

La robótica como herramienta de motivación para niños y jóvenes

G. Carro, Member, IEEE, E. Sancristobal, Member, IEEE, P. Plaza, Member, IEEE

Abstract— Training is critical on engineering and technology disciplines, and it must be used to encourage today's children and youngsters to become the engineers and scientists of the future. For this reason, the Techno Museum Project carried out a series of workshops that used robotics as a motivational item to bring electronics and programming closer to children from 6 to 18 years. These topics are, a priori, commonly considered complex. The effects of these experiences on engineering and science understanding were analyzed. This work presents those analyses, which prove that a methodology based on the use of robotic equipment increases the motivation and curiosity of children and young people towards the use of new technologies. Motivation promotes their will to understand engineering and science. The paper shows the processes carried out by the Techno Museum Project. As for the results, a set of questions was asked to each of the participants in the experience. We will conclude that the use of mechatronics and robotics on education is a powerful motivational tool to enhance the interests of children and young people with minimal training on science and engineering.

Keywords— Elementary education; improving classroom teaching; interactive learning environments; pedagogical issues; teaching/learning strategies.

I. INTRODUCCIÓN

EN las últimas dos décadas, la información se ha convertido cada vez más en una herramienta para crear valor (Lin & Chiang, 2011; Lin, 2009; Chick, 1989). La formación y la cualificación tienen una creciente relevancia en temas como la ingeniería (Fernández, Castro Gil & Mur Pérez, 2012). Sin embargo, los estudiantes a veces se alejan de estas disciplinas porque piensan que son demasiado difíciles o demasiado abstractos para ellos.

El conocimiento previo de estos temas y la percepción de que el mundo que nos rodea utiliza la ingeniería, la robótica y la programación a diario pueden ayudarnos a cambiar esta actitud. La experiencia sugiere que el mejor momento para aprovechar la capacidad de aprendizaje de un individuo es durante la infancia (Ciolan, 2013), cuando el cerebro no entiende la palabra "limitación" y todo parece posible: incluso el montaje y control de un robot (Beran, Ramírez-Serrano, Kuzyk, Fior, & Nugent, 2011; Umaschi Flannery, Kazakoff, & Sullivan, 2014).

El objetivo de este estudio es demostrar que una metodología de enseñanza adecuada puede aumentar la motivación y la curiosidad de los niños y jóvenes de entre 6 y 18 años. Promueve su interés por la ingeniería y la ciencia y

los alienta a cursar estudios universitarios en esos campos. Distribuimos cuestionarios antes y después de los talleres para evaluar cómo impactaron en los intereses de los estudiantes. El uso de equipos robóticos aumentó su motivación para aprender más sobre el uso de las nuevas tecnologías. El efecto de la motivación facilita en gran medida su intención de acercarse a la ingeniería y la ciencia.

Pretendemos demostrar que una presentación adecuada de estos temas puede ofrecer grandes resultados, sin importar la edad de los niños. Por ejemplo, al acercarse por primera vez a la robótica, una distribución bien pensada del equipo (en parejas, en grupos de tres, etc.) y suficiente tiempo de práctica y flexibilidad para permitir que los niños se involucren plenamente con el equipo robótico canalizarán su curiosidad. En este trabajo se explica la metodología precisa utilizada para organizar y llevar a cabo los talleres del Proyecto Techno Museum, así como por qué la robótica fue el leitmotiv de estos talleres.

La estructura del artículo es la siguiente. En la sección 2 se presenta el estado actual de las metodologías existentes similares. La Sección 3 describe la metodología de enseñanza propuesta. La sección 4 detalla los resultados mediante un análisis estadístico de los datos, recogidos en el taller mediante una serie de encuestas contestadas por estudiantes y profesores. La Sección 5 desarrolla la discusión basada en los resultados. Por último, en la sección 6 se exponen las conclusiones de este trabajo.

II. ESTADO DEL ARTE

Robótica y discapacidad

Estudios previos en esta área han demostrado que la interacción con robots humanoides de niños con discapacidades, perfiles autistas (Mintz, 2013; Mintz, Branch, Marzo, & Lerman, 2012) o problemas físicos o mentales (Shamsuddin, Idzhar Ismail, Mohamed, Akhtar Hanapiah, & Ismarrubie Zahari, 2012a; Shamsuddin, Idzhar Ismail, Mohamed, Akhtar Hanapiah, & Ismarrubie Zahari, 2012b) les ayuda a mejorar su actividad motora, aprender a interactuar con su entorno o tener una mejor calidad de vida (Barakova, Gillesen, Huskens & Lourens, 2013). Asimismo, se han realizado estudios que relacionan los modelos de aceptación de niños con ciertos equipos robóticos en función de su apariencia (Woods, Dautenhahn & Schulz, 2006). Además, otros estudios utilizan los equipos y la programación robótica como una mera herramienta educativa, para niños sin problemas físicos o mentales (Ruiz-del-Solar & Avilés, 2004).

G. Carro, UNED, Madrid, Spain, germancf@ieec.org

E. Sancristobal, UNED, Madrid, Spain, elio@ieec.uned.es

P. Plaza, UNED, Madrid, Spain, pplaza@plazarobotica.es

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

Los resultados demuestran que los niños aprendieron a lidiar con problemas mecánicos y que utilizaron la tecnología sin miedo. Así aumentó su motivación para aprender robótica.

Los casos evaluados con niños autistas muestran que su capacidad para interactuar con el entorno y su capacidad de atención aumentaron. Lo mismo ocurre con los niños con problemas de movilidad, ya sea como resultado de un accidente o de una enfermedad que les hizo perder parte de sus habilidades motoras. El uso de equipos robóticos para el transporte o ejercicios les ayudó a superar actitudes negativas e interactuar con estos equipos robóticos como si se tratara de un juego. En este caso, se llevó a cabo un juego interactivo en el que los movimientos y acciones del niño fueron copiados por el equipo robótico (Robins, Ferrari, Dautenhahn, Kronreif, Prazak-Aram, Gelderblom et al., 2010).

Robótica para estudiantes de pregrado

Muchos estudios han explorado la idea de que los estudiantes universitarios deben utilizar equipos robóticos para dar forma a su conocimiento práctico de la teoría aprendida durante su carrera. Estarían en mejores condiciones para la transición al mercado laboral (Naves Cocota Junior, Abrao, Lopes, Oliveira de Medeiros y Santos da Silva Lopes, 2013). Estos estudios son comunes en la literatura científica. Los estudiantes universitarios necesitan ser entrenados para convertirse en trabajadores efectivos en una empresa lo antes posible. En estas disciplinas, la principal motivación del alumno es precisamente destacarse entre otros en su tiempo de aprendizaje, para convertirse en el mejor candidato para un contrato de trabajo. Este objetivo los anima a desarrollar la mayor cantidad de habilidades posibles en comparación con sus pares, centrándose en la competitividad. La motivación intrínseca y la curiosidad permanecen en segundo plano, a favor de la competencia.

Robótica para niños

Los estudios sobre la relación de los niños y jóvenes con la robótica son escasos. Uno de ellos se centró en el razonamiento y las interacciones conductuales de los niños con un perro robótico computacionalmente sofisticado (AIBO de Sony), en comparación con un perro vivo. El estudio se realizó con 72 niños de 7 a 15 años. En un estudio diferente, se utilizó un modelo de estructuras de conocimiento, o esquemas, para examinar si los niños de 5 a 16 años atribuían cualidades humanas de cognición a los robots, y si estas atribuciones afectaban a su comportamiento.

Los estudios sobre programación son más comunes, como en (Fidalgo-Neto, Tornaghi, Meirelles, Berçot, Xavier, Castro et al., 2009; Doboli, 2011) que cubren la robótica en campos mecánicos y de programación.

Muchos otros estudios sobre robótica son una mera presentación de los resultados de experimentos realizados en

entornos altamente controlados y en un momento determinado. Muy pocos de ellos realmente intentan explicar su metodología de manera que la experiencia pueda ser replicada o adaptada a nuevos escenarios. Se hace difícil comprobar si los resultados realmente pueden compararse con otros casos y generalizarse.

Finalmente, hay algunos estudios en la literatura relacionados con los niños pequeños (Fridin, 2014), en una edad en la que el desarrollo motor es muy importante. En esta etapa, la robótica puede ser útil para convertir un ejercicio en un simple juego que ayude a los niños a aprender habilidades motoras y estabilidad para dar los primeros pasos (Larin, Dennis & Stansfield, 2012).

Robótica y programación, tecnología y simplicidad

Las disciplinas de ingeniería, mecatrónica y robótica actual se encuentran entre los avances más populares y prometedores en el ámbito doméstico y social (Carro, Gutiérrez, Ruiz, Mur Pérez & Castro Gil, 2012b). La reducción del precio de los materiales, la difusión de las tecnologías telemáticas y el auge de Internet hacen que estas disciplinas sean cada vez más comunes en la educación y la formación (Villanueva, Cufi, ElFakdi, Ridao & García, 2011), incluida la educación universitaria (Mottok & Gardeia, 2011).

Cuando se diseña un taller para estudiantes de 6 a 18 años, es importante tener en cuenta varios factores que aseguran la productividad del curso:

a) Motivación: El alumno debe estar motivado en todo momento y, para ello, el núcleo de cada lección debe consistir en algo que sea capaz de centrar su atención (Ruiz-del-Solar & Avilés, 2004).

b) Curiosidad: Cada clase debe seguir una línea de desarrollo que promueva la curiosidad. Una buena manera de hacerlo es dejar que los estudiantes participen en actividades prácticas. Eso incluye cometer errores, encontrar soluciones y, sobre todo, ver cómo lo hacen el resto de sus compañeros de equipo (Ramík, Sabourin & Madani, 2013; Jirout & Klahr, 2012).

c) Atención: Mantener la atención de los niños es algo que, a priori, puede parecer complicado, especialmente si el método utilizado es un taller de tres horas. Pero es sorprendente lo rápido que pasa el tiempo para los niños cuando descubren cosas nuevas y se les permite experimentar sin límites y sin penalización si se equivocan (Chudek, Heller, Birch & Henrich, 2012; Darby, Burling & Yoshida, 2014).

Dos disciplinas como la robótica y la programación, cuando se orientan hacia la educación de los niños, deben guiarse por dos principios básicos: la simplicidad y la seguridad (Kozima, Nakagawa y Yasuda, 2007). Estos principios deben ser equilibrados de tal manera que no limiten el aprendizaje. De

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

hecho, estos principios permiten que los niños desarrollen su curiosidad sin temor a cometer errores que puedan causar daños a los propios alumnos o a los equipos robóticos utilizados.

III. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS TALLERES

Desde el punto de vista de la formación de ingenieros, y dadas las características de los profesores de los talleres, decidimos utilizar la robótica y la programación como talleres centrales, lo que aseguraría un correcto desarrollo del curso.

Es importante planificar con anticipación lo que se les explicará a los estudiantes. El inicio del taller y la primera exposición teórica de los profesores es crucial a la hora de establecer un nivel adecuado de motivación. Pero también es cierto que esta motivación dura unos minutos. A continuación, debe introducir la curiosidad como herramienta de anclaje.

Esto es fácil de hacer una vez que se inicia cualquier tipo de dinámica de "Hágalo usted mismo". Basta con sugerir a los alumnos que podrán realizar lo que han visto anteriormente en la exposición inicial para que sientan curiosidad sobre las posibilidades que el taller puede ofrecer. Estas posibilidades incluyen la posibilidad de ver el interior de los equipos robóticos. Podrán tocarlos, manipularlos y programarlos. Podrán hacerlos en sus propios robots, hasta cierto punto.

Finalmente, el mayor desafío es mantenerlos enfocados durante todo el taller. La competitividad entre los participantes implica efectos de ensayo y error que resultan beneficiosos. Los niños comparan lo que hacen sus parejas con lo que pueden lograr con los materiales de partida. Por lo tanto, la supervisión de los profesores sólo se requiere en ciertos momentos. Los propios estudiantes son los principales responsables de estar alerta como parte del sistema de "copia de compañeros" o "observar lo que hace su pareja y lo que ellos también pueden hacer".

Se empleó una estrategia de simplicidad para ayudar a los maestros y estudiantes a sentirse cómodos una vez que se alcanzaron las metas anteriores. Se permitió cierta flexibilidad en el desarrollo de las lecciones y se eligieron dinámicas de colaboración para mejorar la competitividad y el aprendizaje mutuo entre los estudiantes.

La metodología utilizada en esta experiencia tuvo las siguientes fases:

1. Audiencia: El objetivo eran los niños de 6 a 18 años. La razón para seleccionar este objetivo fue que los niños y jóvenes parecen estar más inclinados a aceptar el aprendizaje como un juego y a desarrollar la curiosidad y la motivación si la experiencia de aprendizaje es satisfactoria. Los estudios mencionados anteriormente respaldan esta elección.

2. Preparación de talleres y diseño de hardware: Era fundamental buscar un entorno seguro para los niños y los

maestros en el que pudieran desarrollar estas experiencias de manera segura y evitando las distracciones.

3. Programación de grupos: Una estructura racional de programación tiene que equilibrar la teoría, la práctica y la dinámica de ensayo y error. En este caso en particular, planeamos un pequeño concurso como última parte del taller, con el fin de incluir la idea de "aprender jugando" en el programa.

4. Definición de la encuesta: Se crearon pruebas previas y posteriores para evaluar la experiencia adecuadamente. Estas pruebas incluyeron preguntas sobre los sentimientos de los niños, las parejas y los maestros durante los talleres. También preguntan sobre el proceso de aprendizaje a lo largo del taller y sobre el interés potencial de los participantes en repetir el taller.

5. Análisis de encuestas: Los resultados se extraen utilizando los datos anteriores, dando lugar a discusión.

De acuerdo con la metodología anterior, esta experiencia podría reproducirse en diferentes entornos. En las siguientes subsecciones se presenta una amplia descripción de esta metodología.

Audiencia

En los talleres iniciales se desarrollaron diferentes talleres de robótica. Estaban dirigidos a niños de 6 a 14 años. El Proyecto Techno Museum (Techno Museum, 2013), en colaboración con el MUNCYT (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de La Coruña, noroeste de España) (MUNCYT, 2013) y la Escuela Karbo (Karbo, 2013) realizó una convocatoria de propuestas de proyectos de un mes de duración para difundir la tecnología siguiendo las premisas anteriores. Cada taller tendría un máximo de 20 niños, que se agruparían en equipos de dos o tres personas. A cada grupo se le proporcionaría un equipo robótico y una computadora portátil. Cada equipo se vería obligado a dividir las tareas de manejo y programación en cada caso.

El enfoque inicial se extendió a los jóvenes de hasta 18 años durante los cuatro meses siguientes. Esta segunda vez, las asignaturas eran de 6 a 18 años, y los talleres se desarrollaron en las aulas tradicionales de la Escuela Karbo. Los niños fueron divididos por edades de la siguiente manera: 12 estudiantes de seis años, 22 estudiantes de siete años, 18 estudiantes de ocho años, 24 estudiantes de nueve años, 14 estudiantes de diez años, 13 estudiantes de once años, 6 estudiantes de doce años, 5 estudiantes de trece años, 7 estudiantes de catorce años, 7 estudiantes de quince años, 3 estudiantes de dieciséis años, 2 estudiantes de diecisiete años y 5 estudiantes de dieciocho años. El número total de estudiantes fue de 138. 33 profesores participaron en este estudio ampliado.

Preparación de talleres y diseño de hardware

La metodología se ha adaptado para respetar el criterio de aprendizaje interactivo, según el cual los alumnos aprenden interactuando con el equipo robótico. La mayoría de los primeros talleres se llevaron a cabo los fines de semana de julio de 2013 en las instalaciones del MUNCYT. La inscripción para los talleres del MUNCYT tuvo lugar dos semanas antes del comienzo del primer taller. Un total de 80 niños de 6 a 14 años fueron agrupados aleatoriamente en cuatro equipos de 20 estudiantes cada sábado. En cada taller, 4 estudiantes fueron seleccionados para el campeonato final. Un total de 16 estudiantes, divididos en 8 equipos, fueron seleccionados para el campeonato final. No siempre fue posible agrupar a estudiantes de edades similares, por lo que los talleres no pudieron ser homogeneizados por edades y el campeonato final se celebró entre estudiantes de diferentes edades.

Los siguientes talleres se llevaron a cabo con niños de 6 a 18 años de edad en las instalaciones de la Escuela Karbo. En este segundo enfoque, los estudiantes compitieron solamente con otros estudiantes de su edad en el campeonato y en las aulas habituales de la escuela. Esta experiencia tuvo lugar en septiembre y octubre. Realizamos talleres similares, pero en una escuela local y ampliando la edad a 18 años. Estos estudiantes podían probar la robótica antes de llegar a la universidad, a diferencia de otros estudios, que estaban dirigidos a estudiantes de pregrado (Naves Cocota Junior et al., 2013).

Durante los talleres de la Escuela Karbo, nuestro equipo proporcionó todos los materiales a los profesores de los talleres. Antes de empezar a trabajar con los materiales, nuestro equipo les había dado una lección de una hora para que se acostumbraran a los robots y a su programación. Esta segunda vez, introdujimos algunas variaciones que mejoraron la experiencia:

- Los alumnos se agruparon por edades (dentro de sus aulas) siguiendo los criterios educativos españoles.

- El taller para estudiantes se puso en práctica en un aula de tecnología con dos tutores, el profesor de la clase y un tutor de apoyo.

- El campeonato final se limitó a los equipos de cada aula. No se extendió a otras aulas y no mezcló diferentes edades.

Seguridad y control de riesgos en los equipos robóticos

Los equipos robóticos elegidos fueron los vehículos robotizados (Figura 1) porque son muy flexibles y fáciles de entender, y es fácil realizar un concurso con ellos. Los vehículos robóticos fueron construidos por nuestro equipo

utilizando plataformas estándar con ruedas, fáciles de encontrar en cualquier tienda de equipos robóticos. El esquema de cables y conexiones también fue construido por nuestro equipo. Cada pieza del vehículo robotizado ya está pre-montada con una placa Arduino Uno y con un puente H L298 para controlar los motores de corriente continua cuando se entregan a los niños. Esta medida reduce los riesgos. Sin embargo, algunos cables no están conectados, por lo que los estudiantes pueden conectarlos basándose en lo que aprenden durante el taller. Además, para cada equipo se utilizan baterías AA básicas, que limitan el voltaje a un máximo de 6 voltios. Esto reduce al mínimo el riesgo para los estudiantes. El objetivo principal de los alumnos del taller es transformar el robot en un robot seguidor de líneas.

Figura 1. Equipo robótico móvil utilizado para el taller. Los cables principales están fijados para evitar riesgos y accidentes.

A pesar de todas las precauciones, los niños son impredecibles. Así, un profesor era el encargado de guiar las actividades y otros dos actuaban como personal de apoyo encargado de monitorear y prevenir posibles accidentes, en caso de que los niños manipularan los cables preensamblados o maltrataran el equipo robótico.

En cuanto al software utilizado, se proporcionaron a los estudiantes computadoras portátiles con software precargado. Arduino fue usado como el equipo principal de la placa. Las librerías precargadas de Arduino garantizan un rendimiento aceptable. El Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) utilizado fue el IDE de Arduino (Arduino, 2013) y los portátiles se configuraron para que sólo permitieran el uso de ese software para conectarse al equipo robótico.

Se desarrollaron bibliotecas prediseñadas para los talleres, con el fin de facilitar el aprendizaje. Estas bibliotecas tienen dos características principales:

- a) Están escritos en español como lenguaje básico de programación: Los niños se comunican mejor en su lengua materna que en inglés, por lo que todas las bibliotecas estaban preconfiguradas para llamar a funciones utilizando palabras en español: "avanzar" (adelante), "retroceder" (atrás), "giro a la derecha" (derecha), "giro a la izquierda" (izquierda), etc. Esta estrategia evitó posibles distracciones al buscar el significado de las palabras en inglés y permitió que los niños se concentraran en lo que era realmente importante: el uso de funciones para realizar acciones.
- b) Tienen parámetros que limitan las situaciones de riesgo tanto para los alumnos como para los equipos

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

robóticos: Dado que los equipos robóticos están contruidos con condensadores, resistencias, transistores, etc., existe un claro riesgo de sobrecalentamiento o explosión. Puede ser un riesgo menor, dados los voltajes utilizados, pero sigue siendo un riesgo. Para minimizar aún más este riesgo, diseñamos bibliotecas específicas que limitaban la velocidad a la que puede moverse el motor y que eliminaban el riesgo de enviar órdenes que pudieran dañar potencialmente los equipos robóticos. Por supuesto, los estudiantes no son conscientes de estos límites en ningún momento. Estos límites han demostrado ser muy adecuados. Aunque se advirtió a los estudiantes sobre los peligros físicos del equipo robótico, algunos de ellos no siguieron las instrucciones e intentaron empujar los equipos robóticos más allá de sus límites. Las limitaciones activas establecidas sobre los antecedentes fueron muy útiles en estos casos.

Una vez que las estrategias de hardware y software fueron arregladas para proteger a los estudiantes y los equipos robóticos, todo estaba listo para comenzar. Bajo los supuestos de la sección anterior, y esperando que los estudiantes se conviertan en sus propios profesores, las dinámicas de grupo se utilizaron como una herramienta para la competencia y la interacción. Se formaron grupos de dos o tres personas. Se sentaron juntos para una mejor comunicación y, durante la primera hora (una sesión teórica), se les animó a hacer preguntas juntos. La rápida socialización de los niños que acaban de conocerse puede apreciarse de forma directa: en pocos minutos se comportan como si se conocieran de toda la vida.

Programación de grupos

La clase comenzó una vez que se establecieron los grupos. La estructura de las tres horas se distribuyó de la siguiente manera:

1) Primera hora: Durante los primeros 15 minutos, se presentó brevemente el taller y se hicieron algunas preguntas sencillas a los estudiantes. Estas preguntas eran complicadas. Más tarde se compararon con la encuesta final, para ver si los estudiantes habían aprendido algo al final del taller y para determinar qué parte de la lección habían comprendido. Los siguientes 35 minutos se dedicaron a la programación, donde un profesor proporcionó ejemplos sencillos de las librerías prediseñadas, y a operar sobre el hardware de los equipos robóticos. Los últimos 10 minutos reconsideraron las preguntas iniciales. Las preguntas van acompañadas de material visual. El número total de preguntas fue de 29. Algunas de las preguntas estándar fueron:

¿Cuáles de estas imágenes representan equipos robóticos? En la imagen se muestra el robot antropomorfo tradicional, una lavadora y una piedra.

¿Cuáles de estos conjuntos de texto forman parte de un programa de ordenador? En una imagen se muestra un texto escrito de Don Quijote de Cervantes, un extracto de un programa escrito en pseudocódigo y un párrafo de ceros y unos.

Después de la clase de teoría, las respuestas fueron claras para todos los niños, e incluso pudieron proponer nuevos ejemplos. Los estudiantes entienden el ciclo "programación-> acción-> recepción de estímulos-> reacción".

2) Segunda hora: Esta sección del taller se centró en la práctica, tanto en la manipulación de los equipos robóticos como en las pruebas de programación. Una primera explicación de los mecanismos del robot (por ejemplo, ruedas, motores y placa base para la carga de software) llevó a los niños a conectar el cable USB de la placa base al portátil y a cargar el primer programa de muestra. Los programas de la muestra fueron diseñados siguiendo la estrategia educativa de aumentar progresivamente su dificultad.

El primer programa sólo activó la operación de los sensores infrarrojos (Figura 2) y mostró la respuesta en el portátil a través del IDE de Arduino. El hardware fue seleccionado en busca de la forma más fácil de gestión. Una tarjeta con un grupo de varios sensores es más fácil de manejar que los sensores individuales. Esta opción reduce el número de cables, lo que significa reducir los riesgos y facilitar el control y la configuración del hardware.

El segundo programa permitía al gerente liberar el movimiento de las ruedas, permitiéndole avanzar hacia adelante y hacia atrás de forma controlada. El tercer programa combinó los dos anteriores y permitió que el robot se convirtiera en un seguidor de línea. Durante esta hora los niños aprendieron a utilizar las librerías prediseñadas y a manipular el código fuente para diferentes efectos de control en el robot, como en otros estudios (Jiménez Jojoa, Bravo & Bacca Cortés 2010).

La existencia de limitaciones en las librerías de software prediseñadas para prevenir accidentes y problemas con los robots debido a un mal uso del código eran claramente adecuadas en estas pruebas.

Después de esta segunda hora los estudiantes estaban listos para la competencia final del campeonato.

Figura 2. Detalle de los sensores infrarrojos del equipo robótico móvil utilizado en el taller. Varios sensores en la

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

misma placa son más fáciles de manejar que el sensor individual.

3) Tercera hora: Esta sección del taller incluyó procedimientos de ensayo y error. Con los conocimientos adquiridos, los estudiantes fueron entrenados para probar combinaciones de valores variables que permiten que sus equipos robóticos sean más rápidos y al mismo tiempo más eficientes para seguir un circuito de pista que tenía dos secciones (Figura 3):

c) Sección de prueba y ajuste del robot: El circuito de pruebas fue diseñado como una elipse que recorría el circuito de carreras por el exterior. Esta sección puede ser utilizada por los estudiantes tantas veces como quieran sin límite de tiempo durante esta tercera hora. Este circuito de prueba permitía a los estudiantes ajustar la velocidad de sus robots y detectar cuando los robots se salían de la pista debido a su velocidad o a la posición de los sensores infrarrojos (demasiado lejos o demasiado cerca del circuito de tierra).

d) Sección de competición: Esta sección fue el verdadero campeonato de circuitos de carreras. Este circuito estaba formado por una serie de curvas rectas y cerradas a derecha e izquierda que los equipos robóticos deben seguir al menos en una dirección (en sentido horario o antihorario). Cada equipo decidió qué dirección prefería. A cada grupo se le permitieron tres intentos para completar el circuito. Para cada intento, se registró el tiempo que tomó. Si el circuito se ha completado completamente, sólo se considerará válido el tiempo más corto registrado por equipo. Si ningún equipo lograba terminar el circuito, la decisión de quién ganaba se tomaría midiendo la distancia más larga recorrida y el tiempo necesario para recorrerla. El equipo más rápido ganaría.

Figura 3. Prueba y competición de circuitos de carreras en el taller.

Después de la competición, se seleccionaron los dos mejores equipos del día y se les convocó para la competición final que tuvo lugar el último domingo de cada mes. Los padres de los niños fueron invitados (Cuéllar, Penaloza, & Kato et al., 2013).

Definición de la encuesta

Los últimos 10 minutos se guardaron para un examen final en el que los estudiantes tuvieron que responder a preguntas clasificadas. Algunas de estas preguntas fueron:

P: ¿Crees que has aprendido algo sobre programación?

R: 1. No, nada; 2. Sí, pero muy poco; 3. Sí, algo; 4. Sí, una buena cantidad; 5. Sí, absolutamente.

P: ¿Cree que ha aprendido algo sobre robótica?

R: 1. No, nada; 2. Sí, pero muy poco; 3. Sí, algo; 4. Sí, una buena cantidad; 5. Sí, absolutamente.

P: ¿Le gustaría profundizar su conocimiento de la robótica?

R: 1. No, en absoluto; 2. Sí, pero no mucho; 3. Sí, hasta cierto punto; 4. Sí, bastante; 5. Sí, absolutamente.

P: ¿Cree que la robótica es una disciplina difícil?

R: 1. No, en absoluto; 2. Sí, pero no mucho; 3. Sí, hasta cierto punto; 4. Sí, bastante; 5. Sí, absolutamente.

P: ¿Cómo calificaría el trabajo de los profesores?

R: 1. Muy mal trabajo; 2. Mal trabajo; 3. Buen trabajo; 4. Muy buen trabajo; 5. Excelente trabajo.

P: ¿Le gustó el contenido del taller?

R: 1. No, en absoluto; 2. Sí, pero muy poco; 3. Sí, algo; 4. Sí, una buena cantidad; 5. Sí, absolutamente.

P: ¿Qué calificación le daría al taller?

R: 1. Muy malo; 2. Malo; 3. Bueno; 4. Muy bueno; 5. Excelente.

P: ¿Asistiría a otro taller como éste?

R: 1. No; 2. Probablemente no; 3. Probablemente sí; 4. Sí; 5. Claro.

P: ¿Cómo fue tu experiencia de trabajo en grupos de N personas?

R: 1. Muy malo; 2. Malo; 3. Bueno; 4. Muy bueno; 5. Excelente.

P: ¿Cree que las habilidades aprendidas o desarrolladas pueden ser útiles en el mundo actual?

R: 1. No, en absoluto; 2. Sí, pero no mucho; 3. Sí, hasta cierto punto; 4. Sí, bastante; 5. Sí, absolutamente.

Estas encuestas nos ayudaron a evaluar la eficacia real del taller de aprendizaje. Nos permiten verificar si los talleres generaron motivación y si ayudaron a los estudiantes a desarrollar habilidades en las tres horas que duraron. La misma encuesta se realizó en los talleres del MUNCYT y en los talleres de la Escuela Karbo (Figura 5, Tabla 2). En los talleres de la Escuela Karbo, se añadieron algunas preguntas

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

para los estudiantes (Figura 7; Tabla 4) y se incluyó una encuesta a los profesores (Figura 8; Tabla 5).

IV. RESULTADOS

El análisis estadístico está dentro de la tradición de investigación basada en el diseño de pruebas iterativas, análisis y refinamiento de una experiencia (Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003). En esta sección se presentan los resultados extraídos de los datos obtenidos de las encuestas presentadas anteriormente para esta experiencia.

Primeros resultados: resultados de los talleres del MUNCYT

Estos resultados son el número total de respuestas de la primera ronda de talleres del MUNCYT, en los que participaron niños de 6 a 14 años.

Los resultados obtenidos del análisis del cuestionario previo al taller se muestran en la Figura 4. Las preguntas que se hicieron fueron las de la Tabla 1. Un porcentaje del 88,75% de los estudiantes sabía poco o muy poco (niveles 1 o 2, de 5) sobre robótica antes del taller. En cambio, después del taller, el 72,50% de ellos consideraron que habían aprendido algo o bastante sobre este tema (niveles 3 o 4, de un total de 5). Además, el 27,50% de los alumnos consideraba que había aprendido mucho (nivel 5 de 5). Esto se muestra en la Figura 5, que presenta las respuestas a las preguntas de la Tabla 2. La experiencia de la programación reveló diferentes resultados en cuanto a cómo los estudiantes definen su percepción de lo que han aprendido sobre este tema, ya que sólo el 46,25% pensaba que había aprendido algo o una cantidad de fari (niveles 3 y 4, de un total de 5). Aun así, hay un 10,00% que pensó que había aprendido mucho sobre el tema (nivel 5 de 5).

Algunos puntos son dignos de mención. Se analizarán en la siguiente sección:

- Antes del taller:

Los estudiantes no tenían una imagen clara de lo que era un robot. La imagen visualizada era un robot antropomorfo típico en un 91,25% (Figura 6).

No sabían lo que era la programación. El gráfico 4 muestra que el 80% de los estudiantes no sabía nada de programación (nivel 1 de 5).

Ignoraban cómo un ser humano podía interactuar con un robot a través de la programación.

No se creían capaces de aprender robótica y programación en el taller porque pensaban que era muy difícil para ellos. La

Figura 4 muestra que el 100% de los participantes creían que era un tema difícil o muy difícil (niveles 4 o 5, de 5).

- Después del taller:

Los estudiantes sabían lo que era un robot basado en su funcionamiento interno bajo la dinámica de "programación-> acción-> recepción de estímulos-> reacción".

Identificaron diferentes tipos de equipos robóticos con diferentes características.

No se dejaron engañar por la imagen externa del equipo robótico (82,50% de los estudiantes ahora entienden que una lavadora es también un tipo de equipo robótico, Figura 6) (Woods et al., 2006),

Se han vuelto más seguros de sí mismos porque se han demostrado a sí mismos que son capaces de aprender robótica y programación.

Figura 4. Resultados de la encuesta de los estudiantes antes del taller.

Tabla 1. Resultados de las pruebas utilizadas para la figura 4.

Figura 5. Prueba tras taller a los estudiantes.

Tabla 2. Resultados de las pruebas utilizadas para la figura 5.

Figura 6. Respuestas a la pregunta

"¿Cuál de estos objetos es un robot?" antes y después del taller.

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

Tabla 3. Resultados de las pruebas utilizadas para la figura 6.

Ampliación de la experiencia: desde los 6 hasta los 18 años

La experiencia se repitió en la Escuela Karbo, con niños y jóvenes de 6 a 18 años. Las encuestas son las mismas, pero se añadieron algunas preguntas a las que se hicieron después del taller y se incluyó una encuesta a los profesores. Al igual que en el caso anterior, los resultados aquí presentados son totales.

Las encuestas sólo ofrecen datos numéricos, debido a su naturaleza cuantitativa. En las preguntas de la encuesta idénticas a las del taller anterior (Figura 5; Tabla 2), los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados en el primer taller, discutidos en detalle más arriba.

En la Escuela Karbo cambiamos algunos de los parámetros bajo los cuales desarrollamos el taller, aunque el tema, robótica y sus habilidades asociadas, programación, electrónica y mecatrónica, permanecieron iguales. Nuestro objetivo era ampliar nuestros conocimientos en el mismo campo: el uso de la electrónica en la educación (Jiaxin & Rongfang, 2009). A pesar de haber cambiado algunos de los parámetros iniciales, las respuestas a las encuestas de los estudiantes de las escuelas de Karbo fueron similares a las que se dieron en el MUNCYT.

Esta vez también pedimos retroalimentación de los profesores que tutelaron los talleres. Todos ellos (100%) manifestaron que les gustaría repetir la experiencia (niveles 4 o 5, de 5). La Figura 8 y la Tabla 5 presentan los datos.

Las preguntas que se hicieron a los profesores se centraron en su conocimiento de la robótica, su experiencia en el uso de la metodología propuesta y sus predicciones sobre la atención de los estudiantes. Les preguntamos sobre el trabajo en equipo y la competitividad entre los estudiantes, y si podría ser útil mejorar sus robots en comparación con los de sus compañeros.

También se añadieron nuevas preguntas a la encuesta de los estudiantes, con el fin de comprender mejor la percepción que los estudiantes tenían de sus nuevas habilidades adquiridas. Buscamos cierta reciprocidad y retroalimentación en las preguntas a ambos grupos, se les preguntó a los estudiantes y a los profesores sobre el desempeño y el trabajo de cada uno. Los demás criterios no se modificaron.

Figura 7. Test para estudiantes de 6 a 18 años después del taller.

Tabla 4. Resultados de las pruebas utilizadas para la figura 7.

Estas preguntas completaron la encuesta inicial (Tabla 2). Las respuestas a las preguntas de la Tabla 2 fueron similares en ambos talleres.

Figura 8. Prueba para los profesores después del taller.

Tabla 5. Resultados de las pruebas utilizadas para la figura 8.

IV. CONCLUSIONES

IV. DISCUSIÓN

La organización del primer taller experimental para niños nació de la creencia de que estas habilidades tecnológicas a menudo están limitadas por lo que los adultos creen que es adecuado para un niño. Esta experiencia muestra que la mente de un niño o adolescente es capaz de comprender y desarrollar

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

habilidades inesperadas cuando se le aborda desde una metodología apropiada. En esta experiencia la robótica jugó un papel clave, no sólo por su naturaleza tecnológica, sino también porque el desarrollo de la robótica requiere manual (mecánica, electrónica) e intelectual (programación, algoritmos), y puede ser incluida en los juegos (carreras, campeonatos, juegos en general, ensayo y error).

Existen diferentes formas en las que el uso de equipos robóticos afecta el desarrollo de las habilidades mencionadas:

1. Motivación: Enfocar la atención de los estudiantes es necesario para que obtengan buenos resultados en la comprensión y el aprendizaje a lo largo del tiempo. Una herramienta como un robot plantea cuestiones como el control eléctrico, el uso de sensores para recoger datos ambientales, la posibilidad de utilizar dichos datos con programas que permitan a los estudiantes controlar el funcionamiento de un robot. Además, las actividades autónomas intrínsecas al uso de equipos robóticos son un factor importante para que los estudiantes enfrenten el taller con interés desde el primer momento (Manzotti & Tagliasco, 2005). Como se puede observar en la Tabla 1, el 82,50% de los alumnos (niveles 4 y 5 de 5) estaban motivados desde el inicio del taller de robótica. En este punto, la mayoría de los niños señalaron correctamente el texto pseudocódigo, pero también indicaron unos y ceros como una opción válida.

2. Curiosidad: Una vez establecido el ambiente adecuado, una breve presentación de la teoría y la manipulación directa de los equipos robóticos, despertó la curiosidad de los estudiantes a medida que se desarrollaba el taller. La participación de los tutores también contribuyó a su interés. Los profesores que realizaban pruebas con programas prediseñados eran bastante intrigantes para los estudiantes, que esperaban la frase "Ahora, probadlo vosotros mismos". Una comparación entre la Tabla 1 y la Tabla 2 muestra que el 57,50% de los estudiantes (niveles 3, 4 y 5 de 5) consideraron que habían aprendido sobre programación, y un 100% de los estudiantes pensaron que habían aprendido algo sobre robótica (niveles 3, 4 y 5, de 5). Pero lo más importante de la curiosidad es que la totalidad de los alumnos (100%) asistirían a otro taller (niveles 4 y 5 de 5).

Siempre hay algún equipo que empezó a experimentar con el robot mientras el profesor sigue dando explicaciones. Esa energía debe ser dirigida durante el taller de tres horas para generar en los estudiantes el mensaje "sí, puedo hacerlo por mí mismo". Deben darse cuenta de que son capaces de desarrollar nuevos programas e incluso nuevos robots básicos, utilizando los principios que aprenden en el taller. La tercera hora, dedicada al ajuste y prueba de robots, requiere una gran atención por parte de los tutores, ya que los alumnos, movidos por la curiosidad, pueden intentar manipular el hardware fijo de los equipos robóticos. Aunque es inusual, un grupo

desconectó los cables de conexión a la batería y los volvió a conectar invirtiendo la polaridad. El olor a quemado alertó a uno de los tutores que rápidamente apagó el robot evitando un peor resultado. Otra tentación entre los diferentes equipos era intentar echar un vistazo a los portátiles de otros equipos cuyos robots funcionaban mejor o eran más eficientes. Intentaron copiar su código exacto, rompiendo las reglas. Los tutores deben ser conscientes de estas actitudes, pero una buena manera de evitar "copiar y pegar" es precisamente utilizar ordenadores portátiles limitados que no admiten unidades flash USB, por lo que el software no se puede cargar ni descargar. Mientras que en teoría no tener otra opción que escribir su propio código debería alentar la colaboración dentro de los grupos, encontramos que todos los grupos tenían un estudiante que monopolizaba alguna acción, o que era abandonado por sus compañeros, o alguien que se había convertido en un observador (a veces uno que juzgaba) de lo que estaba haciendo el compañero de trabajo más duro. En estas situaciones, los tutores eran responsables de reorientar la actitud del alumno problemático en cada caso.

3. Libertad para experimentar: La curiosidad no puede ser limitada. Se debe permitir que los estudiantes experimenten, pero sobre todo que cometan errores. Los errores son una buena manera de aprender, corregir y seguir aprendiendo. Comparando la Tabla 3 y la Tabla 4 observamos que al principio los estudiantes respondieron buscando la respuesta más segura (robot antropomórfico), pero al final del taller, habían aprendido a ver la robótica desde otro punto de vista. Sus primeras respuestas apuntaban a los robots antropomórficos como los únicos robots. Los niños se sorprendieron al saber que una lavadora es un robot doméstico, porque se puede programar y es un equipo mecánico capaz de realizar una actividad. Los resultados en estas tablas muestran el proceso de aprendizaje de los estudiantes durante estos talleres. Los estudiantes tuvieron una hora para probar sus robots antes del campeonato. También podrían utilizar como pruebas los tres intentos en el propio campeonato. Durante esa última hora, los equipos estudiaron y probaron sus robots, seleccionaron los mejores programas y ajustaron los sensores de la mejor manera porque querían ganar. Pero especialmente durante este tiempo se equivocaron y se corrigieron muchas veces. Sin darse cuenta, actuaban como científicos e ingenieros, utilizaban los conocimientos anteriores y los adaptaban a sus necesidades. No importa si no funciona la primera vez, siguen intentándolo hasta que tienen éxito. Pero incluso si, después de todo, el tiempo o la tecnología les juega una mala pasada y no tienen éxito, habrán aprovechado un campo de pruebas para aprender libremente (Figura 9).

Figura 9. Estudiantes probando sus robots en el taller. Retroalimentación continua entre profesores y alumnos.

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

Esa determinación y el deseo de seguir intentándolo y esforzándose eran el verdadero objetivo del taller.

Varios factores pueden haber facilitado este éxito:

a) El enfoque tecnológico: En un mundo tecnológico como el nuestro, todo lo que tiene que ver con la robótica o la ciencia ficción suele ser bien recibido. Despierta la curiosidad en primer lugar, y desafía a los estudiantes a ser parte de los avances tecnológicos en segundo lugar. Utilizando esta metodología, el 71,25% de los estudiantes (niveles 4 y 5; de los 5 de la Tabla 2) consideraron que habían aprendido bastante o mucho sobre robótica.

b) Aproximación a una actividad científica desde un punto de vista lúdico: Eliminar los exámenes y enfocar el taller hacia una actividad competitiva lejos del sistema tradicional de calificaciones ayuda a los estudiantes a no sentirse presionados a adivinar siempre la respuesta correcta. Pueden ser llevados por su imaginación sin miedo. De hecho, utilizan el sistema de ensayo y error para mejorar las lecciones aprendidas y aplican estas mejoras a los equipos robóticos asignados. El 85,51% de los alumnos (niveles 4 y 5, de un total de 5 de la tabla 4) repetiría la experiencia.

c) Una filosofía de aprendizaje en ambas direcciones, de profesor a alumno y de alumno a profesor: En los casos evaluados, fue la primera vez que muchos de los profesores enseñaron robótica. En estas situaciones se genera más retroalimentación sobre el desarrollo de las lecciones. A veces resulta paradójico que un grupo de estudiantes, o un estudiante, se convierta en líder de otros grupos. A veces pueden incluso aconsejar al profesor, si sus conocimientos sobre el tema son mayores que los del profesor. Los resultados de la encuesta muestran que los estudiantes y los profesores se valoran mutuamente. El 75,36% de los alumnos considera que sus profesores son buenos o muy buenos (niveles 4 y 5, de un total de 5 de la Tabla 7), así como el 57,57% de los profesores creen que sus alumnos han realizado un buen o muy buen trabajo en grupo (niveles 4 y 5, de un total de 5 de la Tabla 8).

Esta mayor interacción promueve una mayor participación de los estudiantes en clase y elimina el miedo al fracaso (el mayor enemigo de la nueva creación científica). En estos casos, la clase se convierte en un espacio de lluvia de ideas.

d) Flexibilidad en el desarrollo de las clases: Como se ha mencionado anteriormente, los perfiles en las diferentes clases han sido muy diferentes. Por lo tanto, los profesores tenían que ser capaces de adaptar el taller a cada situación particular.

Una ventaja importante era que los profesores interactuaban con los estudiantes con los que normalmente pasaban tiempo en la escuela. Cada uno de los profesores dobló el curso del taller en respuesta a las contribuciones de los estudiantes.

Todos ellos compartían el objetivo final del aprendizaje, y querían que cada equipo hubiera logrado la capacidad de crear un robot capaz de competir al final del taller.

Los datos de los cuadros 5 y 6 lo confirman. Los resultados son claros: el 76,08% de los alumnos calificó la experiencia como buena o muy buena (niveles 4 y 5, de 5); y el 75,36% consideró el desempeño de los docentes como bueno o muy bueno (niveles 4 y 5, de 5). Desde la perspectiva de los profesores, el 87,87% de ellos consideraron que el taller fue una buena o muy buena experiencia y el 72,73% de ellos observaron que los estudiantes estaban más motivados hacia la ciencia y la ingeniería después del taller (niveles 4 y 5, de un total de 5 en la Tabla 5). Podemos concluir que los talleres de robótica en el entorno descrito, tuvieron resultados satisfactorios tanto desde el punto de vista de los alumnos como de los profesores.

Los hechos más relevantes que se deducen de los resultados son:

- Se observó una apreciación del trabajo en equipo en un 83,34% de los alumnos (Figura 7, Tabla 4) y en un 69,45% de los docentes (Figura 8, Tabla 5).

- Las habilidades tecnológicas adquiridas se consideraron útiles para el mundo real. En concreto, el 49,27% de los alumnos y el 45,45% de los profesores los valoraron positivamente (niveles 4 ó 5, de 5, en ambos casos).

- La experiencia ha sido buena para el 76,08% de los alumnos y para el 87,87% de los profesores (niveles 4 o 5, de 5, en ambos casos). Ambos grupos estarían dispuestos a repetir, es decir, el 85,51% de los estudiantes y el 100% de los docentes (niveles 4 ó 5, sobre 5, en ambos casos).

También la valoración de los alumnos sobre los profesores es bastante positiva (el 100% los considera adecuados: niveles 3, 4 o 5, sobre 5), aunque en algunos casos la experiencia previa con robótica de algunos de los profesores fue muy baja.

- Como efectos adicionales importantes percibidos en la encuesta, los estudiantes:

- Desarrolló una curiosidad que los llevará a buscar más información sobre el tema.

- Aumentaron su motivación para acercarse a la ciencia y la ingeniería, hasta el punto de querer repetir este tipo de talleres, como se presenta en la Figura 5, donde el 100% de los estudiantes quisieran repetir un taller similar (niveles 4 ó 5, de 5).

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

Inicialmente, la parte más difícil parecía ser mantener a los estudiantes concentrados durante tres horas, tanto para los niños de 6 a 14 años como para los de hasta 18 años. Al final, resultó que tenían que ser detenidos media hora después de la hora de finalización establecida para los talleres. Muchos equipos querían seguir probando sus robots y aprendiendo con ellos. Los estudiantes querían aprender sin límite de tiempo, y los profesores disfrutaban enseñando y viendo a sus estudiantes esforzarse por sí mismos, gracias a la robótica, que funcionaba como un eslabón común.

IV. CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

Los talleres presentados en este trabajo utilizaron, como elemento polémico, la robótica para jóvenes estudiantes de diferentes edades y profesores de diferentes grados educativos. En ambos casos se logró un aumento significativo en la motivación, desarrollo y evolución de la curiosidad y participación en el proceso de aprendizaje. La experiencia, con 218 estudiantes (80+138) de entre 6 y 18 años, y 33 profesores, se dividió tal y como se presenta en la Sección 3.1. Demuestra que la robótica es una herramienta útil para promover el interés de los niños y jóvenes por la ciencia, la ingeniería y la tecnología.

Estas experiencias muestran que la robótica puede ser una clave para la motivación, la curiosidad y la libertad. Según los datos, podemos concluir que la robótica es una buena herramienta para desarrollar la motivación, la curiosidad y el deseo de aprender en niños y adolescentes.

El equipamiento para el aprendizaje debe adaptarse al público objetivo, pero las charlas sobre robótica son siempre un incentivo para la motivación de los niños y jóvenes. Todo el mundo quiere ver que él o ella es capaz de hacer un robot. Por lo tanto, los niños están dispuestos a aprender desde el primer momento.

Hemos presentado varios ejemplos de las preguntas hechas a los niños antes y después del taller. Las respuestas demuestran los efectos motivadores del uso de la robótica como herramienta educativa para niños y jóvenes. La robótica los anima a estudiar para convertirse en futuros científicos e ingenieros (Carro, Gutiérrez, Ruiz, Castro Gil y Mur Pérez, 2012a). Los resultados de las encuestas realizadas a los profesores demuestran que estos talleres se han convertido incluso en una experiencia positiva y motivadora para los profesores en sus propias aulas.

Este tipo de hallazgos son esenciales a la hora de mostrar a los ciudadanos del futuro la importancia de la tecnología en nuestros días, pero también a la hora de convencer a los estudiantes de que forman parte de los desarrollos tecnológicos actuales y futuros. En la actualidad, muchos jóvenes escapan de las carreras técnicas, de ingeniería o científicas porque piensan que el esfuerzo de estudiar estas

carreras no vale la pena, debido a su dificultad. Este trabajo ha demostrado que incluso los niños de 6 años pueden entender el funcionamiento básico de un robot y que incluso pueden manipular su comportamiento, reprogramarlo y participar en torneos contra otros grupos de compañeros.

No se trata de una cuestión de grado de dificultad, se trata de establecer un sistema basado en la curiosidad y la motivación. En nuestra opinión, en la actualidad muchos títulos científicos y de ingeniería son percibidos como profesionales; cuando realmente deberían ser vistos como el mejor lugar para experimentar cómo las nuevas tecnologías desarrollan, perfeccionan y proporcionan muchas otras, y cómo ofrecen más bienestar a la sociedad. Los países que se han comprometido a invertir en investigación y desarrollo ya han demostrado que esta perspectiva tiene éxito en sus economías.

Uno de los puntos mejor valorados es precisamente la flexibilidad para desarrollar la habilidad del estudiante para sobresalir a través de procedimientos de ensayo y error. Pasar de un entorno estructurado basado en la calificación a otro más flexible y lúdico, lleva a los alumnos a interpretar lo que están haciendo como un juego. En cambio, están aprendiendo, desarrollando y aplicando conceptos tecnológicos.

Las encuestas y las cifras que se muestran a lo largo de este trabajo indican que el enfoque que decidimos seguir iba por el buen camino. Sería interesante saber cuántos de los participantes en estos talleres vienen a enfrentarse a retos tecnológicos o carreras en el futuro. En cualquier caso, la percepción general es que muy pocos de ellos verán la tecnología como algo abstracto y distante, porque la mayoría de ellos no tuvieron ningún problema a la hora de enfrentarse a los robots con los que han trabajado.

Como se ha observado anteriormente, la interacción de los alumnos con el sujeto a desarrollar (la robótica en este caso) provocó estímulos positivos tanto en los niños como en los jóvenes. Si en un principio parecía que los niños tan pequeños se verían abrumados por estas cuestiones técnicas, esta experiencia demuestra que su curiosidad y su deseo de aprender son suficientes para enfrentarse a una robótica exitosa, si cuentan con una metodología adecuada (ensayo y error), y con el apoyo adecuado de sus tutores y de su equipo. Una motivación adecuada, materiales adaptados, equipo robótico y un enfoque flexible para enseñar la clase son suficientes para captar la atención de los niños y estimular su interés en el estudio de la robótica de una manera natural impulsada por la curiosidad.

Las experiencias aquí reseñadas nos animan a seguir trabajando con la robótica como un verdadero catalizador de la expresión tecnológica, como algo que puede acercar la abstracción científica a la gente en general. El objetivo final es

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

desarrollar la motivación suficiente en los jóvenes para que se conviertan en los ingenieros y científicos del futuro, y resulta que la diversión no es incompatible con este propósito. La motivación, la curiosidad, la experimentación y la robótica se combinan de una manera particularmente apropiada para promover la tecnología y mejorar la educación en las disciplinas científicas. Los talleres presentados en este trabajo nos han ayudado a entender un poco mejor este efecto.

Los esfuerzos y la retroalimentación de los profesores contribuirán a la mejora de esta metodología en los próximos talleres. Incluso podríamos diseñar un taller específico para adultos, con el fin de promover un conocimiento tecnológico que se aleje de la abstracción y se acerque a la importancia del trabajo tangible que la tecnología puede realizar hoy en día.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo prestado por la Escuela Técnica de Ingeniería de la UNED, la Escuela de Ingeniería Informática de la UNED, el Rectorado de la UNED, la Escuela Karbo y la Rama Estudiantil del IEEE de la UNED, la iniciativa IEEE TISP, el Proyecto Tecno-Museo y la Fundación IEEE (2011-118LMF).

Este trabajo fue apoyado por Go-Lab [Número de referencia: FP7-ICT-2011-8 - Número de proyecto: 317601]; y e-Madrid [Número de proyecto: S2009/TIC-1650]. Asimismo, los autores desean agradecer el apoyo de la comunidad VISIR y del GOLC.

Los autores agradecen especialmente al Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática (DIEEC) de la UNED por su apoyo y asesoramiento en la preparación de este documento. Gracias a Carmen Gallar Sánchez, por ayudarnos con las correcciones gramaticales.

REFERENCIAS

[1] Arduino. (2013). Official website: <http://www.arduino.cc> Accessed 25.11.13.

[2] Barakova, E.I., Gillesen, J.C.C., Huskens, B.E.B.M. & Lourens, T. (2013). End-user programming architecture facilitates the uptake of robots in social therapies. *Robotics and Autonomous Systems*, 61 (7) 704-713, ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2012.08.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889012001182>) Accessed 25.11.13

[3] Beran, T.N.; Ramírez-Serrano, A.; Kuzyk, R.; Fior, M. & Nugent, S. (2011). Understanding how children understand robots: Perceived animism in child-robot interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69 (7-8), 539-550, ISSN 1071-5819, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2011.04.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581911000498>). Accessed 25.11.13

[4] Carro Fernández, G.; Gutiérrez, S.M.; Ruiz, E.S.; Castro Gil, M. & Mur Pérez, F. (2012a). Formation in robotics, the key to integration in industrial environments. 2012 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), 1-4, DOI: 10.1109/ICL.2012.6402135, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6402135&isnumber=6402022>.

[8] Carro Fernández, G.; Gutiérrez, S.M.; Ruiz, E.S.; Mur Pérez, F. & Castro Gil, M. (2012b). Robotics, the New Industrial Revolution. *Technology and Society Magazine*, IEEE, 31(2), 51-58.

[9] DOI : 10.1109/MTS.2012.2196595, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6213867&isnumber=6213848>. Accessed 25.11.13.

[10] Chick, M.J. (1989). Information Value and Cost Measures for use as Management Tools. Presentation at State-of-the-art-institute, Special Libraries Association, Washington D.C.

[11] Chudek, M., Heller, S., Birch, S. & Henrich, J. (2012). Prestige-biased cultural learning: bystander's differential attention to potential models influences children's learning. *Evolution and Human Behavior*, 33, (1), 46-56, ISSN 1090-5138, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2011.05.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090513811000481>). Accessed 25.11.13.

[13] Ciolan, L.E. (2013). Play to Learn, Learn to Play. Creating Better Opportunities for Learning in Early Childhood. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 76, 186-189, ISSN 1877-0428, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.04.096>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813006393>). Accessed 25.11.13.

[15] Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher* 32, 9-13, DOI:10.3102/0013189X032001009 URL: <http://edr.sagepub.com/content/32/1/9.full.pdf+html>. Accessed 25.11.13.

[16] Cuellar, F.; Penaloza, C. & Kato, G. (2013). Robotics Education Initiative for Parent-Children Interaction. The 22nd International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 364-365, DOI: 10.1109/ROMAN.2013.6628499, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6628499&isnumber=6628390>. Accessed 25.11.13.

[18] Darby, K.P., Burling, J. M. & Yoshida, H. (2014). The role of search speed in the contextual cueing of children's attention. *Cognitive Development* 29, 17-29, ISSN 0885-2014, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogdev.2013.10.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885201413000531>). Accessed 25.11.13.

[19] Doboli, S. (2011). Work in Progress -- Computing for middle-school students: The experience of teaching computers for 7th grade students. FIE '11 Proceedings of the 2011 Frontiers in Education Conference, S1D-1,S1D-2, DOI: 10.1109/FIE.2011.6143062, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6143062&isnumber=6142695>. Accessed 25.11.13.

[21] Fernández, G.C.; Castro Gil, M. & Mur Pérez, F.M. (2012). Remote robotic laboratory as nexus between students and real engineering. 2012 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), 1-4, DOI: 10.1109/ICL.2012.6402136, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6402136&isnumber=6402022>. Accessed 25.11.13.

[23] Fidalgo-Neto, A.A., Tornaghi, A.J.C., Meirelles, R.M.S., Berçot, F.F., Xavier, L.L., Castro, M.F.A. & Alves, L.A. (2009). The use of computers in Brazilian primary and secondary schools. *Computers & Education*, 53 (3), 677-685, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2009.04.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131509000906>). Accessed 25.11.13.

[25] Fridin, M. (2014). Storytelling by a kindergarten social assistive robot: A tool for constructive learning in preschool education. *Computers & Education*, 70, 53-64, ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.043>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013151300225X>). Accessed 25.11.13.

[27] Jiaxin Han & Rongfang Gao. (2009). Motivation and Training Program on Robotics Education. 2009 International Conference on

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

- Computational Intelligence and Software Engineering, *CiSE* 2009, 1-4.
- [28] DOI: 10.1109/CiSE.2009.5363272, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5363272&isnumber=5362501>. Accessed 25.11.13.
- [29] Jirout, J. & Klahr, D. (2012). Children's scientific curiosity: In search of an operational definition of an elusive concept. *Developmental Review*, 32, (2), 125-160, ISSN 0273-2297, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dr.2012.04.002>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273229712000123>). Accessed 25.11.13.
- [30] Jiménez Joja, E.M.; Bravo, E.C. & Bacca Cortés, E.B. (2010). Tool for Experimenting With Concepts of Mobile Robotics as Applied to Children's Education. *IEEE Transactions on Education*, 53(1), 88-95,
- [31] DOI: 10.1109/TE.2009.2024689, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5232817&isnumber=5405111>. Accessed 25.11.13.
- [32] Karbo, Colegio. (2013). Official website: <https://www.colexio-karbo.com/> Accessed 25.11.13.
- [33] Kozima, H., Nakagawa, C. & Yasuda, Y. (2007). Children-robot interaction: a pilot study in autism therapy. In: C. von Hofsten and K. Rosander. *Progress in Brain Research*, 164 (pp. 385- 400). Amsterdam: Elsevier.
- [34] ISSN 0079-6123, ISBN 9780444530165,
- [35] [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)64021-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6123(07)64021-7). (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612307640217>). Accessed 25.11.13.
- [36] Larin, H. M., Dennis, C.W. & Stansfield, S. (2012). Development of robotic mobility for infants: rationale and outcomes. *Physiotherapy*, 98 (3), 230-237,
- [37] ISSN 0031-9406, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physio.2012.06.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003194061200065X>). Accessed 25.11.13.
- [38] Lin, W.T. (2009). The business value of information technology as measured by technical efficiency: Evidence from country-level data. *Decision Support Systems*, 46 (4), 865-874,
- [39] ISSN 0167-9236, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2008.11.017>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923608002182>). Accessed 25.11.13.
- [40] Lin, W. T. & Chiang, C.Y. (2011). The impacts of country characteristics upon the value of information technology as measured by productive efficiency. *International Journal of Production Economics*, 132 (1), 13-33,
- [41] ISSN 0925-5273, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.02.013>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527311000703>). Accessed 25.11.13.
- [42] Manzotti R. & Tagliascio V. (2005). From behaviour-based robots to motivation-based robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 51, (2-3), 175-190,
- [43] ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2004.10.004>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889004001861>). Accessed 25.11.13.
- [44] Mintz, J. (2013). Additional key factors mediating the use of a mobile technology tool designed to develop social and life skills in children with Autism Spectrum Disorders: Evaluation of the 2nd HANDS prototype. *Computers & Education*, 63, 17-27,
- [45] ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.006>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131512002643>). Accessed 25.11.13.
- [46] Mintz, J., Branch, C., March, C. & Lerman, S. (2012). Key factors mediating the use of a mobile technology tool designed to develop social and life skills in children with Autistic Spectrum Disorders. *Computers & Education*, 58 (1), 53-62,
- [47] ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.013>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131511001710>). Accessed 25.11.13.
- [48] Mottok, J. & Gardeia, A. (2011). The Regensburg Concept of P-Seminars — How to organize the interface between secondary school and university education to create a didactic cooperation between teaching and learning of Software Engineering with Lego Mindstorms NXT Embedded Robot Systems. *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2011 IEEE, 917-920,
- [49] DOI: 10.1109/EDUCON.2011.5773255, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5773255&isnumber=5773100>. Accessed 25.11.13.
- [50] MUNCY (MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA). (2013). Official website: <http://www.muncyt.es/> Accessed 25.11.13.
- [51] Naves Cocota Junior, J.A., Abrao, D.C., Lopes, A.G., Oliveira de Medeiros, M.R. & Santos da Silva Lopes, E. (2013). Development of tangible experiments for motivating undergraduate students. *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2013 IEEE, 497,506,
- [52] DOI: 10.1109/EduCon.2013.6530152, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6530152&isnumber=6530074>. Accessed 25.11.13.
- [53] Ramík, D.M., Sabourin, C. & Madani, K. (2013). Autonomous knowledge acquisition based on artificial curiosity: Application to mobile robots in an indoor environment. *Robotics and Autonomous Systems*, 61 (12), 1680-1695,
- [54] ISSN 0921-8890, <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.06.005>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001127>). Accessed 25.11.13.
- [55] Robins, B., Ferrari, E., Dautenhahn, K., Kronreif, G., Prazak-Aram, B., Gelderblom, G., Tanja, B., Caprino, F., Laudanna, E. & Marti, P. (2010). Human-centred design methods: Developing scenarios for robot assisted play informed by user panels and field trials. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68 (12), 873-898,
- [56] ISSN 1071-5819, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.08.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581910000984>). Accessed 25.11.13.
- [57] Ruiz-del-Solar, J. & Avilés, R. (2004). Robotics courses for children as a motivation tool: the Chilean experience. *IEEE Transactions on Education*, 47, (4), 474-480,
- [58] DOI: 10.1109/TE.2004.825063, URL: <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.uned.es/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1356096&isnumber=29780>. Accessed 25.11.13.
- [59] Shamsuddin, S., Yussof, H., Idzhar Ismail, L., Mohamed, S., Akhtar Hanapiah, F. & Ismarrubie Zahari, N. (2012a). Initial Response in HRI- a Case Study on Evaluation of Child with Autism Spectrum Disorders Interacting with a Humanoid Robot NAO. *Procedia Engineering*, 41, 2012a, 1448-1455,
- [60] ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.334>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027348>). Accessed 25.11.13.
- [61] Shamsuddin, S., Yussof, H., Idzhar Ismail, L., Mohamed, S., Akhtar Hanapiah, F. & Ismarrubie Zahari, N. (2012b). Humanoid Robot NAO Interacting with Autistic Children of Moderately Impaired Intelligence to Augment Communication Skills. *Procedia Engineering*, 41, 1533-1538,
- [62] ISSN 1877-7058, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.346>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812027464>). Accessed 25.11.13.
- [63] Techno Museum Project. (2013). Official website: <http://www.technomuseum.org/?lang=en>, Accessed 25.11.13.
- [64] Umaschi Bers, M.; Flannery, L.; Kazakoff, E.R. & Sullivan, A. (2014) Computational Thinking and Tinkering: Exploration of an Early Childhood Robotics Curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157,
- [65] ISSN 0360-1315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131513003059>). Accessed 25.11.13.
- [66] Villanueva, M.; Cufi, X.; ElFakdi, A.; Rida, P. & García, R. (2011). Attracting talent to increase interest for engineering among secondary school students. *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2011 IEEE, 347,353,

Cómo citar este artículo: G. Carro, E. Sancristobal and P. Plaza, "Robotics as a Tool to Awaken Interest in Engineering and Computing Among Children and Young People," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 204-212, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089919.

[67] DOI: 10.1109/EDUCON.2011.5773159, URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5773159&isnumber=5773100>. Accessed 25.11.13.

[68] Woods S., Dautenhahn K. & Schulz J. (2006). Exploring the design space of robots: Children's perspectives. *Interacting with Computers*, 18 (6), 1390-1418, ISSN 0953-5438, <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2006.05.001>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09535438060066X>). Accessed 25.11.13.



Dr German Carro es Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, 2014. Área de interés. Laboratorios remotos y su desarrollo e implementación, robótica, IO y seguridad informática y protección de datos, así como la integración de todo lo anterior en diferentes ámbitos de la sociedad: educativo, doméstico, comercial, médico y social. Es autor de varias publicaciones en revistas y congresos de prestigio. También ha colaborado en varios proyectos de investigación. Es miembro del IEEE.



Dr Elio Sancristobal es doctor ingeniero por la ETSII (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales) de la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), 2010. Actualmente se desempeña como profesor ayudante en el departamento de Electricidad, Electrónica y Control de la UNED. Es autor de varias publicaciones en revistas y congresos de prestigio. También ha colaborado en varios proyectos de investigación. Es miembro del IEEE.



Pedro Plaza actualmente cursa el doctorado en Ingeniería Industrial en la ETSII de la UNED. Obtuvo el título de Máster por la ETSII (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales) de la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, en 2013. Actualmente es ingeniero de proyectos de I+D en Siemens Rail Automation. Pedro Plaza ha colaborado en varios proyectos de investigación. Es miembro del IEEE.