

# Talleres de robótica submarina para atraer a estudiantes jóvenes hacia la ciencia y la ingeniería: Construir y pilotar un ROV. Dos ediciones especiales en la India

X. Cufí, J. Freixenet, E. Muntaner, A. Figueras, R. Martí, A. Renart  
Instituto de Investigación VICOROB. Grupo UdiGitalEdu  
Escola Politècnica Superior (EPS-IV). Campus Montilivi. Universitat de Girona

## RESUMEN

El trabajo recoge la experiencia adquirida a lo largo de los últimos 10 años de desarrollo de un proyecto para promover los estudios de ingeniería entre los estudiantes de secundaria. Uno de los objetivos principales del proyecto es incrementar el interés de los estudiantes por la ciencia y la tecnología, y promover las habilidades y los valores propios de la ingeniería, tratando de atraer más estudiantes, y especialmente a las mujeres, a los estudios de ingeniería. Una serie de conceptos teóricos relacionados con la física y la ingeniería se estudian mediante experimentación. Los estudiantes construyen un vehículo submarino teleoperado (ROV) en equipos utilizando materiales de bajo coste. Pueden personalizar sus diseños en las diferentes fases, siempre teniendo en cuenta las cuestiones importantes relacionadas con el diseño tecnológico y la funcionalidad del vehículo. Durante el desarrollo del mismo y cuando finaliza el taller, los estudiantes se dan cuenta que la mejor manera de solucionar los problemas que aparecen a lo largo de un proyecto es el trabajo en equipo, el esfuerzo, y una buena estrategia de trabajo bien consensuada. Este trabajo pretende explicar la estructura y el funcionamiento del taller, y presenta una iniciativa de internacionalización del proyecto que se ha llevado a cabo durante cuatro años en dos escuelas del sur de la India pertenecientes a las clases sociales más bajas de la sociedad india (casta de los intocables). Con esta experiencia el proyecto realiza un nuevo paso adelante, y además de promover la ciencia, la tecnología y la ingeniería añade otra dimensión relacionada con la educación para una ciudadanía global.

**Palabras clave:** STEM, promover estudios de ingeniería, robótica submarina, bajo coste, trabajo en equipo, física e ingeniería, educación para la ciudadanía global, Inventors4Change

## 1. INTRODUCCION

Los estudiantes jóvenes son, de forma natural, muy curiosos sobre el mundo que los rodea. El *Contruccionismo* es una teoría de aprendizaje [1] que defiende que el aprendizaje es más un proceso activo de construcción del conocimiento que un proceso de adquisición del mismo, y que la construcción de este conocimiento se realiza mejor cuando se construyen artefactos que son tangibles y que pueden compartirse [2]. Nuestra experiencia educacional con jóvenes confirma estas ideas, y creemos sinceramente que las experiencias prácticas son ideales para promover aprendizaje significativo. En particular consideramos que estas actividades prácticas construccionistas son muy relevantes para exponer adecuadamente estudiantes jóvenes, mujeres y hombres, a los campos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEAM) [3].

Desafortunadamente cuando los jóvenes van creciendo perciben la ingeniería como un campo difícil, desconocido y poco atractivo, y a menudo se abandona la posibilidad de seguir un grado relacionado con STEM. El taller que se describe en este trabajo, consistente en la construcción y la conducción de un vehículo submarino teleoperado (que llamamos artubitus - R2B2) se inspira en las ideas del proyecto *SeaPerch* del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) [4], y en nuestro caso ha sido diseñado para estudiantes entre 12 y 18 años [5], [6]. Se trata por lo tanto de una contribución dirigida a revocar la situación proponiendo una actividad diferente de construcción de robots, que integra una gran variedad de conceptos STEM (comprender la 2ª y 3ª Leyes de Newton, Principio de Arquímedes, control de motores CC, diseño del chasis del vehículo y de la ubicación de los motores CC, el funcionamiento de un joystick, el control del robot mediante placas basadas en microcontrolador, iniciación a la programación, etc. Por otra parte, estos talleres son, desde el año 2008, una actividad para dar a conocer las actividades de investigación y los proyectos que se llevan a cabo en el

Centro de Investigación en Robótica Submarina (<https://cirs.udg.edu>) de la Universitat de Girona (<https://www.udg.edu>) [7].

Este trabajo está organizado como sigue: la siguiente sección detalla cómo se desarrolla el taller y algunas de las misiones que pueden realizarse con este robot submarino para que los estudiantes comprendan como se trabaja con ROVs en diferentes actividades que se realizan bajo el agua. La sección III describe la experiencia del desarrollo de estos talleres en las dos escuelas del sur de la India donde se han llevado a cabo en el contexto del proyecto Inventors4Change [8]. Finalmente, en la Sección IV se desarrollan las conclusiones y el trabajo futuro que podría llevarse a cabo.

## 2. LOS TALLERES ARTUBITUS (R2B2)

Siempre con la idea de incrementar el interés de los estudiantes por las materias STEM, el objetivo más importante de los talleres es la construcción de un vehículo submarino de bajo coste utilizando materiales y herramientas asequibles. El taller es supervisado por 3 profesores del grupo de investigación, y normalmente se lleva a cabo durante 3 días en las instalaciones del Centro de Investigación en Robótica Submarina de la Universitat de Girona. Este es un laboratorio moderno provisto con todo el equipamiento necesario para llevar a cabo la actividad, incluyendo una piscina para la realización de todo tipo de experimentos con robots submarinos de todo tipo (<https://cirs.udg.edu>).

El taller también puede realizarse en piscinas estándar e incluso en fuentes, cisternas e incluso en determinados espacios naturales. El taller está dividido en 3 módulos, y cada módulo puede realizarse en un día.

### Primer módulo (Primer día): Presentación, consola de teleoperación y chasis

Este primer módulo empieza con diferentes presentaciones cortas. Los profesores que conducen el taller dan la bienvenida a los estudiantes y realizan las presentaciones oportunas. En muchos casos se trata del primer contacto de los estudiantes con la Universidad, y se debe procurar ser próximos y que los estudiantes se encuentren tan cómodos como sea posible para poder establecer diálogo y discusiones de manera natural entre todos los participantes. A continuación se realiza una presentación multimedia y se proporciona documentación relacionada directamente con el desarrollo del taller, se describe la temporización de las diferentes actividades y se comentan las partes del vehículo submarino que debe desarrollarse y las herramientas profesionales que se utilizan para su fabricación. Se proporcionan normas y consejos de seguridad relacionados con la correcta utilización de las herramientas y el trabajo cerca del agua. Los estudiantes se agrupan en equipos de trabajo teniendo en cuenta sus perfiles personales y sus capacidades y aficiones. La última presentación, que debe servir como herramienta para estimular a los estudiantes y despertar su interés, promueve la investigación realizada en el CIRS relacionada con la investigación y las aplicaciones de la robótica submarina (monitorización ambiental, investigación oceanográfica, mantenimiento de estructuras sumergidas, etc.). Esta actividad tiene una duración aproximada de 1,5 h.

La primera tarea que realizan los estudiantes es la construcción del soporte de la unidad de teleoperación, realizada con piezas de madera. Los estudiantes deben ensamblar y pegar las diferentes partes utilizando cola de madera y puntas metálicas. Se requiere aproximadamente una hora para cortar las piezas de madera, realizar los agujeros necesarios y ensamblar el conjunto. A continuación los estudiantes empiezan a pensar el diseño del chasis del vehículo submarino y presentan y discuten cada una de las propuestas con los profesores del taller. Deben tenerse en cuenta aspectos tan importantes como intentar poner el máximo de peso en la parte baja del vehículo, dejar lugar para los motores de CC, que el chasis proteja los elementos más delicados del diseño, prever la ubicación de los elementos de flotación en la parte alta del vehículo, etc. Cuando el diseño está consensuado empiezan la construcción del chasis del vehículo mediante tubos de PVC de diferentes longitudes y con conectores en forma de codos de 90° y 135° y en forma de “T”. En la figura 1 se muestra un ejemplo de diseño. Los estudiantes deben medir y cortar los tubos a medida para adaptarse a las especificaciones del diseño utilizando adecuadamente las herramientas. Una vez finalizado, el chasis se utiliza como punto de partida para explicar y comprender la dinámica del vehículo. La duración de esta tarea es de 2 h aprox. En este momento los estudiantes podrán pulir, pintar y decorar la consola de teleoperación y personalizarla a su gusto, durante una hora aproximadamente. Debemos tener en cuenta que las habilidades artísticas y de diseño deben ser completamente compatibles con las de ingeniería.

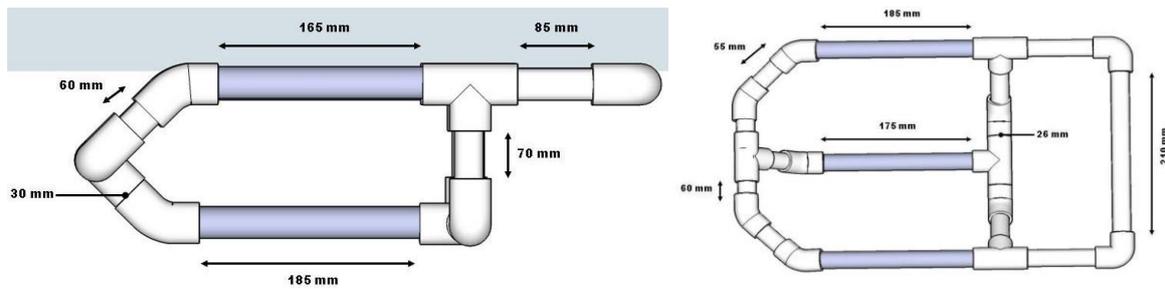


Fig. 1 Detalles del chasis del vehículo (un ejemplo)

Los estudiantes con formación más avanzada (bachillerato) no construyen la consola de teleoperación. En este caso se les presenta la alternativa consistente en la preparación de un módulo de teleoperación basado en una placa microcontrolada (Arduino UNO) y dos controladores de motores de CC (puentes en H L298N). En este caso, se les explica los conceptos básicos relacionados con el control de motores de corriente continua, se les proporciona la información necesaria, y se pide al grupo de estudiantes que piensen en las conexiones entre los diferentes elementos. Los estudiantes deben presentar la propuesta de conexionado a los profesores del taller, y justificar adecuadamente la propuesta.

El último paso de este primer módulo consiste en la preparación de determinados elementos discretos que serán necesarios durante el transcurso del siguiente módulo relacionado con la preparación del circuito eléctrico de control y sus conexiones. Se dedican 1,5 horas a la preparación cuidadosa de este material de soporte. Como puede comprobarse, los estudiantes habrán realizado actividades de todo tipo durante el transcurso de este primer módulo: actividades manuales, actividades de diseño, conocer a sus compañeros de actividad, discusión de propuestas, conocimiento de aspectos teóricos y aspectos prácticos directamente relacionados con el proyecto, documentar el desarrollo del proyecto, etc. Esto se produce, y es conveniente que así sea, en el transcurso de toda la actividad.

### Segundo módulo (Segundo día): Circuito eléctrico de control del vehículo

Los estudiantes empiezan este segundo módulo realizando físicamente el cableado de la consola de teleoperación, que requiere el ensamblado de 3 circuitos de inversión de la polaridad de los motores de CC. El módulo empieza con una explicación teórica de uno de estos circuitos. La interpretación correcta del esquema del circuito es crucial en este caso. Los profesores guían a los estudiantes en este proceso dado que en algunos casos se trata de la primera experiencia de los estudiantes en la utilización y la conexión de componentes eléctricos a nivel práctico. Cuando se comprende el circuito, los estudiantes lo trasladan a la consola de teleoperación, utilizando dos pulsadores para mover el vehículo en la dirección vertical (mover el robot arriba y abajo) y un joystick (basado en 4 pulsadores) para mover el vehículo en el plano horizontal (ver figura 2). Los estudiantes dedican toda la mañana del segundo día a completar esta parte del trabajo (4 horas)

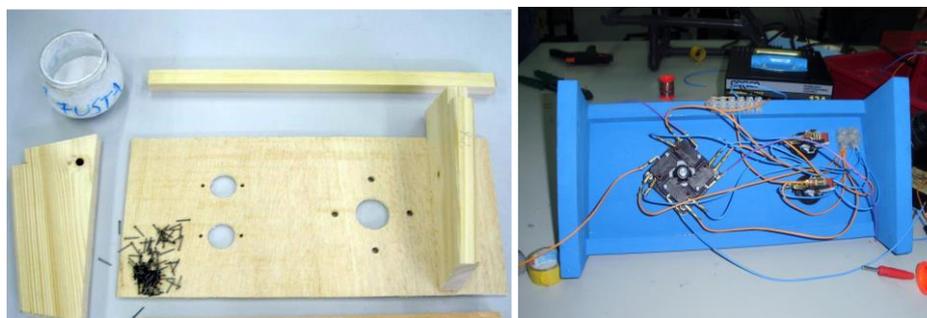


Fig. 2. Detalles de la consola de teleoperación (a) Diferentes partes de la consola. (b) Circuito eléctrico de los pulsadores y del joystick.

En el caso de montar el módulo de teleoperación basado en el microcontrolador y los controladores de los motores de CC, los estudiantes realizan las conexiones pertinentes, que han sido previamente discutidas con los profesores del taller. En este caso los estudiantes deben empezar a pensar en el programa de control del vehículo submarino. La teleoperación puede realizarse, por ejemplo, utilizando las teclas del ordenador que se utiliza para la programación del código de control del vehículo, y para subir el mismo a la placa microcontrolada. El hecho de disponer de un elemento programable permite pensar en otro tipo de soluciones para implementar este módulo de teleoperación.

El siguiente paso consiste en impermeabilizar los motores de corriente continua para hacerlos estancos. Para este propósito se cubren las partes más delicadas de los motores con cinta aislante y cola térmica. Además, el eje del motor y la parte frontal del mismo se cubre con vaselina para prevenir tanto como sea posible la entrada de agua al motor a través de su eje. A continuación se introduce este conjunto en un contenedor de plástico cilíndrico de medidas similares al cuerpo del motor de CC. Los estudiantes deben perforar este contenedor para dar salida al eje del motor. El agujero debe ajustarse al máximo al diámetro del eje del motor. A continuación se acaba de rellenar el contenedor plástico con cola térmica. El conjunto que se obtiene es el contenedor plástico con el motor de CC en su interior. Solo salen de este conjunto el eje del motor, por una parte, y los dos cables eléctricos conectados a los bornes del motor (ver figura 3). A continuación se fijan los motores sellados al chasis. La conexión con la consola de teleoperación se realiza a través de un cable Ethernet. El cable Ethernet está compuesto por 4 pares de cables. En nuestro caso se utilizan 3 pares (uno para cada uno de los motores), y uno de los pares se deja libre para si se desea conectar al vehículo algún elemento adicional que pueda controlarse desde la superficie. El uso de un cable Ethernet es adecuado en este caso dado que la potencia de los motores de CC es baja. Para motores más potentes debería pensarse un cable umbilical de otro tipo. La tarea de impermeabilización y preparación del conjunto de los motores eléctricos se lleva a cabo aproximadamente en 2,5 h.



Fig. 3. Sellado de los motores de corriente continua. (a) Vaselina en el eje del motor. (b) Sellado del conjunto con cola térmica.

En este momento pueden realizarse las primeras pruebas (en seco) del funcionamiento del vehículo submarino, analizando la coherencia del comportamiento de los motores del robot con los comandos que se proporcionan a los pulsadores y al joystick en la consola de teleoperación. Se dedican 0,5 h a esta parte de pruebas en seco del vehículo.

### **Tercer módulo (Tercer día): Ajustes, pruebas, conducción y realización de misiones**

Este módulo empieza con el ajuste de la flotabilidad del vehículo dentro del agua. Es el último paso antes de realizar experimentos reales con el vehículo completamente terminado. La estabilidad del robot es el resultado de la distribución correcta de los elementos más pesados en la parte baja del vehículo, combinado con el efecto de la fuerza de empuje que proporciona la espuma técnica colocada en la parte superior del chasis. Los estudiantes deben ajustar correctamente tanto la flotabilidad del vehículo (que debe ser ligeramente positiva) como la estabilidad del mismo en todos los planos. Para ello debe ajustarse la colocación de fragmentos de espuma técnica y de los pesos necesarios (en la parte baja) para conseguir que el vehículo sea estable y esté perfectamente equilibrado (ver figura 4). También debe intentarse proporcionar flotabilidad neutra al fragmento de cable umbilical de unos 2 o 3 metros de longitud que acompaña el vehículo. Debe evitarse que el cable umbilical arrastre el vehículo al fondo o hacia la superficie. Se dedican 3 h para todo el proceso de ajuste de la flotabilidad y el equilibrio de los vehículos y la comprobación del funcionamiento de los mismos.



Fig. 4 Ajuste de la flotabilidad del vehículo submarino. (a) Vehículo en la cubeta de pruebas. (b) Vehículo con los flotadores ajustados al chasis.

### Las misiones para la validación del vehículo

Se han pensado una serie de misiones para testear las habilidades de conducción en teleoperación de los estudiantes o para simular determinadas misiones de intervención muy sencillas debajo del agua. Estas misiones, en general, guardan ciertos paralelismos con las misiones reales que puedan realizar los robots submarinos profesionales, y sirven para que los estudiantes tengan algunas ideas básicas relacionadas con las características de las misiones de exploración, intervención e investigación que se realizan. Pueden comentarse, a título de ejemplo, la navegación a través de estructuras sumergidas (ver figura 5), o recoger piezas con características determinadas (piezas metálicas, piezas con determinadas formas o con elementos que facilitan su aprehensión, etc).

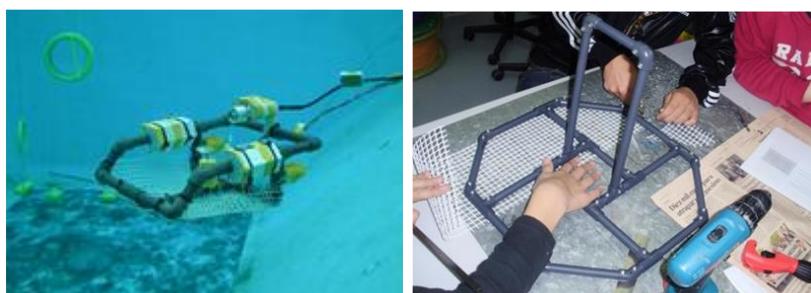


Fig. 5. (a) Navegación a través de estructuras sumergidas. (b) Detalle de un contenedor de recogida de objetos

Es importante que los estudiantes aprendan los problemas que comportan las operaciones en el medio subacuático y las estrategias más usuales. Un ejemplo típico es hacer comprender a los estudiantes que es un error recoger un objeto determinado y que el vehículo submarino lo lleva hasta la superficie utilizando la propulsión del robot. La recogida de objetos pesados normalmente se realiza utilizando un sistema de soporte controlado desde la superficie, y el robot solamente acerca los objetos hasta el sistema de soporte.

Pueden pensarse misiones colaborativas, donde diferentes vehículos realizan diferentes sub-tareas con el fin de llevar a cabo una misión determinada. Estas misiones resultan especialmente interesantes dado que los diferentes equipos de estudiantes deben decidir y acordar entre ellos cual es el rol que juegan en el desarrollo de la misión. Normalmente uno de los equipos realiza una misión concreta de manipulación de algún objeto, por ejemplo, y el otro, que acarrea una cámara subacuática, realiza las tareas de supervisión y proporciona instrucciones adecuadas al grupo de intervención. Los estudiantes dedican aproximadamente 3 horas a la realización de pruebas y misiones en el agua con los vehículos submarinos.

### 3. LA EXPERIENCIA EN LA INDIA

Durante los años 2016, 2017 y 2018 se han internacionalizado estos talleres en el marco del proyecto Inventors4Change [8]. El objetivo principal del proyecto es proporcionar herramientas, técnicas y conocimientos a los niños y niñas para que puedan inventar los cambios que quieren ver reflejados en el mundo. Consiste en la creación de una red de escuelas y organizaciones que usan la tecnología y las herramientas multimedia para el aprendizaje creativo para fomentar el aprendizaje colaborativo basado en estas invenciones, entre niños y niñas de diferentes países y culturas.

El proyecto va dirigido especialmente a niños y niñas de comunidades desatendidas y sus invenciones se inspiran en problemas globales como los derechos humanos, el cambio climático, o la igualdad de géneros. Además de proporcionar colaboración y soporte virtual a las escuelas, parte del trabajo de nuestro equipo ha consistido en proporcionar adiestramiento a las escuelas en la India, y en la realización de diferentes ediciones de distintos tipos de talleres y actividades tecnológicas con los niños y las niñas y sus profesores y profesoras.

Desde el año 2014 hasta 2017 se han realizado diferentes talleres especiales de robótica submarina en el contexto del proyecto Inventors4Change. Se han realizado básicamente en dos escuelas. La primera escuela es Parikrma Centre for Learning in Koramangala (Karnataka, Bangalore) [9], que es una escuela que pertenece a la Parikrma Humanity Foundation, una organización que tiene 4 escuelas que educan a aproximadamente 1500 niños y niñas de 69 barrios marginales y 4 orfanatos en Bangalore. En esta fundación se intenta que cada niño o niña desarrolle su propia personalidad y su propia curva de aprendizaje que se potencia y se soporta activamente hasta que se completa su educación. La otra escuela es diferente, se trata de Shanti Bhavan (Baliganapalli, Tamil Nadu) [10] que es una escuela excepcional para los niños y niñas pertenecientes a la casta baja más vulnerable y subdesarrollada de la India, los intocables o dalits. Estos niños y niñas proceden de familias a las cuáles de han denegado los derechos humanos básicos durante centenares de años. Son víctimas de una discriminación social muy severa y están privados de la oportunidad de vivir con unas condiciones dignas y de tener una cierta estabilidad económica. La escuela sirve como casa y residencia en un entorno “sin sectas” que proporciona una educación holística en un entorno de muy alta calidad. Ambas escuelas consideran de gran importancia los tópicos relacionados con STEM, y la filosofía de estos centros junto con su actitud abierta ayudan muchísimo, con lo cual la colaboración con ellos es fácil. Las figuras 6 y 7 muestran diferentes detalles del desarrollo de los talleres de robótica submarina con estudiantes de Parikrma y Shanti Bhavan respectivamente. El objetivo principal en estos casos específicos es acercar una disciplina como la robótica submarina a un conjunto de estudiantes que, dadas sus características socio-económicas y culturales, y a su situación geográfica, tienen un conocimiento nulo de esta disciplina y sus aplicaciones potenciales. En algún caso se tuvo que alterar el formato inicial del taller debido a restricciones de temporales, dedicando más tiempo a la última parte del taller (tercer módulo), y a la realización de misiones sencillas en la piscina, sin dejar de lado en ningún momento los conceptos físicos y de ingeniería de los vehículos subacuáticos. Durante las demostraciones los estudiantes han aprendido las principales características y las diferencias entre un robot submarino teleoperado (ROV) y un robot autónomo (AUV), y las principales aplicaciones de la robótica móvil. Otro aspecto que se considera muy importante al introducir este tipo de actividades es que los estudiantes y los profesores de estos centros deben atreverse a realizar este tipo de actividades por ellos mismos, y que estas actividades pueden ser adaptadas a las necesidades específicas.



Fig. 6. Estudiantes de Parikrma centre for Learning. (a) Explicando conceptos de ingeniería relacionados con el chasis del vehículo. (b) Operando el vehículo submarino en una piscina (Bangalore, India)



Fig. 7. Shanti Bhavan School. (a) Explicando aplicaciones de la robótica submarina. (b) Dos niñas teleoperando un vehículo submarino.

Realizar este taller en la India supone superar un número importante de retos, pero el resultado final es muy satisfactorio. Los niños y las niñas han descubierto y aprendido muchos conceptos nuevos. Durante la fase de pruebas han podido conducir y operar los vehículos recién construidos y han realizado misiones muy sencillas de recogida de objetos. En general sus opiniones y comentarios son muy positivos. Esto es muy reconfortante para los miembros de nuestro equipo, y creemos sinceramente que este tipo de actividades promueve la ingeniería y el método científico y estimulan la curiosidad de forma muy efectiva allí donde se realicen, independientemente del entorno cultural de los niños y las niñas.

Estos talleres, realizados en esas escuelas de la India, no son actividades aisladas sino que forman parte del proyecto Inventors4Change. En el marco de este proyecto se realizan también talleres de robótica de bajo coste, talleres de programación tangible (*unplugged computer science*), programación de pequeños videojuegos, y programación de robots LEGO.

#### 4. CONCLUSIONES

Permitir que estudiantes de primaria y secundaria interactúen con investigadores senior es un factor clave para motivarlos, y para incrementar su interés en la tecnología y la ciencia. En estos talleres los estudiantes realizan actividades prácticas que permiten validar el conocimiento de conceptos en los campos de la física, la ciencia y la ingeniería, y no resulta menos importante el desarrollo de la creatividad, el pensamiento crítico y los valores del trabajo en equipo. Hasta la fecha, la actividad se ha realizado con 50 grupos de estudiantes, y un total de 785 niños y niñas. Se han construido un total de 189 vehículos submarinos en el transcurso de todas estas ediciones. Muchos de estos talleres se han realizado con estudiantes de 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> cursos de ESO, un número importante con estudiantes de Bachillerato, y en algunos casos con niños y niñas de primaria, en ediciones adaptadas muy especiales. Esta actividad ha recibido la Distinción Colectiva Jaume Vicens Vives a la Calidad Docente Universitaria de la Generalitat de Catalunya en el año 2018, y un premio educacional en el marco del Congreso ITWorldEdu, a la mejor solución tecnológica educativa en Catalunya, el año 2012 [12], [13].

Para evaluar la eficacia de la actividad los estudiantes rellenan un cuestionario de evaluación que intenta reflejar diferentes aspectos relacionados con el desarrollo del taller y el grado de consecución del aprendizaje. Los resultados muestran un interés creciente de los estudiantes en los diferentes aspectos de ingeniería de la actividad. Las respuestas de los estudiantes sirven también para ir ajustando aspectos de las diferentes fases del desarrollo del taller, y han sido imprescindibles para mejorarlo. Los cambios propuestos han estado relacionados básicamente con la forma de presentar los diferentes conceptos teóricos, la mejora del diseño del vehículo, y para la optimización de la organización del taller. Recientemente se han incorporado ideas relacionadas con el diseño de robots programables [14] en ediciones específicas del taller utilizando plataformas microcontrolador de bajo coste y software libre, tal como se ha mencionado anteriormente, y se han introducido ideas relacionadas con el diseño de robots autónomos y la programación de misiones sin intervención del usuario. Para ello debe analizarse el comportamiento físico del robot en el agua y ajustar los parámetros del programa que permiten la correcta realización de las trayectorias de los prototipos.

A pesar de los resultados positivos, hay todavía una gran cantidad de trabajo por realizar. Debe analizarse en profundidad la incidencia que tiene este tipo de actividades sobre la decisión que toman los estudiantes a la hora de escoger estudios

de ingeniería. Este puede ser un problema muy difícil de analizar, y debe ser uno de los puntos clave del trabajo futuro que debe realizarse en el marco del proyecto.

En cuanto a la internacionalización del proyecto se refiere, uno de los objetivos inmediatos es proporcionar formación básica a los profesores de las escuelas participantes de la India para que puedan realizar el taller de forma completamente independiente, siempre con el soporte de los miembros del equipo cuando se requiera, aunque éste se realice a distancia.

Otro de los objetivos es llevar la actividad a otros países. Si es posible en colaboración con otros equipos con los que existe colaboración desde hace mucho tiempo y con los que se comparten ideas, trabajo y objetivos, como es el caso de los miembros del equipo del proyecto EDUROV que pertenece a la Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN) [15] con los que se lleva trabajando desde el año 2012.

## REFERENCIAS

- [1] S. Papert, *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc., 1980.
- [2] E. Ackermann, D. Gauntlett, and C. Weckstrom, “Defining systematic creativity, lego learning institute,” 2009.
- [3] A. S. Zhang, I. Heng, F. Zia, and S. Berri, “Using hands-on robotic projects to engage and strengthen high school students participation in stem education,” 2012.
- [4] Massachusetts Institute of Technology (MIT), “Sea perch program. <http://seaperch.mit.edu/>.”
- [5] H. Bohm and V. Jensen, *Build Your Own Underwater Robot and Other Wet Projects*, 6th ed., ser. ISBN 0968161006. Vancouver, Canada: Wescoast Words, 1997.
- [6] S. Moore, H. Bohm, and V. Jensen, *Underwater Robotics*, ser. ISBN 9780984173709. Monterrey CA, USA: Science, Design and Fabrication. Marine Advanced Technology Education Center (MATE), 2010.
- [7] CIRS, “Centre d’investigació en robòtica submarina. <http://cirs.udg.edu/>.”
- [8] Inventors4Change, “Inventors4change project. <http://www.inventors4change.org/>.”
- [9] Parikrma Centre for Learning, “Parikrma foundation. <http://www.parikrmafoundation.org/>.”
- [10] Shanti Bhavan, “Shanti bhavan. <http://shantivabhavanonline.org/>.”
- [11] A. El-Fakdi, X. Cufi, N. Hurtos, and M. Correa, “Team-based building of a remotely operated underwater robot, an innovative method of teaching engineering,” *Journal of Intelligent —& Robotic Systems*, pp. 1–11, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-015-0203-5>
- [12] ITWorldEdu, “ITWorldEdu mobilising schools.” 2012. <https://edu21.cat/itworldedu5-2012/>
- [13] Universitat I Recerca. Generalitat de Catalunya. [http://universitatsirecerca.gencat.cat/ca/01\\_secretaria\\_duniversitats\\_i\\_recerca/premis\\_i\\_reconeixements/distincions\\_jaume\\_vicens\\_vives/](http://universitatsirecerca.gencat.cat/ca/01_secretaria_duniversitats_i_recerca/premis_i_reconeixements/distincions_jaume_vicens_vives/)
- [14] Arduino, “<http://www.arduino.cc/>.”
- [15] PLOCAN, “The edurov project. <http://www.edurovs.eu/>.”