

PERCEPCIONES DEL PROFESORADO SOBRE PENSAMIENTO COMPUTACIONAL. ESTUDIO DE UNA FORMACIÓN

Teachers' Perceptions of Computational Thinking. A Study of a Training Course

Santaengracia, J. J.^a, Palop, B.^{b,c} y Rodríguez-Muñoz, L. J.^a

^aUniversidad de Oviedo, ^bUniversidad Complutense de Madrid, ^cUniversidad de Valladolid

Resumen

El pensamiento computacional ha pasado a formar parte del currículo de matemáticas desde la última ley educativa. A partir de un breve cuestionario a los participantes de un curso de formación del profesorado, analizamos sus percepciones sobre el conocimiento y preparación para abordarlo de manera efectiva antes y después de recibir una formación especializada. La formación, orientada según el modelo realista-reflexivo, consistió en una ponencia de carácter teórico y siete talleres prácticos en los que se exploraron las diferentes dimensiones del PC, las formas de implementación en el aula y su ubicación y pertinencia en el currículo actual. El análisis de las respuestas de los profesores confirma la necesidad de la formación del profesorado en esta temática y la importancia de proporcionar secuencias didácticas adecuadas para su abordaje desde el aula de matemáticas.

Palabras clave: currículo, pensamiento computacional, profesorado en activo.

Abstract

Computational thinking has become part of the mathematics curriculum since the latest educational law. Through a brief questionnaire given to participants in a teacher training course, we analyzed their perception of their knowledge and preparedness to effectively approach computational thinking before and after receiving specialized training. The training, guided by the realistic-reflection model, consisted of a theoretical lecture and seven practical workshops exploring different dimensions of computational thinking, implementation methods in the classroom, and its relevance and integration within the current curriculum. The analysis of teachers' responses confirms the need for teacher training in this subject and the importance of providing suitable didactic sequences for addressing it in the mathematics classroom.

Keywords: computational thinking, curriculum, in-service teachers.

INTRODUCCIÓN

La inclusión del PC en el currículo de matemáticas en España en todas las etapas preuniversitarias genera al profesorado la necesidad de formarse en este tema tanto desde el conocimiento del contenido, que no estaba presente en sus planes de formación, como desde su didáctica, sabiendo que debe incardinarse en el aula de matemáticas. Este trabajo explora las percepciones de un grupo de docentes en activo que asisten a una formación sobre PC. Los objetivos planteados son:

1. Analizar el nivel autopercebido por el profesorado acerca de su conocimiento sobre el PC, así como su percepción sobre la preparación, propia y ajena, para implementarlo en el aula.
2. Comprobar el cambio en las percepciones sobre el conocimiento y la formación del profesorado a partir de la formación recibida sobre PC.
3. Analizar las percepciones sobre el encaje del PC en el currículo y, más concretamente, dentro del área de matemáticas.

MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos sobre el PC, su inclusión en el currículo y la formación del profesorado necesarios para enmarcar la comunicación.

Pensamiento computacional

Podemos fijar la aparición del término *pensamiento computacional* en los trabajos seminales de Papert (1980), pero el término no ganará relevancia hasta la publicación de los trabajos de Jeannette Wing (2006, 2008), quien definió que: “el pensamiento computacional implica resolver problemas, diseñar sistemas y comprender el comportamiento humano mediante la utilización de los conceptos fundamentales de la informática” (Wing, 2006, p. 33, [traducción propia]). Tras Wing, numerosos autores e instituciones han profundizado en el término, estableciendo definiciones y dimensiones, sin haber llegado a un consenso en la comunidad científica (Tang et al., 2020). Barr y Stephenson (2011) definieron el PC como: “un enfoque para resolver problemas de manera que pueda ser implementado con un ordenador” (p. 115, [traducción propia]), lo que subraya el papel del ordenador, a diferencia de Wing (2008). También haciendo referencia a los medios físicos, la Royal Society (2012) propuso que “el pensamiento computacional es el proceso de reconocer aspectos de la computación en el mundo que nos rodea y aplicar herramientas y técnicas de la informática para comprender y razonar sobre sistemas y procesos tanto naturales como artificiales” (p. 29, [traducción propia]). En este trabajo usaremos la definición propuesta por Díaz y Palop (2023): “El pensamiento computacional es la manera de razonar que nos permite enfrentarnos a un problema sobre unos datos con el objetivo de que un ordenador lo resuelva.”. A diferencia de las anteriores, esta definición hace explícita la necesidad de atender no solo a la resolución de problemas y la algoritmia, sino también a los datos, elemento que apenas había sido considerado y que, en la era del *big data* resulta clave para el PC. Así, el PC se organiza en torno a tres ejes: los datos, los algoritmos y la resolución de problemas. La emergencia de los datos como un organizador motiva que en la formación sobre PC se incluyan aspectos como la simulación, la ordenación y la modelización de datos, omitidos cuando se asumen otras definiciones de PC (Bocconi et al., 2016).

El PC en el currículo de matemáticas

La inclusión del PC en el currículo educativo está comenzando a producirse a nivel global, aunque aún no es generalizada (Rafiepour, 2018). Hay un consenso entre los expertos respecto a la necesidad de incluir el PC en los currículos, aunque se distinguen dos motivaciones (Bocconi et al., 2016): promover que el alumnado piense de una forma distinta y desarrolle la capacidad de resolver problemas, y la necesidad de atender a las necesidades de trabajo actuales y futuras relacionadas con las TIC.

En España (Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP], 2022ab) se ha incluido el PC dentro del área de matemáticas como una de las competencias específicas que trabajar, en línea con otros países como Francia y Finlandia. Tanto en el currículo de Educación Primaria como en el de Educación Secundaria (Palop et al., 2022a, 2022b) se hace alusión fundamentalmente a la robótica y al pensamiento algorítmico. A pesar de no coincidir con todas las recomendaciones del informe de Bocconi et al. (2016), este cambio curricular obliga a incluir el PC en el aula, tal y como han hecho otros países (Stephens, 2018).

Desarrollo profesional del profesorado en relación con el PC

El desarrollo profesional del profesorado comprende la mejora constante de las competencias docentes que necesita para llevar a cabo de forma más efectiva el proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula (Borko, 2004). El profesorado, especialmente en Educación Primaria, está poco especializado en la ciencia de la computación, teniendo muy poca formación, lo que lo hace reticente a implementar prácticas computacionales y proclive a omitir el PC por su desconocimiento (Hubbard, 2018; Sands et al., 2018).

Para diseñar la formación continua del profesorado resulta fundamental comprender el papel que este juega en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Llinares, 2018). Además, según Darling-Hammond et al. (2017), el profesorado en formación debe asumir un papel activo, realizando actividades y talleres, evitando convertirse en un escuchante pasivo. Considerando estos aspectos, el modelo de formación que se utilizará en este trabajo será el modelo realista-reflexivo de Alsina y Mulà (2019). En este modelo, se parte de los conocimientos cotidianos del profesorado para deconstruirlos mediante conflictos cognitivos; por ejemplo, mostrando que el concepto de orden tiene un enfoque diferente desde la matemática y desde la computación. Posteriormente, a través del trabajo en grupos, se realiza la coconstrucción del conocimiento, adquiriendo nuevas competencias en el proceso. Finalmente, se termina esta secuencia con la reconstrucción del conocimiento, mediante su institucionalización. De esta forma, el conocimiento cotidiano se convierte en conocimiento profesional.

METODOLOGÍA

El estudio que se presenta a continuación sigue un diseño preexperimental, caracterizado por la existencia de un único grupo sobre el que se aplican un pretest, una intervención y posttest. Este tipo de diseño es el adecuado para medir percepciones personales sobre un tema concreto o innovaciones curriculares (Cohen et al., 2000).

De acuerdo con el diseño elegido, los datos analizados fueron tomados a partir de los 84 participantes que acudieron a unas jornadas de formación sobre PC. Eran, principalmente, docentes de Educación Primaria (30 %) y de Educación Secundaria (46 %), aunque también asistieron otros profesionales educativos como inspectores, asesores de formación, personal de la Consejería, maestros de infantil y profesores de universidad.

La recogida de datos se realizó en dos fases, utilizando un cuestionario previo a la formación y uno posterior, a modo de pretest y posttest. A este cuestionario respondieron 64 personas al inicio y 70 al final. De cara al análisis de datos se toman en consideración los 51 informantes que respondieron de forma válida tanto al pretest como al posttest. Para realizar el análisis descriptivo se utilizó Google Sheets® para los gráficos y R para las pruebas estadísticas.

Descripción de la formación

La formación transcurrió del día 20 al 22 de enero de 2023, con una duración total de 16 horas. Se realizó una sesión teórica inicial y varios talleres prácticos, en grupos, en torno al PC. La formación comenzó con la aproximación teórica al marco de PC de Díaz y Palop (2023) y, a continuación, se sucedieron seis talleres:

- Simulación de datos con hoja de cálculo.
- PC desenchufado con el material *Bebras*® (Dagiene y Dolgopolas, 2022).
- Algoritmos de ordenación desarrollados manipulativamente.
- *Scratch*® online (Massachusetts Institute of Technology, 2023).
- Diseño figurativo de autómatas, el PC en el nuevo currículo de matemáticas.
- Aproximación manipulativa a los sistemas de numeración a partir de *Exploding Dots*® (Global Math Project y Buzzmat, 2023).

Los talleres fueron similares tanto para Educación Primaria como para Educación Secundaria, difiriendo únicamente el nivel de algunas actividades.

Descripción de la toma de datos

Se realizaron dos tomas de datos a través de un cuestionario en Google Forms® emparejando las respuestas de ambos cuestionarios de cada participante junto con la etapa en la que ejerce su docencia. Dichos cuestionarios fueron diseñados *ad hoc* y validados en términos de pertinencia y claridad por el equipo investigador. Su finalidad era medir las cuatro variables dependientes de este experimento. Se incluyeron por tanto, además de otras preguntas breves sobre la propia formación, cuatro afirmaciones donde los participantes indicaban su nivel de acuerdo con una escala tipo Likert 1-5, creciente en acuerdo: (1) Entiendo a qué nos referimos con el término “Pensamiento Computacional”; (2) Creo que estoy preparado trabajar con el PC en mi contexto laboral (según mi rol: aula, evaluación, inspección, etc.); (3) Creo que, en general, los docentes españoles están preparados para trabajar con el PC en el aula; y (4) Creo la asignatura más afín para la inclusión del PC era, efectivamente, la de matemáticas.

A través de estas cuatro preguntas definimos las cuatro variables dependientes que se pretenden medir, siendo: (1) la percepción sobre el conocimiento del término PC; (2) la percepción sobre la preparación propia para implementar el PC en mi aula/contexto laboral; (3) la percepción ajena sobre la preparación para implementar el PC en su aula/contexto laboral; y (4) la percepción sobre la pertinencia del encaje del PC en la asignatura de matemáticas.

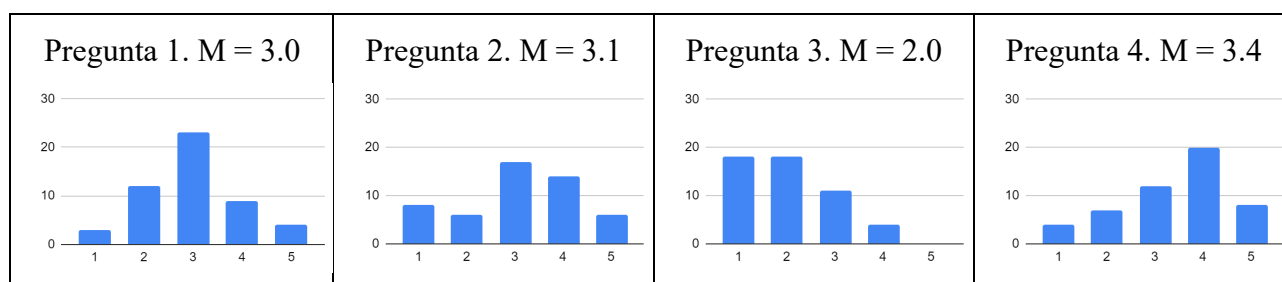
RESULTADOS

En esta sección se presenta el análisis descriptivo de las respuestas a los cuestionarios. Nos referiremos a cada una de las preguntas por su número según la descripción en la sección anterior. En un inicio se utilizó el test de normalidad de Saphiro-Wilk a fin de comprobar la distribución de las respuestas. Tras comprobar la no normalidad en todas las variables medidas se realizó el test de Wilcoxon para muestras pareadas, ya que se comparan los resultados de cada individuo en el pretest y en el posttest.

Pretest

Se realizó el test de normalidad de Saphiro-Wilk, comprobando que en ninguna de las cuatro preguntas las respuestas siguen una distribución normal (p -valores < 0.01). En la Figura 2 se muestra un resumen de los resultados en el que se incluyen la media de los valores y la distribución de frecuencias de las respuestas según la escala Likert utilizada.

Figura 2. Para cada pregunta: media (M), y gráfico con la distribución de las respuestas del pretest. Elaboración propia.

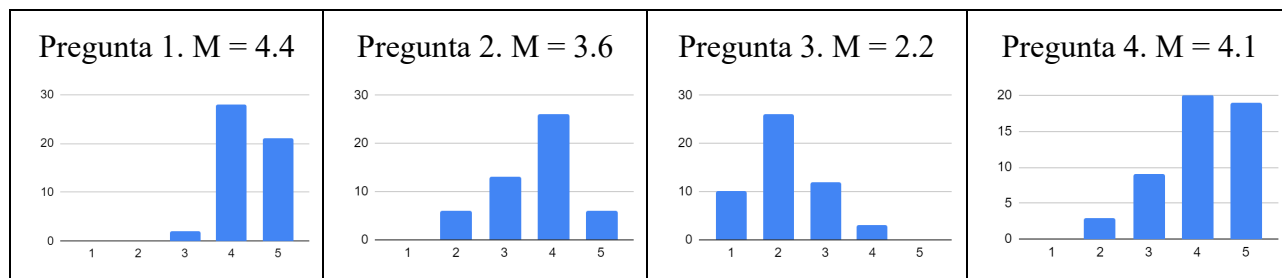


A partir de la Figura 2 se observa que el profesorado se percibe significativamente mejor preparado individualmente que el resto (p -valor < 0.01 en el test de Wilcoxon entre las preguntas 2 y 3). Por otro lado, al comparar las respuestas a las preguntas 1 y 2, mediante el test de Wilcoxon, obtenemos un p -valor de 0.4, por lo que se puede considerar que no hay diferencias entre la percepción de comprensión sobre el PC y la percepción para desarrollarlo.

Posttest

La Figura 3 recoge las respuestas a las preguntas en el posttest, en el sentido de la Figura 2.

Figura 3. Para cada pregunta: media (M), y gráfico con la distribución de las respuestas del posttest. Elaboración propia.

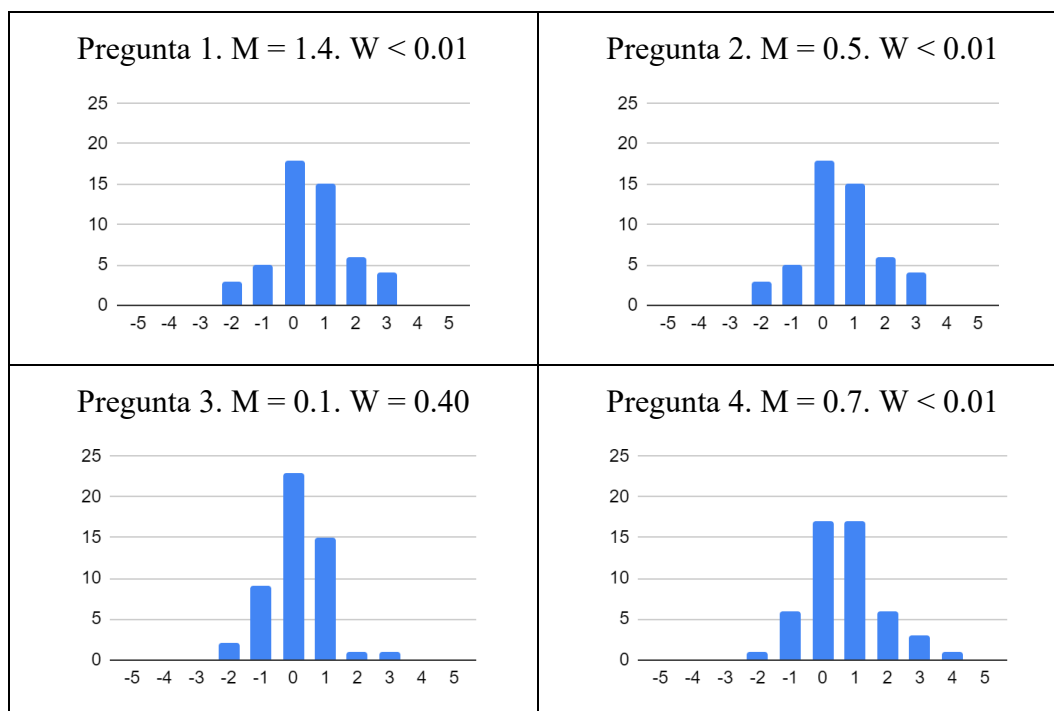


El test de Wilcoxon nos indica que (p -valor < 0.01) existen diferencias significativas entre las respuestas a las preguntas 1 y 2, al contrario que en el pretest: como se observa en la Figura 3, aunque los niveles de acuerdo han crecido en ambos casos, la percepción sobre la comprensión sobre del PC (pregunta 1) ha aumentado más notablemente que la percepción sobre la preparación para implementarlo (pregunta 2). Por otra parte, entre las preguntas 2 y 3 el test de Wilcoxon nos indica que (p -valor < 0.01) existen diferencias significativas, al igual que ocurría en el pretest.

Comparación entre pretest y posttest

La Figura 4 recoge la comparación pareada de las diferencias entre el pretest y el posttest.

Figura 4. Para cada comparación: media (M), gráfico con la distribución de las diferencias y p -valor del test de Wilcoxon (W). Elaboración propia.



Teniendo en cuenta la no normalidad obtenida en el test de Shapiro-Wilk, se utilizó el test de Wilcoxon para determinar la existencia o no de diferencias significativas. En este sentido, únicamente la pregunta 3 arroja diferencias no significativas, es decir, se mantiene estable la percepción sobre la falta de formación del resto del profesorado. Sin embargo, hay un incremento significativo en el nivel de acuerdo con las preguntas 1, 2 y 4, es decir, aumentan tanto el nivel de percepción sobre el

entendimiento del PC, como la percepción de la preparación para implementarlo y el acuerdo con su encaje en el currículo de matemáticas. Además, el valor de acuerdo se ha incrementado más notablemente en las respuestas a la pregunta 1, es decir, la percepción de entendimiento del término PC ha aumentado notablemente más que la percepción de la preparación para trabajar con el PC.

DISCUSIÓN

La formación ha respondido de manera consistente al modelo de Alsina y Mulà (2019) que se utilizó en su diseño. Con la ponencia inicial se activó el proceso de deconstrucción, explicitando posibles contradicciones respecto a las concepciones iniciales sobre el PC. Al tratarse de una formación voluntaria, la actitud del profesorado fue muy participativa (Darling-Hammond, 2017) y eso favoreció que los conflictos cognitivos generados por los formadores cambiaran la autopercepción de los docentes acerca de su conocimiento. Esto hace que se dé respuesta al primer objetivo, habiendo explorado el nivel autopercebido por el profesorado en las variables dependientes estudiadas.

Como podemos apreciar en los resultados obtenidos al comparar el pretest y el posttest de las preguntas 1 y 2, tanto la percepción sobre el conocimiento del término PC como la percepción para implementarlo en el aula han aumentado significativamente tras la formación. Además, la pregunta 1 aumentó significativamente más que la segunda, de lo que se puede interpretar que, a pesar de percibirse con un mayor conocimiento, ven la implementación del PC como una tarea compleja, aunque realizable. Esto resulta fundamental conseguir que empiecen a implementar el PC en el aula, ya que, ampliando la formación sobre el PC, el profesorado será más proclive a introducirlo en sus clases (Sands et al., 2018). El análisis del cambio en las percepciones, segundo objetivo planteado, se completa con el hallazgo de que la formación no ha cambiado cómo percibe el profesorado a sus iguales (pregunta 3 del cuestionario).

En Mason y Rich (2019) se encontró que las formaciones del profesorado en activo suelen centrarse de forma intensiva en los contenidos conceptuales de las ciencias de la computación, dejando de lado la su didáctica y su inclusión en el aula. En nuestra investigación, sin embargo, el despliegue de los talleres de formación de acuerdo con las dimensiones del modelo de PC de Díaz y Palop (2023) supone un cambio de paradigma, ya que se abordan situaciones de aula y se conecta con enfoques didácticos manipulativos, a los que el profesorado está habituado en el campo de la didáctica de la matemática. Por otro lado, la formación incluyó un taller sobre la inclusión del PC en el currículo, con el fin de analizar su pertinencia y mostrar propuestas concretas que pudieran ilustrar su implementación logrando dinámicas de cambio curricular exitosas (en el sentido de Artigue, 2018). Analizando conjuntamente este diseño formativo y los resultados de la pregunta 4, observamos que se ha conseguido que el profesorado perciba como correcta la inclusión del PC en el currículo del área matemáticas. A nuestro juicio esto evidencia una consideración amplia del currículo de matemáticas que acoge el concepto de PC y abre las puertas a una implementación eficaz, en los términos del germen del cambio que señalaba Stephens (2018).

CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación nos permiten concluir que el profesorado no percibe una buena preparación ni en sus compañeros ni en sí mismo, lo que se acompaña por una pobre autopercepción sobre el conocimiento del PC. Esto refleja una clara necesidad de formaciones sobre PC que permitan, por un lado, mejorar dichas percepciones y, por otro, ampliar sus conocimientos.

A través de la formación, el profesorado parece haber metabolizado la inclusión del PC en el currículo del área de matemáticas, cambiando sus percepciones sobre el lugar de inclusión. Esto puede hacer pensar que el profesorado no posee una gran formación curricular, dado el gran cambio en sus percepciones tras una formación tan corta en tiempo y con tan pocos talleres dedicados a este tópico. Los resultados reflejarían por tanto la necesidad formativa en cuestiones curriculares.

Finalizamos señalando brevemente algunas de las limitaciones de esta investigación. En primer lugar, al tratarse de la primera formación sobre PC y currículo de matemáticas que se acomete, durante la implementación se detectaron dificultades que han de ser modificadas en el futuro. En segundo lugar, el instrumento solo ha sido validado en términos de claridad y pertinencia por el equipo investigador, y fue aplicado en un entorno de profesorado altamente motivado (formación voluntaria, en un fin de semana, participante en un programa formativo de larga duración), lo que puede sesgar las respuestas y producir valores altos en la escala Likert. Además, la última pregunta, por su redacción, pudo inducir a la introducción de valores más altos de lo esperado. En tercer lugar, el tiempo de la formación es muy limitado, reduciéndose a un fin de semana, por lo que no es posible conocer los resultados a medio y largo plazo ni su eficacia. Por último, los propios sesgos del equipo investigador, como diseñador, implementador y analista de la formación podrían estar también actuando de manera inconsciente. Para controlar estas limitaciones nos proponemos en el futuro realizar una validación de contenido del cuestionario con expertos ajenos al equipo investigador y analizar su aplicación en muestras diferentes de profesorado en activo.

REFERENCIAS

- Alsina, Á., y Mulà, I. (2019). Advancing towards a transformational professional competence model through reflective learning and sustainability: The case of mathematics teacher education. *Sustainability*, 11(15), 4039. <https://doi.org/10.3390/su11154039>
- Artigue, M. (2018). Implementing curricular reforms: a systemic challenge. En Y. Shimizy y R. Vithal (Eds.), *ICMI Study 24 Conference Proceedings. School Mathematics Curriculum Reforms: Challenges, Changes and Opportunities* (pp. 43–52). ICMI y Universidad de Tsukuba.
- Barr, V., y Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is Involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2(1), 48–54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., y Engelhardt, K. (2016). Developing computational thinking in compulsory education: Implications for policy and practice. European Union. http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC104188/jrc104188_computhinkreport.pdf
- Borko, H. (2004). Professional Development and Teacher Learning: Mapping the Terrain. *Educational Researcher*, 33(8), 3–15. <https://doi.org/10.3102/0013189X033008003>
- Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*. Routledge Falmer.
- Dagiene, V., y Dolgopolas, V. (2022). Short Tasks for Scaffolding Computational Thinking by the Global Bebras Challenge. *Mathematics*, 10(17). <https://doi.org/10.3390/math10173194>
- Darling-Hammond, L. (2017). Teacher education around the world: What can we learn from international practice? *European Journal of Teacher Education*, 40(3), 291–309. <https://doi.org/10.1080/02619768.2017.1315399>
- Díaz, I., y Palop, B. (2023). A holistic approach to Computational Thinking in K-12 Education [manuscrito presentado para publicación]. Universidad de Oviedo, Universidad de Valladolid.
- Global Math Project y Buzzmat, (13 de marzo de 2023). The Exploding Dots Experience – The Global Math Project. Exploding Dots. <https://www.explodingdots.org/>
- Hubbard, A. (2018). Pedagogical content knowledge in computing education: A review of the research literature. *Computer Science Education*, 28(2), 117–135. <https://doi.org/10.1080/08993408.2018.1509580>
- Llinares, S. (2018). Conocimiento, competencia docente del profesor de matemáticas y llegar a ser un formador de profesores. *AIEM – Avances de Investigación en Educación Matemática*, 13, 1–3. <https://doi.org/10.35763/aiem.v0i13.237>
- Massachusetts Institute of Technology, (13 de marzo de 2023). Scratch - Imagine, Program, Share. Scratch. <https://scratch.mit.edu/>

- Mason, S. L., y Rich, P. J. (2019). Preparing elementary school teachers to teach computing, coding, and computational thinking. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 19(4), 790–824.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP]. (2022a). Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*, 52, de 2 de marzo de 2022, 24386–24504.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP]. (2022b). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, de 30 de marzo de 2022, 41571–41789.
- Palop B., Santaengracia J. J., y Rodríguez-Muñoz L. J. (2022a). La conceptualización del pensamiento computacional en el currículo LOMLOE de matemáticas. En T. F. Blanco, C. Núñez-García, M. C. Cañadas y J. A. González-Calero (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXV* (pp. 623-xx). SEIEM.
- Palop B., Santaengracia J. J., y Rodríguez-Muñoz L. J. (2022b). Computational Thinking in the Spanish Secondary School Curriculum of Mathematics. Meaning and implications. En W. Yang, M. Majewski, D. Meade y W. K. Ho. (Eds.), *Proceedings of ATCM 2022* (pp. 21999-xx). ATCM
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Rafiepour, A. (2018). Iran school mathematics curriculum: past, present and future. En Y. Shimizy y R. Vithal (Eds.), *ICMI Study 24 Conference Proceedings. School Mathematics Curriculum Reforms: Challenges, Changes and Opportunities* (pp. 467–474). ICMI y Universidad de Tsukuba.
- Royal Society. (2012). Shut down or restart: The way forward for computing in UK schools. <http://royalsociety.org/education/policy/computing-in-schools/report/>
- Sands, P., Yadav, A., y Good, J. (2018). Computational Thinking in K-12: In-service Teacher Perceptions of Computational Thinking. En M. S. Khine (Ed.), *Computational Thinking in the STEM Disciplines: Foundations and Research Highlights* (pp. 151–164). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93566-9_8
- Stephens, M. (2018). Embedding algorithmic thinking more clearly in the mathematics curriculum. En Y. Shimizy y R. Vithal (Eds.), *ICMI Study 24 Conference Proceedings. School Mathematics Curriculum Reforms: Challenges, Changes and Opportunities* (pp. 483–490). ICMI y Universidad de Tsukuba.
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., y Zhai, X. (2020). Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies. *Computers & Education*, 148, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881), 3717–3725. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118>