

Enseñando STEM con Arduino a alumnos de primaria

Antonio Menacho
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
amenacho@ieec.uned.es

Pedro Plaza
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
pplaza@ieec.uned.es

Manuel Blázquez
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
mblazquez@ieec.uned.es

Elio San Cristóbal
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
elio@ieec.uned.es

África López-Rey
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
alopez@ieec.uned.es

Bianca Quintana
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
bquintana@ieec.uned.es

Clara Pérez
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
clarapm@ieec.uned.es

Manuel Castro
DIEECTQAI
UNED
Madrid, Spain
mcastro@ieec.uned.es

Guillermo Botella
DACYA
UCM
Madrid, Spain
gbotella@ucm.es

Abstract— El número de estudiantes matriculado en grados de ingeniería ha ido descendiendo en los últimos años, a pesar de la introducción de asignaturas de tecnología en secundaria y bachillerato, lo que representa un inconveniente dado que la demanda de titulados en estas materias es creciente. La realización de experimentos facilita a los estudiantes la comprensión de los mismos, al tiempo que ayuda a afianzar los conceptos mostrados. En este trabajo se ha llevado a cabo una experiencia docente mediante la utilización de Arduino en niveles educativos inferiores para la demostración de algunos conceptos STEM, obteniendo resultados que indican que la utilización de estas herramientas ayuda a que los estudiantes sientan la tecnología como una herramienta útil para su aprendizaje.

Keywords— *Arduino, STEM.*

I. INTRODUCCIÓN

La evolución del desarrollo tecnológico indica que la demanda de personas con habilidades en materias de ciencia y tecnología, lo que se conoce como STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), irá creciendo progresivamente.

Mientras que el mercado laboral requiere cada vez más profesionales de estas ramas, el número de matriculados en las titulaciones STEM solo representa el 24,6% del total de estudiantes universitarios en España. Además, en los últimos años se viene detectando un descenso en el número de alumnado matriculado en estudios de ingeniería [1]. En concreto, el número de estudiantes matriculados en titulaciones STEM ha descendido un 30,5% desde el curso 2000/01 [2].

Por otro lado, un 33% de los estudiantes matriculados en el Sistema Universitario Español (SUE), no finaliza el grado que inició y un 21% no termina estudios universitarios [3], [4].

Por si esto fuera poco, la tasa de abandono es mayor en titulaciones de las áreas científicas y técnicas [3], [4].

Este abandono, además, tiene un alto coste económico para el país, que se cifra en torno a los 1.000 millones de euros al año, ya que se realiza una inversión en plazas universitarias que no produce un rendimiento final para la sociedad. Este coste se estima que supone un 12% del gasto de los centros universitarios, tanto públicos como privados [3].

Es decir, cuando el mercado laboral necesita de más profesionales con competencias para el desarrollo de actividades económicas basadas en la digitalización, la tecnología y las ciencias, el número de estudiantes matriculados en las titulaciones que forman en estas competencias desciende de forma continua.

Aunque se han introducido asignaturas relacionadas con la tecnología en educación secundaria y bachillerato, no parece que este hecho esté generando el entusiasmo necesario entre el alumnado como para que decidan optar por estas ramas de conocimiento.

Resulta evidente, por tanto, que hay que emprender acciones para que las titulaciones STEM presenten un mayor atractivo para los futuros estudiantes universitarios, de forma que el estudio de estas materias les resulte más atractivo y/o motivador, que resulten lo suficientemente interesantes como para que sean consideradas como las profesiones a practicar durante su vida laboral. De lo contrario, la falta de profesionales en estas materias podría suponer retrasos en el desarrollo del país y, por supuesto, falta de liderazgo tecnológico, con los inconvenientes que pueden acarrear.

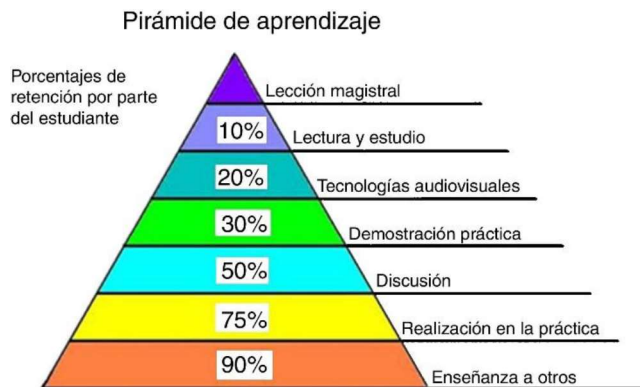


Fig. 1: Pirámide de aprendizaje [5]

Y estas acciones para fomentar el estudio de las habilidades STEM pueden comenzar en la educación primaria.

Según la pirámide de aprendizaje desarrollada por *The NTL Institute for Applied Behavioral Science* [6], al realizar demostraciones prácticas se aumenta un 10% la retención de conocimientos por parte del alumnado con respecto a la utilización de tecnologías audiovisuales [5] (Fig. 1).

Existen numerosos trabajos en los que se ha empleado Arduino como apoyo educativo para introducir a los estudiantes en la robótica [7], [8], programación [9], etc., así como otras herramientas con el mismo fin [10].

P. Martín-Ramos [11] propone un trabajo basado en proyectos con Arduino, realizados durante el verano, para captar alumnado de bachillerato para las titulaciones STEM.

En el caso de habilidades STEM, J.L. Martín [12] realizó un estudio sobre la creatividad, el pensamiento sistemático, la resolución de problemas y el trabajo en equipo mediante la realización de proyectos utilizando Arduino.

R. Shultz [13] propone la enseñanza de habilidades de ingeniería y la introducción de conceptos de ciberseguridad en estudiantes de primaria.

P. Plaza [14] creó una herramienta colaborativa para la enseñanza de robótica basada en lógica programable y Arduino.

Estos últimos estudios requieren de un cierto tiempo de dedicación que implicaría la reducción de tiempo disponible para la impartición de otras materias, por lo que resultarían complicadas de implantar en educación primaria, tal como está planteada en España.

Con este trabajo se pretende introducir Arduino y algunos shields para la realización de experimentos de ciencias en el nivel de primaria, de forma que los estudiantes sientan esta tecnología más cercana, como una herramienta que puede ayudarles a observar experimentos sobre conceptos de ciencias que hasta ahora solo podían leer en el libro utilizado en clase. Es decir, la idea no es enseñar Arduino o programación, sino utilizarlo como una herramienta simple y económica para la realización de estos experimentos.

II. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

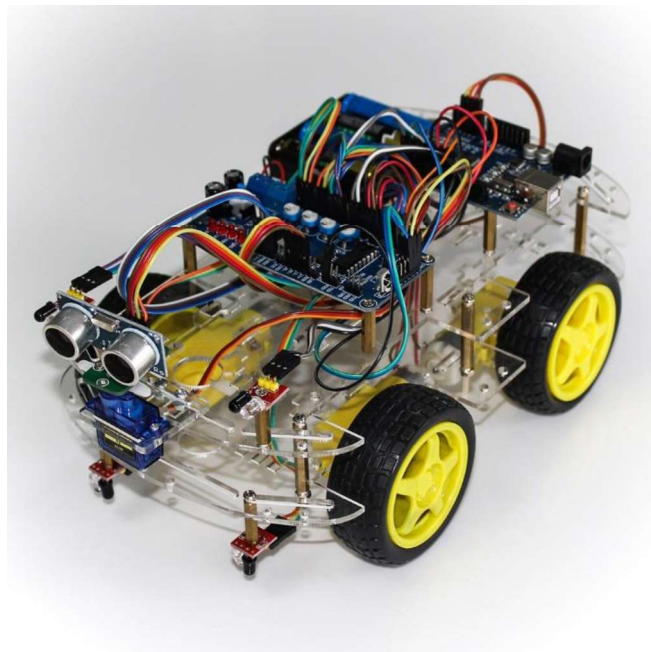
La experiencia mostrada en este trabajo se ha llevado a cabo en dos clases de primaria compuestas, en conjunto, por un total de 60 alumnos de ambos sexos.

El planteamiento del trabajo se ha realizado de forma que no ocupe más de una hora lectiva, tratando de hacer una presentación amena y que llame la atención de los estudiantes.

Se han abordado los siguientes conceptos:

A. Robótica

Inicialmente se muestra al alumnado varias fotografías de diversos robots y se les pregunta si consideran que son robots o no. Se comienza con un robot de aspecto humanoide (C-3PO de la guerra de las galaxias), un brazo robótico, un robot de transporte en factoría y, finalmente, un robot Arduino para seguimiento de línea de aspecto tosco (Fotografía 1).



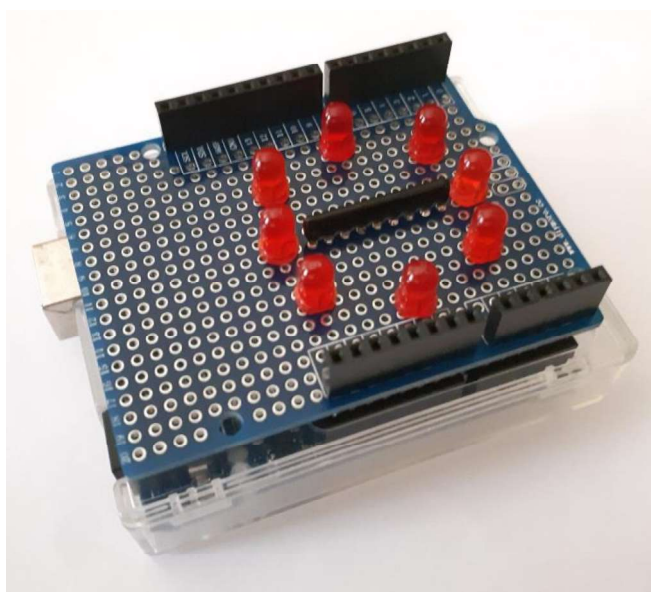
Fotografía 1: Robot seguidor de línea basado en Arduino (ebay.es).

Para los estudiantes queda claro que el robot de aspecto humanoide es un robot, pero la certeza disminuye con aquellos robots que no presentan un aspecto tan similar a un humano. En el caso del robot Arduino algunos alumnos dicen que se trata de un coche, no de un robot.

Para explicar por qué se utilizan robots, se emplea un montaje formado por 8 LEDs (*Light Emitting Diode*) instalados sobre una tarjeta de pruebas de formato Arduino UNO (Fotografía 2), alimentados a través de pulsadores y cables. Se solicita a un estudiante que encienda y apague repetidamente un LED. Posteriormente se le solicita que lo haga con dos LEDs y así sucesivamente hasta que le resulta imposible abarcar más. Entonces se explica a los estudiantes que los robots se utilizan para realizar tareas repetitivas, tareas que no necesitan ser explícitamente realizadas por seres humanos, tareas que necesitan más precisión que la que podemos tener los seres humanos o tareas que no pueden ser realizadas por humanos porque serían muy peligrosas.

Mientras tanto, se conectan de forma aleatoria los LEDs mediante cables a un Arduino UNO previamente programado para encenderlos de forma secuencial. Esto hace que los LEDs vayan luciendo de forma aparentemente aleatoria, por lo que los alumnos pueden observar que mediante un simple microcontrolador se puede realizar la tarea que no era posible realizar manualmente.

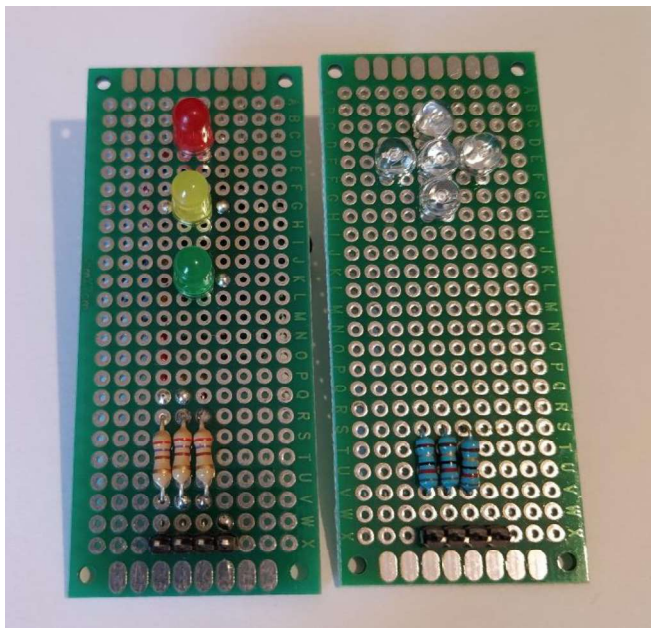
Finalmente, con el fin de llamar la atención del alumnado, se eliminan todos los cables y se instala la tarjeta directamente sobre Arduino, consiguiéndose que los LEDs se enciendan de manera secuencial circular, de forma que funciona como una luz giratoria en vehículos de emergencias.



Fotografía 2: Conjunto de LEDs montados sobre tarjeta de formato Arduino UNO.

A continuación, se presenta el control de un semáforo mediante el mismo Arduino UNO que se ha utilizado en el ejemplo anterior, cambiando la programación delante del alumnado. De esta forma los estudiantes pueden ver cómo el mismo dispositivo puede ser utilizado para varias funciones.

El primer semáforo se realiza mediante tres LEDs de distintos colores, mientras que el segundo se realiza mediante LEDs RGB (Fotografía 3). Se comenta a los alumnos que los actuales semáforos están contruidos mediante LEDs y que quizás en un futuro no muy lejano solo tengan una luz que cambie de color con el mismo dispositivo.



Fotografía 3: semáforos contruidos con LEDs de tres colores y un LED RGB.

B. Espectro visible

Posteriormente se ha preguntado al alumnado por cuántos colores forman el arco iris. Aunque no todos los estudiantes lo saben, en conjunto han respondido que siete, lo que era de esperar porque son los colores con los que habitualmente se representa en los libros de texto.

Mediante la utilización de un prisma se ha recreado el efecto del arco iris, es decir, la descomposición de la luz blanca en el espectro visible para los seres humanos. Se ha explicado al alumnado que, aunque en realidad hay miles de colores, no solo siete, existen algunos que no son visibles por los humanos, como es el caso de los infrarrojos y los ultravioletas. Se explica cómo otros seres vivos pueden detectar la radiación infrarroja: los mosquitos.

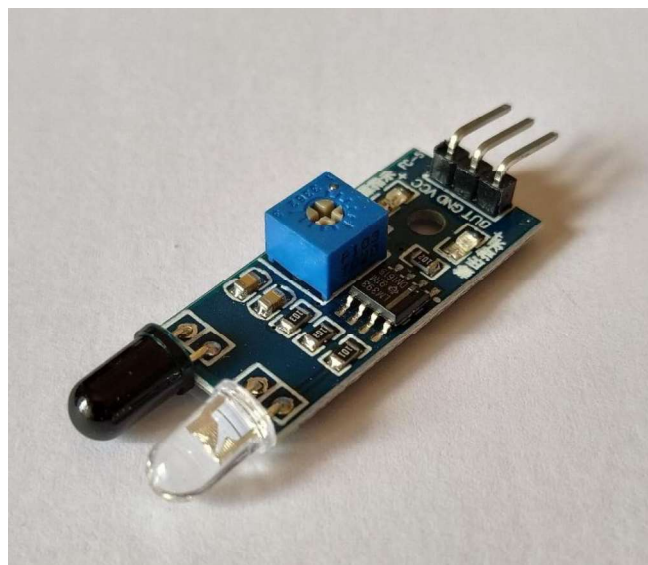
Para reafirmar el concepto de que la luz blanca está formada por la suma del resto de colores se propone la realización del proceso inverso mediante otro experimento simple: la obtención del color blanco a partir del resto de colores. Para ello se ha hecho girar una superficie circular con los diversos colores hasta que se ha visualizado el blanco.

C. Espectro no visible

Dado que ya se ha introducido la existencia de colores no visibles por el ser humano, se les ha preguntado si han utilizado alguna vez luces infrarrojas. La respuesta es no.

Como ejemplo de espectro no visible se trabaja con los infrarrojos, mostrándose un mando a distancia de TV, que todos utilizamos hoy en día. El hecho de que un mando a distancia funcione con infrarrojos vuelve a causar sorpresa entre el alumnado.

Se ha pasado entonces a mostrar LEDs infrarrojos que, aunque se conectan al mismo circuito con pulsadores utilizado anteriormente, parece que no se encienden.



Fotografía 4: sensor de infrarrojos FC-51.

A continuación, se ha utilizado un *shield* de Arduino, en concreto el modelo FC-51 (Fotografía 4) y, aislando el diodo receptor, se demuestra que el LED infrarrojo que parecía que no funcionaba es capaz de activar el sensor. Esto se hace con la intervención de otro alumno/a para que lo active o no a su elección. Posteriormente se utiliza el mando a distancia de la TV para activar el sensor, demostrándose que emplea un LED

infrarrojo para comunicarse con la TV, es decir, está emitiendo luz, aunque no la veamos.

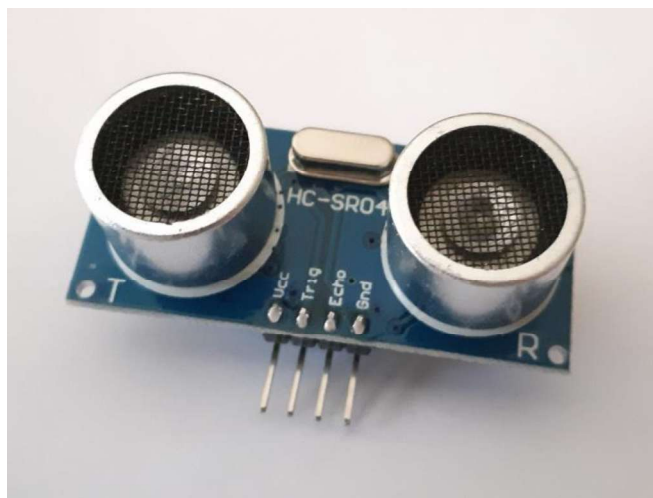
Se realizan varias pruebas para que los estudiantes puedan ver cómo funciona este *shield* y los LEDs infrarrojos.

A continuación, se explica cómo este circuito se utiliza en un robot seguidor de línea basado en Arduino y se realiza una demostración de funcionamiento del robot mostrado al inicio de la clase. Esta parte del trabajo es la que más expectación levanta entre el alumnado y se aprovecha este hecho para recalcar los conceptos trabajados.

D. Espectro audible y no audible

Del mismo modo que hay radiaciones que no son detectadas por los humanos, se explica a los alumnos que ocurre lo mismo con el sonido. Se pone el ejemplo de los murciélagos, que son capaces de guiarse mediante ultrasonidos, o los elefantes, que se comunican a muy larga distancia usando señales de baja frecuencia. En ambos casos, ultrasonidos y sonidos de baja frecuencia, inaudibles para los humanos.

Se presenta al alumnado un módulo de ultrasonidos, el sensor HC-SR04 (Fotografía 5). Con este módulo y con Arduino UNO se ha implementado un equipo con el que detectar la distancia a la que se encuentra un objeto, tal y como hacen los murciélagos para evitar chocar con algún obstáculo o tal como funciona el sistema instalado en muchos vehículos para detectar distancias a la hora de aparcar. Así se demuestra a los estudiantes que esta tecnología es de uso cotidiano y que algunos de ellos la ven a diario.



Fotografía 5: sensor de ultrasonidos HC-SR04.

III. EVALUACIÓN

El documento “Enseñanzas propias para la Educación Primaria”, área de Ciencias de la Naturaleza [15], recoge criterios de evaluación de los contenidos de esta área. Así, el criterio de evaluación C.E.2.6. pretende evaluar “...las propiedades elementales de la luz natural, la descomposición del color...” con respecto a los contenidos del “Bloque 4: “Materia y Energía”: 4.9. La descomposición de la luz blanca. El color”.

En el mismo documento se recoge el criterio de evaluación C.E.3.6. para “...evaluar los conocimientos adquiridos sobre las propiedades básicas del sonido y su naturaleza...”.

Con el fin de introducir la menor distorsión posible en las respuestas del alumnado, ha sido el profesorado que dirige ambas aulas quienes han evaluado la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes, como hacen habitualmente, y la percepción de estos con respecto a la utilización de Arduino y shields.

Para evaluar los conocimientos han realizado un cuestionario con preguntas similares a las que formulan en las evaluaciones habituales, relacionadas con la materia tratada en este trabajo.

El cuestionario, además, incluía las siguientes cuestiones:

- Indica si te ha resultado más o menos fácil comprender la composición de la luz blanca.
- Indica si te ha resultado más o menos fácil comprender qué son los ultrasonidos.
- ¿Te gustaría utilizar este tipo de demostraciones con otras materias de estudio?

IV. RESULTADOS

Los resultados reportados por el profesorado son los siguientes:

La retención por parte del alumnado de los conceptos abordados en este trabajo ha aumentado en un 14%, con respecto a resultados anteriores. Es decir, las calificaciones que habrían obtenido estos estudiantes habrían sido superiores.

Con respecto a las tecnologías utilizadas, el profesorado considera que han atraído la atención del alumnado, que ha prestado más atención de la habitual durante las sesiones realizadas.

El 77% de los estudiantes han indicado que les ha resultado más fácil comprender los conceptos abordados gracias a que han podido comprobar lo que se les explicaba. El resto ha indicado que les ha resultado igual de fácil.

En cuanto a si les gustaría que se les explicasen otros conceptos utilizando estas herramientas, han respondido todos que sí.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se han realizado diversos experimentos de ciencias mediante la utilización de Arduino y shields con el fin de afianzar los conocimientos STEM del alumnado de primaria.

La utilización de estas herramientas para este propósito, en educación primaria, ha resultado positiva, incrementando la retención de conocimiento en el alumnado, como cabría de esperar según se recoge en la pirámide de aprendizaje.

Con la utilización de estas herramientas, los estudiantes han encontrado una mayor facilidad para la comprensión y asimilación de estas materias.

El alumnado se muestra receptivo para la utilización de este tipo de tecnología para el estudio de asignaturas STEM.

Esta experiencia se debería extender a más alumnos y colegios, con el fin de tener una población de estudio mayor que pueda confirmar los resultados obtenidos. Esto no ha sido posible durante este curso.

Se pueden implementar experimentos sobre otras materias STEM.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la participación del CEIP Álvarez Quintero de Utrera y su profesorado, por su disposición para llevar a cabo esta experiencia educativa. También quieren agradecer el soporte del proyecto GID2016-17 "Laboratorios de STEM y robótica educativa para la mejora de la experiencia del estudiante-STEM-SEC", Proyecto de Innovación Docente (PID) para Grupos de Innovación Docente (GID), UNED.

REFERENCIAS

- [1] BOE: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [2] La contribución socioeconómica del sistema universitario español, CRUE, <http://www.crue.org/Documentos%20compartidos/Publicaciones/Informe%20contribucion%20socioeconomica%20del%20SUE/La%20contribucion%20socioeconomica%20del%20sistema%20universitario%20espa%C3%B1ol%20WEB.pdf>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [3] Informe U-Ranking 2019, Fundación BBVA-Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (IVIE), <https://www.fbbva.es/notas-prensa/un-33-de-los-alumnos-no-finaliza-el-grado-que-inicio-y-un-21-abandona-sin-terminar-estudios-universitarios/>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [4] Ranking Universidades Españolas, <https://www.u-ranking.es/index2.php>. Fecha de consulta: 2-1-2020.
- [5] L.H. Ros Mendoza, Y. Navarro Monforte, T. Rambla Sanz, La enseñanza en Radiología: un nuevo método para planificar y evaluar por competencias, *Revista Argentina de Radiología*, Volume 81, Issue 4, 2017, Pages 279-284, ISSN 0048-7619, <https://doi.org/10.1016/j.rard.2017.02.002>. [14] L. M. Herger and M. Bodarky, "Engaging students with open source technologies and Arduino," in *Proc. 5th IEEE Integr. STEM Educ. Conf. (ISEC)*, Princeton, NJ, USA, 2015, pp. 27–32.
- [6] The NTL Institute for Applied Behavioral Science <https://www.ntl.org/>.
- [7] Plaza, P., Sancristobal, E., Carro, G., Blazquez, M., García-Loro, F., Martín, S., Pérez, C., & Castro, M. (2018). Arduino as an Educational Tool to Introduce Robotics. 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 1-8.
- [8] P. Plaza, E. Sancristobal, G. Fernandez, M. Castro and C. Pérez, "Collaborative robotic educational tool based on programmable logic and Arduino," 2016 Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), Seville, 2016, pp. 1-8.
- [9] Beug, A. Teaching Introductory Programming Concepts: A Comparison of Scratch and Arduino. Master Thesis, 2012.
- [10] Pedro Plaza, Elio Sancristobal, German Carro, Manuel Blazquez, Félix García-Loro, Mónica Muñoz, María Jose Albert, Belen Morinigo, Manuel Castro, "STEM and Educational Robotics Using Scratch", Global Engineering Education Conference (EDUCON) 2019 IEEE, pp. 330-336, 2019.
- [11] Pablo Martín-Ramos, M. Margarida Lima da Silva, Maria Joao Lopes, and Manuela Ramos Silva. 2016. Student2student: arduino project-based learning. In Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 79–84. DOI:<https://doi.org/10.1145/3012430.3012500>.
- [12] Martín, Jose L., Martínez, P., Fernández, G.M., Bravo, C., Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico, Seminario Modelos innovadores en las aulas: aprender en la sociedad del conocimiento, escuelas y tecnologías, 2016.
- [13] Shultz, R., & Ueda, D. E., & Ward, J. S., & Fontecchio, A. K. (2015, June), A Hands-On, Arduino-Based Approach to Develop Student Engineering Skills and Introduce Cybersecurity Concepts to K-12 Students, ASEE Annual Conference & Exposition, 2015, Seattle, Washington. 10.18260/p.23395.
- [14] Plaza, P., Sancristobal, E., Fernandez, G., et al.: 'Collaborative robotic educational tool based on programmable logic and arduino'. 2016. Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE), Seville, Spain, 22–24, June 2016, pp. 1–8.
- [15] Junta de Andalucía, Consejería de Educación Cultura y Deporte: [http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/curriculo-primaria/pdf/PDF/Ciencias de la Naturaleza/01-0ciencias de la naturaleza.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/curriculo-primaria/pdf/PDF/Ciencias%20de%20la%20Naturaleza/01-0ciencias%20de%20la%20naturaleza.pdf). Fecha de consulta: 19-12-2020.