

Computación física: Un elemento clave en área de tecnología e informática de la Educación Básica y Media

Rubén Darío Uribe Quejada¹

rubenuribe.est@umecit.edu.pa

<https://orcid.org/0009-0000-6970-328X>

Universidad Metropolitana de Educación,
Ciencia y Tecnología – UMECIT
Panamá

RESUMEN

La computación física se ha convertido en un elemento esencial en el área de tecnología e informática de la educación básica y media. Este artículo de reflexión aborda los beneficios, desafíos y recomendaciones para implementar con éxito la computación física en el aula. En cuanto a los beneficios, se destaca que la computación física promueve el desarrollo del pensamiento computacional, permitiendo a los estudiantes explorar conceptos abstractos a través de la interacción directa con componentes físicos. Además, fomenta el aprendizaje activo y participativo, convirtiendo a los estudiantes en creadores de tecnología y no solo consumidores. La computación física también promueve el desarrollo de habilidades transversales, como la creatividad, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. Sin embargo, la implementación de la computación física en el aula también presenta desafíos y dificultades. Uno de los principales desafíos es la falta de capacitación docente en esta área. Muchos educadores pueden carecer de experiencia en computación física y necesitan recibir formación adecuada para poder impartirlo de manera efectiva. Además, la disponibilidad de recursos tecnológicos y la integración curricular pueden ser obstáculos que se deben superar. Para una implementación exitosa de la computación física en el aula, se proponen varias recomendaciones. En primer lugar, se enfatiza la necesidad de ofrecer programas de formación docente continua que aborden tanto los aspectos técnicos como pedagógicos de la computación física. Asimismo, se recomienda buscar alternativas accesibles y asequibles en términos de recursos tecnológicos, como kits de robótica educativa de bajo costo. La integración curricular también es clave, promoviendo proyectos interdisciplinarios que conecten la computación física con otras disciplinas.

Palabras clave: *computación física; educación básica y media; tecnología; informática*

¹ Autor Principal

Physical computing: A key element in the area of technology and informatics in basic and secondary education in Colombia

ABSTRACT

Physical computing has become an essential element in the area of technology and computer science in elementary and middle school education. This reflection article addresses the benefits, challenges and recommendations for successfully implementing physical computing in the classroom. In terms of benefits, it highlights that physical computing promotes the development of computational thinking, allowing students to explore abstract concepts through direct interaction with physical components. In addition, it fosters active and participatory learning, turning students into creators of technology and not just consumers. Physical computing also promotes the development of transversal skills, such as creativity, teamwork and problem solving. However, the implementation of physical computing in the classroom also presents challenges and difficulties. One of the main challenges is the lack of teacher training in this area. Many educators may lack experience in physical computing and need to receive adequate training to be able to deliver it effectively. In addition, the availability of technological resources and curricular integration may be obstacles to overcome. For successful implementation of physical computing in the classroom, several recommendations are proposed. First, the need to offer continuing teacher training programs that address both the technical and pedagogical aspects of physical computing is emphasized. Likewise, it is recommended to look for accessible and affordable alternatives in terms of technological resources, such as low-cost educational robotics kits. Curricular integration is also key, promoting interdisciplinary projects that connect physical computing with other disciplines.

Keywords: *physical computing; elementary and middle school education; technology; computer science.*

Artículo recibido 05 abril 2023

Aceptado para publicación: 05 Mayo 2023

INTRODUCCIÓN

La tecnología y la informática son campos en constante evolución que desempeñan un papel fundamental en el mundo actual. En un mundo cada vez más digitalizado, la educación en tecnología e informática se ha vuelto esencial para preparar a las generaciones futuras y dotarlas de las habilidades necesarias para enfrentar los desafíos del siglo XXI. En este contexto, la computación física emerge como un elemento clave en el área de tecnología e informática de la educación básica y media, ofreciendo nuevas oportunidades de aprendizaje y promoviendo un enfoque práctico y creativo.

Según la American Association of Physics Teachers (2018), la computación física se define como la combinación de la programación de software y la interacción con componentes físicos para crear sistemas inteligentes y conectados. Este enfoque permite a los estudiantes explorar y experimentar con conceptos abstractos de manera tangible, a través de la interacción directa con sensores, actuadores y dispositivos electrónicos. En otras palabras, la computación física brinda la posibilidad de dar vida a la tecnología y convertirla en una herramienta para materializar ideas.

En el ámbito educativo, la incorporación de la computación física en los programas de estudio ofrece una serie de beneficios significativos. En primer lugar, fomenta el desarrollo del pensamiento computacional, que incluye habilidades como el razonamiento algorítmico, la resolución de problemas y la capacidad de diseñar y crear soluciones tecnológicas (Wing, 2006). Al interactuar con dispositivos físicos, los estudiantes pueden visualizar y comprender los conceptos abstractos de manera más tangible, fortaleciendo así su comprensión y retención del conocimiento.

Además, la computación física fomenta el aprendizaje activo y participativo, permitiendo a los estudiantes convertirse en creadores y no solo consumidores de tecnología (Resnick, 2017). Al diseñar y construir proyectos concretos, como robots, sistemas de automatización o dispositivos interactivos, los estudiantes se involucran en un proceso de aprendizaje práctico y colaborativo, desarrollando habilidades como la creatividad, el trabajo en equipo y la comunicación efectiva.

En los últimos años, el uso de la computación física ha cobrado fuerza como herramienta para mejorar el aprendizaje en la educación tecnológica e informática. La computación física se refiere al uso de componentes físicos como sensores, actuadores y microcontroladores para crear sistemas interactivos

que respondan al entorno físico. Este documento explora las ventajas de incorporar la computación física en la educación tecnológica y de TI. Específicamente, examinará qué es la computación física, cómo se puede usar para mejorar el aprendizaje en TI y educación tecnológica, y qué beneficios puede aportar al campo. Al examinar estas preguntas, este documento tiene como objetivo arrojar luz sobre los beneficios potenciales de la computación física en la educación tecnológica e informática, y cómo se puede utilizar para mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

La computación física se ha convertido en un método cada vez más popular para enseñar conceptos de codificación y programación, y se ha demostrado que tiene numerosos beneficios para los estudiantes de TI y educación tecnológica. Una de las ventajas más significativas de incorporar computación física es que puede ayudar a cerrar la brecha de aprendizaje en la educación STEM (Bush, 2019). Esto se debe a que las experiencias informáticas físicas brindan una oportunidad para que los estudiantes interactúen con datos del mundo que los rodea. lo que puede ayudarlos a comprender cómo funciona la tecnología en el mundo real. Además, la incorporación de la computación física puede ayudar a satisfacer las necesidades y preferencias de aprendizaje de los estudiantes que aprenden de diferentes maneras (Bush, 2019). Los estudiantes tienen la capacidad de aprender de múltiples maneras a través de experiencias informáticas físicas, lo que da como resultado un compromiso y un aprendizaje más profundos para todos los estudiantes, no solo para aquellos que entienden los conceptos de inmediato (Bush, 2019). Además, la computación física puede empoderar tanto a los estudiantes como a los profesores para que experimenten una sensación de confianza y bienestar al desarrollar y aplicar sus habilidades de pensamiento computacional (PC) mientras resuelven problemas (Kastner-Hauler et al., 2022). Además, la investigación ha demostrado que el aprendizaje y la enseñanza de PC en el contexto de la computación física se pueden dominar en los niveles superiores de la escuela primaria (Kastner-Hauler et al., 2022). La combinación de programación basada en bloques con Makecode y micro:bit son enfoques prometedores para fomentar las habilidades de PC e introducir la educación digital básica en las escuelas primarias con un entorno de aprendizaje lúdico, agradable y tangible (Kastner-Hauler et al., 2022). Por lo tanto, la incorporación de la computación física en la educación en TI y tecnología proporciona numerosos beneficios para los estudiantes de diferentes estilos y habilidades de aprendizaje.

Concepto y fundamentos de la Computación Física

La computación física ha evolucionado junto con una comunidad en constante crecimiento de artistas, diseñadores y aficionados “Maker”, que crean objetos interactivos e instalaciones que contienen SE. En los cursos universitarios, además de las disciplinas técnicas como la ingeniería eléctrica, electrónica y afines, las plataformas de microcontroladores simples se utilizan a menudo en disciplinas que no son técnicas, ya que ofrecen la oportunidad de realizar proyectos desafiantes de la manera más favorable. Estos proyectos enfatizan procesos creativos de arte y diseño en los que los alumnos crean objetos interactivos o instalaciones, que a menudo se presentan al público en exposiciones.

El término computación física fue mencionado por primera vez por O’Sullivan e Igoe, quienes enfatizan en que hoy en día las computadoras deberían sentir más de tu cuerpo, servirte en más lugares y transmitir expresión física además de información (O’Sullivan & Igoe, 2004). Lo ven como un elemento crucial de tales sistemas que hacen uso de *sensores* y *actuadores* para conectar el mundo virtual y el físico, ej. se utilizan medidores de nivel de ruido, sensores de brillo o detectores de movimiento y luces, pantallas, motores o altavoces para hacer que los objetos interactúen continuamente con su entorno. Banzi (2011) enfatiza la interacción de los dispositivos con los humanos, involucra el diseño de objetos interactivos que pueden comunicarse con humanos usando sensores y actuadores, controlados por un comportamiento implementado como software que se ejecuta dentro de un microcontrolador (una pequeña computadora en un solo chip).

La computación física es muy útil para la educación informática, porque simplifica los sistemas que son muy grandes y complejos. Así, los estudiantes pueden crear productos más pequeños y sencillos que les permitirá llegar a una experiencia exitosa.

La computación física va más allá de la codificación en una computadora de escritorio e implica el diseño y la creación de instalaciones y objetos interactivos, a menudo utilizando hardware programable u objetos interactivos tangibles (Cápay & Klimová, 2019). La computación física brinda oportunidades de aprendizaje práctico transversal, lo que permite a los alumnos interactuar con el mundo que los rodea (Cápay & Klimová, 2019). Fomenta la creatividad, promueve el aprendizaje práctico e involucra toda la mente y el cuerpo en el aprendizaje (Cápay & Klimová, 2019). La computación física tiene sus raíces en la teoría del aprendizaje constructivista y el trabajo de Seymour Papert, que enfatiza el aprendizaje

como un proceso activo de construcción de ideas o estructuras de conocimiento (Love & Asempapa, 2022; Nash & Prater, 2019). El objetivo de la computación física es apoyar la creatividad de los estudiantes en el desarrollo de productos tangibles y concretos del mundo real (Cápay & Klimová, 2019).. Enseña a los estudiantes sobre ciencias de la computación y pensamiento computacional, proporcionando una visión holística de las ciencias de la computación (Cápay & Klimová, 2019; Genota, 2019). La computación física involucra la integración de dispositivos o tecnología, usando programación digital para controlar objetos tangibles (Nash & Prater, 2019). Ayuda a los estudiantes a cerrar la brecha entre los mundos digital y físico, fomentando la empatía e involucrando a los estudiantes como participantes activos en tareas auténticas (Genota, 2019; Nash & Prater, 2019). Los proyectos de diseño de computación física a menudo son interdisciplinarios y fomentan el pensamiento pluralista, mejorando el proceso de aprendizaje a través de un enfoque constructorista (Nash & Prater, 2019). Además, los entornos informáticos físicos pueden ayudar a los estudiantes a desarrollar autonomía en su aprendizaje, lo que les permite explorar nuevas carreras que requieren habilidades STEAM (Nash & Prater, 2019). En esencia, la computación física es un término que se usa para describir la construcción de sistemas físicos interactivos que pueden sentir y responder al mundo analógico, lo que ayuda a los niños a comprender cómo funcionan las cosas en el mundo real (Genota, 2019; Nash & Prater, 2019).

Beneficios de la integración de la Computación Física en la Educación

La informática física se refiere a la integración de software y hardware para crear sistemas interactivos capaces de percibir el mundo físico y responder a él. La informática física tiene varias ventajas y beneficios en el aula. Una de ellas es que puede estimular la iniciativa subjetiva de los estudiantes y mejorar su espíritu innovador y su capacidad práctica (Liu et al., 2019). También puede mejorar la integración y la utilización de los recursos de enseñanza de la educación física a través de la computación inteligente de borde-nube . En los programas de divulgación de ingeniería, la computación física puede utilizarse para proporcionar experiencias únicas de aprendizaje basadas en la tecnología (Kowalski et al., 2005). Además, la computación física puede utilizarse para exponer los principios subyacentes de las disciplinas científicas y matemáticas de forma más convincente que los ejercicios que se encuentran en los textos estándar (Hantsaridou & Polatoglou, 2006). También, la computación física puede fomentar la educación STEAM promoviendo la adquisición de competencias específicas

como el pensamiento computacional, la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la programación, las habilidades informáticas y de diseño, las habilidades interdisciplinarias, la autonomía informática, el aprendizaje autónomo, las habilidades de negociación y las habilidades sociales (Conde et al., 2021).

De acuerdo con Hodges et al. (2020), la computación física:

- Puede aumentar el interés y la participación de los alumnos en el aprendizaje. Utilizando herramientas de computación física como sensores, microcontroladores y actuadores, los alumnos pueden crear proyectos interactivos que respondan a su entorno. Este enfoque práctico del aprendizaje puede hacer que la asignatura resulte más atractiva y relevante para los estudiantes, lo que aumenta su motivación e interés por la materia.
- La computación física puede mejorar la capacidad de los alumnos para resolver problemas y el pensamiento crítico. Al trabajar en proyectos de informática física, los estudiantes tienen que identificar problemas, diseñar soluciones y probar y refinar sus ideas. Este proceso puede ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades importantes como el razonamiento lógico, la creatividad y la persistencia
- Ofrece oportunidades de aprendizaje interdisciplinar. Los proyectos de computación física suelen requerir conocimientos y habilidades de varias asignaturas, como informática, ingeniería y física. Al trabajar en estos proyectos, los estudiantes pueden desarrollar una comprensión más profunda de cómo se interconectan las distintas materias y cómo pueden aplicarse en contextos del mundo real.
- Puede ofrecer oportunidades de aprendizaje personalizado. Las herramientas de computación física son altamente personalizables, lo que permite a los estudiantes crear proyectos que reflejen sus propios intereses y objetivos de aprendizaje. Esto puede ayudar a los estudiantes a apropiarse de su aprendizaje y a desarrollar un sentido de agencia y autonomía.
- la informática física puede ofrecer oportunidades de colaboración y trabajo en equipo. Los proyectos de informática física suelen requerir que los estudiantes trabajen en grupo, compartiendo ideas, habilidades y recursos. Esto puede ayudar a los estudiantes a desarrollar importantes habilidades sociales y comunicativas, como el liderazgo, la colaboración y la empatía

Desafíos y Recomendaciones para la implementación de la Computación Física

La implantación de la computación física en las aulas puede enfrentarse a varios retos. Uno de los principales es la falta de personal cualificado y de oportunidades de desarrollo profesional para los profesores. Los profesores pueden carecer de las habilidades y los conocimientos necesarios para integrar eficazmente la informática física en su enseñanza, lo que puede obstaculizar el proceso de implantación (Davis et al., 2013).

Otro reto es la diversidad de los estudiantes de informática. Los estudiantes pueden tener diferentes niveles de conocimientos previos y experiencia con la computación física, lo que puede dificultar el diseño de actividades que sean apropiadas para todos los estudiantes (Amoussou & Grissom, 2012).. Además, las actividades de computación física pueden requerir equipos y materiales caros, lo que puede suponer un obstáculo para los centros con recursos limitados (Katterfeldt et al., 2018).

De acuerdo con Katterfeldt et al. (2018) y Mohanna (2019) algunos de las dificultades o desafíos que se pueden presentar en la implementación de la computación física en el aula son:

- ***Falta de capacitación docente:*** Uno de los principales desafíos radica en la formación y capacitación adecuada de los docentes para impartir la computación física. Muchos educadores pueden no tener experiencia previa en esta área y pueden sentirse abrumados por la necesidad de adquirir nuevos conocimientos y habilidades técnicas. Es fundamental proporcionar programas de capacitación docente sólidos y continuos, que brinden a los educadores los recursos y apoyo necesarios para integrar la computación física de manera efectiva en sus clases.
- ***Infraestructura y recursos limitados:*** La implementación exitosa de la computación física requiere de recursos tecnológicos adecuados, como dispositivos electrónicos, sensores y actuadores. Sin embargo, muchas instituciones educativas, especialmente aquellas con recursos limitados, pueden enfrentar dificultades para adquirir y mantener el equipamiento necesario. Es esencial buscar alternativas asequibles y accesibles, como kits de robótica educativa de bajo costo o herramientas de programación basadas en software libre, para asegurar la disponibilidad de recursos en el aula.
- ***Integración curricular:*** La integración efectiva de la computación física en el currículo existente puede resultar un desafío. Muchas veces, los planes de estudio están estructurados de manera tradicional y pueden no tener espacio o flexibilidad suficiente para incorporar nuevos contenidos

relacionados con la computación física. Es fundamental promover la colaboración entre los diferentes actores educativos, como docentes, directivos y diseñadores curriculares, para adaptar los programas de estudio y establecer conexiones significativas entre la computación física y otras disciplinas.

Con base a lo anterior, se puede decir que las posibles recomendaciones para la implementación efectiva de la computación física serían las siguientes:

- **Formación docente continua:** Es esencial brindar programas de capacitación docente continua en computación física, que aborden tanto los aspectos técnicos como pedagógicos. Estos programas deben promover el aprendizaje activo y práctico, ofreciendo a los educadores la oportunidad de experimentar con los conceptos y herramientas de la computación física. Asimismo, se deben establecer comunidades de práctica y espacios de intercambio de experiencias entre docentes para fomentar la colaboración y el aprendizaje mutuo.
- **Acceso equitativo a recursos tecnológicos:** Es importante buscar alternativas accesibles y asequibles para garantizar que todas las instituciones educativas, independientemente de su nivel socioeconómico, puedan acceder a recursos tecnológicos necesarios para la computación física. Además, se deben establecer alianzas con organizaciones, empresas y entidades gubernamentales para obtener apoyo financiero y donaciones de equipos que faciliten la implementación de proyectos de computación física en el aula.
- **Enfoque interdisciplinario:** La computación física se presta para la integración con otras disciplinas, como ciencias naturales, matemáticas, arte y diseño. Se recomienda desarrollar proyectos interdisciplinarios que promuevan la conexión entre diferentes áreas del conocimiento, fomentando el pensamiento crítico y creativo de los estudiantes. Además, se debe fomentar la colaboración entre docentes de diferentes asignaturas para desarrollar proyectos conjuntos que aborden problemas y desafíos del mundo real.
- **Enfoque interdisciplinario:** La computación física se presta para la integración con otras disciplinas, como ciencias naturales, matemáticas, arte y diseño. Se recomienda desarrollar proyectos interdisciplinarios que promuevan la conexión entre diferentes áreas del conocimiento, fomentando el pensamiento crítico y creativo de los estudiantes. Además, se debe fomentar la

colaboración entre docentes de diferentes asignaturas para desarrollar proyectos conjuntos que aborden problemas y desafíos del mundo real.

CONCLUSIONES

El enfoque práctico de la computación física permite a los alumnos interactuar con el mundo que los rodea, brindando oportunidades de aprendizaje transversal y promoviendo la creatividad. Va más allá de la codificación en una computadora de escritorio e implica el diseño y la creación de instalaciones y objetos interactivos, a menudo utilizando hardware programable u objetos interactivos tangibles. Este enfoque enseña a los estudiantes sobre ciencias de la computación y pensamiento computacional, proporcionando una visión holística de las ciencias de la computación. La computación física involucra la integración de dispositivos o tecnología, usando programación digital para controlar objetos tangibles. Por lo tanto, la incorporación de la computación física en la educación en TI y tecnología proporciona numerosos beneficios para los estudiantes de diferentes estilos y habilidades de aprendizaje. la computación física tiene varios beneficios y ventajas en el aula, entre los que se incluyen la mejora del compromiso de los estudiantes, la mejora de las habilidades de resolución de problemas, la provisión de oportunidades para el aprendizaje interdisciplinar, la posibilidad del aprendizaje personalizado y la promoción de la colaboración y el trabajo en equipo.

La implementación exitosa de la computación física en el aula de educación básica y media requiere abordar los retos relacionados con la capacitación docente, la disponibilidad de recursos tecnológicos, la integración curricular y la evaluación adecuada. Es fundamental establecer programas de formación docente continua, buscar alternativas accesibles a nivel económico, promover el enfoque interdisciplinario y diseñar estrategias de evaluación adecuadas para garantizar el éxito de la implementación. Al superar estos retos y seguir estas recomendaciones, se puede aprovechar plenamente el potencial de la computación física para promover un aprendizaje en tecnología e informática significativo y relevante en la educación básica y media.

Este trabajo destaca la importancia de la computación física en la tecnología y la educación informática y sugiere direcciones de investigación futuras para explorar más su potencial. Sin embargo, es esencial reconocer las posibles limitaciones o sesgos de este estudio y abordarlos en futuras investigaciones. En

general, la computación física proporciona un enfoque único y efectivo para la enseñanza y el aprendizaje en la educación en tecnología e informática, y sus beneficios deben explorarse más a fondo.

LISTA DE REFERENCIAS

- Amoussou, G. A., & Grissom, S. (2012). Funding the challenges in computing. *SIGCSE'12 - Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 245–246. <https://doi.org/10.1145/2157136.2157212>
- Banzi, M. (2011). *Getting started with Arduino* (2nd.). O'Reilly Media. <https://www.oreilly.com/library/view/getting-started-with/9781449316358/>
- Bush, R. (2019, April 22). *How Physical Computing Can Help Your Elementary and Middle School Students - Vernier*. <https://www.vernier.com/blog/how-physical-computing-can-help-your-elementary-and-middle-school-students/>
- Cápay, M., & Klimová, N. (2019). Engage your students via physical computing! *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, April-2019*, 1216–1223. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725101>
- Conde, M. Á., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., & García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: A systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 46–65. <https://doi.org/10.1002/CAE.22354>
- Davis, K. S., Burgeson, C. R., Brener, N. D., McManus, T., & Wechsler, H. (2013). The Relationship Between Qualified Personnel and Self-Reported Implementation of Recommended Physical Education Practices and Programs in U.S. Schools. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/02701367.2005.10599281*, 76(2), 202–211. <https://doi.org/10.1080/02701367.2005.10599281>
- Genota, L. (2019, January 23). *“Physical Computing” Connects Computer Science With Hands-On Learning*. <https://www.edweek.org/teaching-learning/physical-computing-connects-computer-science-with-hands-on-learning/2019/01>

- Hantsaridou, A. P., & Polatoglou, H. M. (2006). Geometry and Thermodynamics: Exploring the Internal Energy Landscape. *Journal of Chemical Education*, 83(7), 1082–1089. <https://doi.org/10.1021/ED083P1082>
- Hodges, S., Sentance, S., Finney, J., & Ball, T. (2020). Physical Computing: A Key Element of Modern Computer Science Education. *Computer*, 53(4), 20–30. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2935058>
- Kastner-Hauler, O., Tengler, K., Sabitzer, B., & Lavicza, Z. (2022). Combined Effects of Block-Based Programming and Physical Computing on Primary Students' Computational Thinking Skills. *Frontiers in Psychology*, 13, 2463. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2022.875382/BIBTEX>
- Katterfeldt, E. S., Cukurova, M., Spikol, D., & Cuartielles, D. (2018). Physical computing with plug-and-play toolkits: Key recommendations for collaborative learning implementations. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 17, 72–82. <https://doi.org/10.1016/J.IJCCI.2018.03.002>
- Kowalski, S. E., Kowalski, F. V., & Kowalski, A. P. (2005). Using classroom communication systems: A unique technology-based K-14 outreach program at an engineering university. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 15189–15200. <https://doi.org/10.18260/1-2--14937>
- Liu, J., Liu, M., Xin, C., Wang, X., & Yang, G. (2019). The development and application of computer aided software in college physical education. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 569(5), 052071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/569/5/052071>
- Love, T. S., & Asempapa, R. S. (2022). A screen-based or physical computing unit? Examining secondary students' attitudes toward coding. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 34, 100543. <https://doi.org/10.1016/J.IJCCI.2022.100543>
- Mohanna, M. H. (2019). A Study of the Challenges and design perspectives Affecting Physical Computing Teaching and Digital Education. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 3(3), 111–193. <https://doi.org/10.26389/AJSRPM201118>

- Nash, J., & Prater, L. (2019, May 12). *Why Teachers Need to Incorporate Physical Computing into Computer Science Lessons -- THE Journal*. <https://thejournal.com/articles/2019/12/05/why-teachers-need-to-incorporate-physical-computing-into-computer-science-lessons.aspx>
- O'Sullivan, D., & Igoe, T. (2004). *Physical computing: sensing and controlling the physical world with computers*.
- Resnick, M. (2017). Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play. *Lifelong Kindergarten*. <https://doi.org/10.7551/MITPRESS/11017.001.0001>
- Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35.