

# Aprendizaje basado en Proyectos para la Enseñanza de Ciencias Físicas usando Arduino Physics Lab

Julián Vidal, Diego Bravo, Carlos Rengifo

**Title— Project-Based Learning for Teaching Physical Sciences using Arduino Physics Lab**

**Abstract— In this work, the use of the Arduino Science Kit Physics Lab will be evaluated and suggested as a low-cost tool for conducting self-guided physical science laboratory practices using a project-based learning approach. The specifications that the guides should have to carry out the practices with the kit as an alternative to virtual and remote learning environments are shown.**

**Index Terms— Arduino, Project-based learning, Physical Sciences, Teaching.**

## I. INTRODUCCIÓN

Los estudiantes necesitan realizar las actividades que hacen los científicos: hacerse preguntas, explorar y explicar fenómenos y resolver problemas, todo dentro de entornos del mundo real, [1]. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es un enfoque educativo en el que los estudiantes participan en actividades similares a las de los científicos y precisamente las prácticas de laboratorio hacen parte de este modelo educativo el cual reta a los estudiantes con un problema real, interesante y complejo para el que tienen que diseñar una solución o un artefacto basado en la recopilación de datos, hipótesis y consultas adicionales. En este proceso, los estudiantes aplican e integran conceptos y procedimientos mientras mejoran sus habilidades profesionales, [2]. El ABP se caracteriza por brindar a los estudiantes oportunidades para aplicar conocimientos adquiridos previamente, integrar diversos temas en un mismo proyecto, desarrollar nuevos conocimientos y perspectivas, incrementar y mantener la motivación e interés en los temas desarrollados en clase y aprender a trabajar en equipo, [3].

Universidades en diversas partes del mundo han empezado a incluir en sus currículos educativos el ABP como es el caso de la Universidad Tecnológica de Dublín que llevó a estudiantes del tercer año de ingeniería mecánica se les pidió usar una solución de una ecuación diferencial de segundo orden para diseñar un sistema de amortiguación de resorte

Julián Vidal, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia (email [jvidalg@unicauca.edu.co](mailto:jvidalg@unicauca.edu.co)).

Diego Bravo, Departamento de Física, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia (email [dibravo@unicauca.edu.co](mailto:dibravo@unicauca.edu.co)). (<https://orcid.org/0000-0001-7041-3183>)

Carlos Rengifo, Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia (email [caferen@unicauca.edu.co](mailto:caferen@unicauca.edu.co)). (<https://orcid.org/0000-0002-0601-3481>)

simple, [4]. También implementaron la metodología ABP para la enseñanza de estadística, [5].

En la universidad del País Vasco en España, incorporó el enfoque ABP en el curso de Operaciones unitarias en ingeniería ambiental, [6]. En Brasil, se llevó a cabo un estudio para verificar la eficacia del ABP como una herramienta motivacional; el estudio reveló que la interacción entre la universidad y la industria incrementó la confianza de los estudiantes, [7].

La Universidad de Qatar, implementó el ABP en cursos de ingeniería eléctrica logrando que los estudiantes desarrollen habilidades como comunicarse efectivamente, trabajar colaborativamente en equipo, pensamiento crítico y creativo además de gestionar proyectos de manera eficiente, [8]. Otro ejemplo de la efectividad del ABP es el estudio realizado en la Universidad Estatal de Georgia en Atlanta, USA en el cual apelaron a este enfoque educativo para enseñar programación paralela con un computador Raspberry PI para que los estudiantes exploren su arquitectura multinúcleo y creen programas para el paralelismo de memoria compartida; los resultados muestran que la enseñanza mediante este enfoque tiene un efecto directo y significativo en el aprendizaje de programación paralela, [9].

Estonia es un país que está enseñando tópicos de ciencia y tecnología desde el año 2018 en las escuelas, en ese año formaron aproximadamente 3,100 estudiantes en dichas áreas del saber. A las escuelas se les provee 5 kits de sensores distintos para ser usados por estudiantes y resolver varios problemas cotidianos usando ABP. Este método de enseñanza activa hace que las lecciones de ciencias naturales y exactas sean más interesantes e inclusivas para los estudiantes; asimismo influyen en su elección de educación y futura carrera, [10].

En este artículo se evaluará el Arduino Science Kit Physics Lab como una herramienta de bajo costo para el aprendizaje basada en proyectos [11] y la enseñanza de las ciencias físicas mediante algunas prácticas de los laboratorios de mecánica, electromagnetismo y termodinámica, los cuales son parte de la malla curricular de los programas de ingeniería y ciencias básicas de la Universidad del Cauca, donde los estudiantes puedan experimentar las tesis descritas en las leyes y principios físicos aprendidos teóricamente en las clases; además podrán afrontar problemas intrínsecos a los montajes y medidas de las prácticas de laboratorio, tales como propagación del error, el ruido de sensado, los disturbios externos entre otros.

## II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Para países como Colombia, realizar prácticas de laboratorio de alta calidad como parte del ABP es un privilegio del que pocas universidades gozan debido principalmente al elevado costo de los equipos necesarios para ello. Una de las soluciones más populares que ha tomado mucha fuerza en los últimos años son los laboratorios virtuales y/o remotos. Estos tipos de laboratorios son clasificados detalladamente por diversos autores, [12] pero para el desarrollo de esta investigación se destacan:

- **Laboratorios remotos:** Uso de laboratorios reales de forma remota. Se basan en laboratorios que son controlados remotamente a través del internet. En muchos casos se trata de equipos costosos o sensibles. Estos laboratorios ofrecen la oportunidad de hacer prácticas en horarios apropiados para los estudiantes, aunque necesitan agendar su uso.
- **Laboratorios virtuales:** Se basan únicamente en el software y la simulación digital de modelos matemáticos. El grado de similitud con el equipo real depende de cada caso. De hecho, hay dos categorías: Una en la que el software intenta reproducir esquemáticamente el entorno del laboratorio y otra en la que se reproduce el entorno del laboratorio para crear realismo.

Si bien estas herramientas son útiles ya que ayudan al estudiante a visualizar de una forma clara y detallada los fenómenos físicos, le quitan la verdadera experiencia de un ABP ya que nunca se manipulan directamente los equipos del laboratorio. Afortunadamente, existen otras alternativas que permiten ir más allá de la visualización y dan al estudiante la oportunidad de interactuar con un montaje experimental en el mundo real, una de estas herramientas es el Arduino [Science kit physics lab](#) desarrollado por Arduino en alianza con Google, [13]. Este kit provee a los estudiantes una experiencia práctica para explorar los conceptos de fuerza, movimiento y conductividad eléctrica y térmica. El kit incluye un rango de sensores para medir luz, temperatura, movimiento y campos magnéticos; además viene integrado con [Google's Science Journal](#) para registrar los datos de una forma eficiente y automatizada al conectarse con un dispositivo móvil con sistema operativo Android.

En la tabla se hace un comparativo detallado de las ventajas y desventajas de los laboratorios remotos y/o virtuales y aprendizaje basado en proyectos con el Arduino [Physics Lab](#).

Para implementar la metodología ABP en los programas de ingeniería y ciencias básicas de la Universidad del Cauca, este objetivo se ha visto truncado por factores como:

	No	Parcialmente
Los estudiantes tienen que movilizarse hasta la universidad para realizar la práctica	No	Parcialmente
Uso óptimo de los recursos	Si	Si
Accesibilidad a diferentes tipos de experimentos	Si	Si
Aporta en el proceso de aprendizaje ya que se crea un nexo constante entre la experimentación y la teoría	Si	Si
Fácil comprensión y uso	Si	Si
Adquisición de datos de una manera sencilla	Si	Si
Interacción directa con el experimento	No	Si
Inestabilidad de la práctica debido a conexión a internet	Si	No
Posibilidad de realizar el experimento las veces necesarias	Si	Si
Experimentar en el mundo real la teoría de la propagación del error	No	Si

- Algunos equipos de los laboratorios no son óptimos o son muy antiguos y renovarlos requiere de una alta inversión por parte de la universidad.
- La virtualidad debido al COVID-19. Incluso al retornar a la presencialidad, esta va a estar estrictamente regulada por las normas de bioseguridad las cuales establecen la no aglomeración de personas en lugares cerrados.
- Antes de la pandemia, los estudiantes experimentaban congestión en los laboratorios lo cual hacía casi imposible repetir o reponer una práctica de laboratorio debido a su alta demanda.

Todo esto conlleva a dificultades en la enseñanza de las ciencias físicas y sus prácticas de laboratorio. Con base a los obstáculos para brindar una educación integral por falta de experiencias tangibles y relevantes en la formación de ciencias e ingeniería, se plantea resolver la siguiente pregunta de investigación en el desarrollo de este artículo: ¿Es posible realizar prácticas autoguiadas de mecánica, electromagnetismo y termodinámica a distancia usando el Arduino Physics Lab para contribuir a la enseñanza de las ciencias físicas en la Universidad del Cauca?

## III. ARDUINO PHYSICS LAB

El Science kit physics lab de Arduino es un kit de bajo costo desarrollado por Arduino en alianza con Google para brindar a los estudiantes la oportunidad de realizar experimentos de física básica para entender de manera pragmática conceptos como: aceleración, fuerza, rotación, conductividad y resistividad térmica, gravedad, inercia, velocidad, calor, temperatura, fricción, entre otros. Dicho kit incluye los siguientes componentes:

TABLA I  
COMPARACIÓN ENTRE ABP CON ARDUINO PHYSICS  
LAB Y LABORATORIOS REMOTOS Y/O VIRTUALES

Característica	Laboratorios Remotos y/o Virtuales	ABP con Arduino Physics Lab
Disponibilidad 24/7	Si	No



Fig. 1. Arduino Science kit Physics Lab.



Fig. 2. Arduino MKR WiFi 1010.

- Arduino MKR WiFi 1010
- Tablero de soporte para la placa Arduino
- Dos soportes de silicona
- Módulo sensor de luz
- Módulo sensor de temperatura
- Cables
- Accesorios

#### A. Especificaciones del Arduino MKR WiFi 1010

El Arduino MKR WiFi 1010 es una tarjeta pensada para aplicaciones IoT, al igual que las otras tarjetas de la serie MKR tiene un procesador de bajo consumo ARM® Cortex®-M0 32-bit SAMD21. La conectividad WiFi y Bluetooth se realiza con el módulo u-blox NINA-W10, un chip ble de bajo consumo que opera en el rango de 2.4GHz. Además de eso, los protocolos de comunicación segura son encriptados por el chip criptográfico Microchip® ECC508. En la Fig.2 se muestra la tarjeta por la parte superior e inferior.

El Arduino Physics Lab incluye nueve proyectos prácticos junto con una plataforma de aprendizaje en línea para estudiantes y educadores de secundaria. En este trabajo proponemos adaptar el Kit para la formación de ciencias físicas en estudiantes universitarios de ingenierías y ciencias básicas mediante un enfoque ABP. Redactar guías de laboratorio con enfoque ABP no es tarea trivial, ya que depende de múltiples factores como: recursos disponibles, conocimientos previos de los estudiantes, conceptos a transmitir, entre otros. En este artículo se muestra la adaptación de un total de 5 guías de laboratorio para el programa de ingeniería física de la universidad del Cauca para ser desarrolladas con el kit Arduino Science Kit Physics Lab mediante ABP.

#### IV. ESPECIFICACIONES DE LAS GUIAS DE LABORATORIO CON ENFOQUE ABP

En este artículo se proponen 5 guías de laboratorio para el programa de ingeniería física de la universidad del Cauca para ser desarrolladas con el kit Arduino Science Kit Physics Lab con el enfoque ABP.

De acuerdo con las experiencias brindadas por los autores citados en la Introducción, estas guías deben incluir las siguientes secciones:

- **Introducción:** Descripción concisa de qué consiste la práctica de laboratorio a realizar.
- **Objetivos:** Se establecen de forma clara y medible los resultados que se esperan obtener al final de la práctica.
- **Preguntas previas y posteriores a la práctica:** Estas secciones no han sido implementadas hasta el momento en las prácticas ni guías de laboratorio realizadas en el programa de ingeniería física de la universidad del Cauca. Esta metodología implementada por múltiples instituciones educativas alrededor del mundo consiste en hacer un cuestionario, no calificable y en algunos casos de forma anónima, a los estudiantes antes de que realicen la práctica, con el fin de tener un punto de referencia de los conocimientos adquiridos hasta el momento. Una vez realizada la práctica se les hace el mismo cuestionario nuevamente, de manera anónima y no calificable por lo general. Luego, el docente compara las respuestas de ambos cuestionarios para determinar, en forma general, si el desarrollo de la práctica contribuyó a que los estudiantes entendieran mejor los conceptos involucrados en la actividad experimental. El objetivo principal de estas secciones no es evaluar al estudiante, sino la efectividad del desarrollo de las prácticas para ayudar a los estudiantes a comprender conceptos, leyes y/o principios físicos por medio de la experimentación. Ya que para el desarrollo de las guías de laboratorio autoguiadas propuestas no se requiere estrictamente la presencia de un docente que realice dichos cuestionarios, en las guías se han anexado estas secciones. Además, en la plantilla del informe de laboratorio proporcionada a los estudiantes en la sección "procesamiento de datos" de cada guía [14], se les anima a responder dichas preguntas de manera transparente, recalando que las respuestas proporcionadas en estas secciones no afectarán su calificación y que el propósito de estas es evaluar las guías y el desarrollo de estas. De igual modo, se invita a los estudiantes a describir su experiencia durante la realización de la práctica, compartir los inconvenientes y/o desafíos que se le presentaron durante esta y compartir sugerencias para mejorar la guía y el desarrollo de esta.

- **Materiales:** Lista e imágenes de los elementos necesarios para llevar a cabo el experimento en cuestión.
- **Montaje:** Se explica de manera detallada, incluyendo imágenes de referencia, cómo realizar el montaje de la práctica de laboratorio a realizar.
- **Procedimiento:** Se describe paso a paso el desarrollo de la práctica de laboratorio, en esta sección se anexan capturas de pantalla y fotos para evitar ambigüedad en el proceso. Esta parte es de gran importancia ya que se le explica al estudiante cómo hacer la toma de los datos experimentales, también se incluyen recomendaciones con el fin de reducir la propagación del error en las medidas.
- **Procesamiento de datos:** En esta sección:
  1. Se le explica al estudiante cómo realizar el tratamiento de los datos obtenidos para sacar de ellos información relevante. Teniendo en cuenta que son prácticas llevadas a cabo en los primeros semestres, los pasos a llevar a cabo son claros y detallados para que el estudiante pueda entenderlos y realizarlos de manera autónoma.
  2. Se plantean preguntas claves al estudiante para que, en base a los datos e información obtenida, llegue a conclusiones congruentes con los principios y/o leyes físicas implicadas en la práctica. Esto es de suma importancia ya que ayuda a que el estudiante vea en acción la teoría aprendida en el aula de clase, este es el elemento más poderoso del aprendizaje ABP puesto que le permite al estudiante tener una experiencia tangible con la ciencia y no meramente teórica.
  3. Se incluye una plantilla del informe de laboratorio, en este documento los estudiantes plasman de forma concisa la teoría relacionada con el experimento, presentan las medidas tomadas de la forma más adecuada (tablas, gráficas de barras, histogramas, etc.) según el tipo de datos, también se incluyen los cálculos y/o tratamiento de datos llevados a cabo y las conclusiones sobre la práctica de laboratorio.
- **Bibliografía:** Se citan referencias en las que los estudiantes pueden profundizar los fundamentos teóricos involucrados en la práctica.

## V. RESULTADOS

En este trabajo se usó el kit Arduino Physics Lab como herramienta de aprendizaje basado en proyectos. El kit facilita la interacción con montajes experimentales de mecánica, termodinámica y electromagnetismo; al ser una herramienta que permite realizar dichas prácticas dentro y fuera del aula de clase (a distancia), que permita contribuir significativamente al proceso de formación profesional de los estudiantes de ingeniería y ciencias básicas de la Universidad del Cauca.

El kit en mención permite realizar las siguientes prácticas de laboratorio:

- **Laboratorio de mecánica:** Se mide la aceleración de un cuerpo variando el ángulo de inclinación para descubrir la correlación de estas dos variables. Palabras clave: aceleración, fuerza,

gravedad, inercia, velocidad, acelerómetro, giroscopio.

- **Laboratorio de termodinámica:** Se mide la temperatura en diferentes materiales para determinar si son aislantes o conductores de calor. Palabras clave: calor, transferencia de calor, conducción, convección, radiación, temperatura, conductividad térmica, resistividad térmica, termómetro.
- **Laboratorio de mecánica:** Se mide la aceleración lineal de un objeto cuando tiene movimiento armónico simple para determinar la constante de elasticidad del resorte y el periodo de oscilación. Palabras clave: Aceleración, acelerómetro, desplazamiento máximo, posición de equilibrio, fuerza, fricción, frecuencia, fuerza gravitacional, momento, oscilación, péndulo, periodo, velocidad
- **Laboratorio de mecánica:** Se mide la intensidad lumínica y se correlaciona con la velocidad rotacional, adicionalmente se determinan las revoluciones por minuto. Palabras clave: velocidad rotacional, torque, fuerza centrífuga, fuerza centrípeta, inercia, fotodetector, periodo, r.p.m., fuerza de fricción, velocidad crítica.
- **Laboratorio de electromagnetismo:** Se mide resistencia eléctrica para determinar si ciertos materiales son conductores o aislantes eléctricos. Palabras clave: carga, conductividad, corriente, resistencia, voltaje.

Con el objetivo de ilustrar como se implementa una práctica con los pasos indicados en la sección IV, a continuación, se presentan algunos de los apartes más importantes para el caso de estudio la *Torre de Caída*.

**Introducción:** Si alguna vez montaste en este juego mecánico, habrás experimentado la fuerza de la gravedad en acción. En esta práctica, construirás una torre de caída en miniatura y un deslizadero (también conocido como tobogán o resbalador) para experimentar como la fuerza de gravedad afecta el movimiento. Usarás un sensor llamado acelerómetro para medir el cambio de la velocidad y analizarás los resultados usando el Science Journal de Google.

### Objetivos:

- Medir la aceleración de un objeto al caer bajo la influencia de la gravedad
- Medir el tiempo que tarda en caer un objeto.
- Calcular la fuerza que actúa sobre un objeto cayendo.

### Preguntas previas y posteriores a la práctica

El propósito de esta guía de laboratorio autoguiada es ayudarlo a ver en acción conceptos vistos en clase; antes de realizar la práctica, responda estas preguntas de manera clara y concisa sin consultar materiales de apoyo como libros, artículos, notas de clase, contenido en internet, etc. y una vez terminada la práctica se le solicitará responder las mismas preguntas.

Conteste las preguntas de manera transparente, no se cohíba de responder que no sabe o que

sus conocimientos son básicos, esta sección **no** afectara su nota, el objetivo principal de esta sección no es evaluar al estudiante, sino la efectividad del desarrollo de las prácticas para ayudar a los estudiantes a comprender conceptos, leyes y/o principios físicos por medio de la experimentación.

1. ¿De qué formas se puede medir la aceleración de un cuerpo en movimiento?
2. Para un objeto en caída cuasi libre, ¿la fuerza y la energía cinética son directamente o inversamente proporcionales?
3. Para un objeto en caída cuasi libre, ¿cómo influye el ángulo de inclinación en su movimiento?

Los materiales, el montaje y el procedimiento se hacen de la forma convencional, en la Fig. 3 se muestra un paso del procedimiento de toma de datos.



Fig. 3. Procedimiento de la práctica, aquí se indica la forma de grabar los datos en el dispositivo móvil.

## VI. CONCLUSIONES

En este artículo se utilizó el kit Arduino Physics Lab como herramienta de aprendizaje basado en proyectos para la enseñanza de ciencias físicas; los sensores y la placa Arduino incluidos con el kit tienen un rango de medición, tiempo de respuesta, precisión, y exactitud aptas para el desarrollo de prácticas de laboratorio en los que el objetivo primordial sea tener una interacción directa con el montaje experimental para ver en acción los principios y/o leyes físicas vistas en el aula de clase; el costo del kit es bajo (\$ 149 US) en comparación al costo de ampliar los laboratorios existentes, comprar nuevos equipos de medición, y/o adquirir licencias de software de laboratorios virtuales.

El desarrollo de las prácticas de laboratorio autoguiadas permite a los estudiantes experimentar en el mundo real la teoría de la propagación del error, lo cual es invaluable para los profesionales STEM en formación. Este enfoque permite a los estudiantes construir, medir y apropiarse de la experiencia del laboratorio en la comodidad de su hogar, a diferencia de un entorno virtual y/o remoto.

Como trabajo futuro se tiene planeado hacer una prueba piloto con los estudiantes de ingeniería física, o carreras afines, de la Universidad del Cauca usando las guías del laboratorio autoguiadas de este trabajo con el fin de evaluar y comprobar la efectividad de las guías con enfoque ABP.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad del Cauca por todo el apoyo académico brindado a este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Novak, A.M. and Krajcik, J.S. (2019). A Case Study of Project-Based Learning of Middle School Students Exploring Water Quality. In *The Wiley Handbook of Problem-Based Learning* (eds M. Moallem, W. Hung and N. Dabbagh). <https://doi.org/10.1002/9781119173243.ch24>
- [2] C. F. Rengifo and D. A. Bravo, "A Project-Based Learning Approach to Teach Identification and Control Systems," in *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 15, no. 1, pp. 10-16, Feb. 2020, doi: 10.1109/RITA.2020.2979171.
- [3] Miles MacLeod & Jan T. van der Veen (2020) Scaffolding interdisciplinary project-based learning: a case study, *European Journal of Engineering Education*, 45:3, 363-377, DOI: 10.1080/03043797.2019.1646210.
- [4] F. J. García-Peñalvo, F. Llorens Largo, X. Molero Prieto, and E. Vr, M. & Ní Fhloinn, E. (2017). A Project-Based-Learning Approach to Teaching Second-Order Differential Equations to Engineers. *Proceedings of 45th SEFI Annual Conference*, Azores, Portugal, 18-21, September. doi:10.21427/kv6v-eq83.
- [5] Fionnuala Farrell, Michael Carr, The effect of using a project-based learning (PBL) approach to improve engineering students' understanding of statistics, *Teaching Mathematics and its Applications: An International Journal of the IMA*, Volume 38, Issue 3, September 2019, Pages 135-145, <https://doi.org/10.1093/teamat/hrz005>
- [6] Reques, Jesús M., Ion Agirre, V. Laura Barrio, and Moisés Graells. "Evolution of Project-based Learning in Small Groups in Environmental Engineering Courses." *Journal of Technology and Science Education* 8.1 (2018).
- [7] R. L. P. Teixeira, P. C. D. Silva, R. Shitsuka, M. L. de Araújo Brito, B. M. Kaizer and P. da Costa e Silva, "Project Based Learning in Engineering Education in Close Collaboration with Industry," 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2020, pp. 1945-1953, doi: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125341.
- [8] Khandakar, A.; Chowdhury, M.E.H.; Gonzales, A.J.S.P.; Touati, F.; Emadi, N.A.; Ayari, M.A. Case Study to Analyze the Impact of Multi-Course Project-Based Learning Approach on Education for Sustainable Development. *Sustainability* **2020**, *12*, 480. <https://doi.org/10.3390/su12020480>
- [9] A. A. Younis, R. Sunderraman, M. Metzler and A. G. Bourgeois, "Case Study: Using Project Based Learning to Develop Parallel Programming and Soft Skills," 2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 2019, pp. 304-311, doi: 10.1109/IPDPSW.2019.00059.
- [10] M. Kusmin, M. Saar and M. Laanpere, "Smart schoolhouse — designing IoT study kits for project-based learning in STEM subjects," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, pp. 1514-1517, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363412.
- [11] J. López-Belmonte, J. Marín-Marín, R. Soler-Costa and A. Moreno-Guerrero, "Arduino Advances in Web of Science. A Scientific Mapping of Literary Production," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 128674-128682, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3008572.
- [12] A. Villar-Martínez, L. Rodríguez-Gil, I. Angulo, P. Orduña, J. García-Zubía and D. López-De-Ipiña, "Improving the Scalability and Replicability of Embedded Systems Remote Laboratories Through a Cost-Effective Architecture," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 164164-164185, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2952321.

[13] Arduino and Google, “Arduino Science kit Physics Lab.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/physics-lab>

[14] J. Vidal, “Plantilla informe de laboratorio con el arduino science kit.” [Online]. Available: <https://docs.google.com/document/d/1B-CUre9e4paJEeywUHHWP6F2ma3Oxt84-zU-2ab9Tdc/edit>

**Julián Vidal** recibió su grado como Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca (Colombia) en el año 2021. Sus intereses de investigación incluyen la Educación en Ingeniería y las Tecnologías de la Información y Comunicación. (e-mail: [jvidalg@unicauca.edu.co](mailto:jvidalg@unicauca.edu.co))

**Diego Bravo** (M'18) recibió su grado como Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca y de Magíster en Ingeniería de la Universidad del Valle. En el 2016 se graduó de Doctor en la Universidad del Cauca. Actualmente es profesor titular en la Universidad del Cauca (Colombia). Sus intereses de investigación incluyen el modelado y control de sistemas dinámicos e Identificación de sistemas y Educación en Ingeniería. (e-mail: [dibravo@unicauca.edu.co](mailto:dibravo@unicauca.edu.co))

**Carlos Rengifo** (M'04) recibió su grado como Ingeniero Electricista y Maestría en Automática de la Universidad del Valle en Colombia. En 2010, obtuvo su Doctorado en Ecole Centrale de Nantes en Francia. Actualmente es profesor titular en la Universidad del Cauca (Colombia). Sus intereses de investigación incluyen el modelado y control de robots y sistemas biomecánicos. (e-mail: [caferen@unicauca.edu.co](mailto:caferen@unicauca.edu.co))