Information and Communication Skills of Students. *Participatory Educational Research*, 7(1), 201-219. <https://doi.org/10.17275/per.20.12.7.1>
- Palupi, B., Subiyantoro, S., Rukayah, & Triyanto. (2020). The Effectiveness of Guided Inquiry Learning (GIL) and Problem-Based Learning (PBL) for Explanatory Writing Skill. *International Journal of Instruction*, 13(1), 713-730. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13146a>
- Pearce, H., Hudders, L., & Van de Sompel, D. (2020). Young energy savers: Exploring the role of parents, peers, media and schools in saving energy among children in Belgium. *Energy Research & Social Science*, 63, 101392. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101392>
- Pivetti, M., Di Battista, S., Agatolio, F., Simaku, B., Moro, M., & Menegatti, E. (2020). Educational Robotics for children with neurodevelopmental disorders: A systematic review. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05160>
- Pramono, S., Prajanti, S., & Wibawanto, W. (2019). Virtual Laboratory for Elementary Students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1387/1/012113>
- Schouten, A. P., Portegies, T. C., Withuis, I., Willemsen, L. M., & Mazerant-Dubois, K. (2022). Robomorphism: Examining the effects of telepresence robots on between-student cooperation. *Computers in Human Behavior*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106980>
- Valdés, A., Arteaga, L., & Martínez, J. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio. Retos y sugerencias. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 169-176. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/321>
- Yang, Y., Chen, L., & Xue, L. (2021). Looking for a Chinese solution to global problems: The situation and countermeasures of marine plastic waste and microplastics pollution governance system in China. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 19(4), 352-357. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2022.01.008>
- Yuksel, I. (2019). The effects of research inquiry based learning on the scientific reasoning skills of prospective science teachers. *Journal of Education and Training Studies*, 7(4), 273-278. <https://doi.org/10.11114/jets.v7i4.4020>
- Zimmerman, C. (2005). *The Development of Scientific Reasoning Skills: What Psychologists Contribute to an Understanding of Elementary Science Learning*. <https://www.informalscience.org/development-scientific-reasoning-skills-what-psychologists-contribute-understanding-elementary>