



¿Cómo formar al profesorado en pensamiento computacional? Validación del Modelo 5PC

How to adequately Train Teachers in Computational Thinking? Validation of 5PC Model

Noemí Carmen Serrano García ✉

Universidad de Murcia, Murcia, España

<https://orcid.org/0000-0001-9524-788X> | noemicarmen.serranog@um.es

José Luis Serrano

Universidad de Murcia, Murcia, España

<https://orcid.org/0000-0003-2359-959X> | jl.serranosanchez@um.es

Recibido: 12/12/2023 Aceptado: 11/01/2024

Resumen

Los nuevos currículos escolares incluyen la educación del pensamiento computacional del alumnado. Esto genera la necesidad de formar adecuadamente a los docentes, asunto que todavía presenta ciertas limitaciones. Una de ellas ha sido la ausencia de marcos pedagógicos adecuados. El diseño del Modelo 5PC trata de cubrir esta necesidad estableciendo cinco pasos secuenciales de enseñanza-aprendizaje del pensamiento computacional, que van activando distintos elementos a la vez que se desarrollan procesos de resolución de problemas. Sin embargo, este Modelo no cuenta con suficientes experiencias de implementación y evaluación. El objetivo de este estudio es someter este Modelo a juicio de expertos mediante el método Delphi, con el fin de validarlo y mejorarlo. Se realizaron dos rondas de preguntas en las que participaron seis expertos de distintas universidades. Tras el análisis de sus respuestas, se modificaron distintos elementos del Modelo 5PC, tales como: las fases del proceso de enseñanza-aprendizaje, las fases del proceso de resolución de problemas y en la distribución de los métodos y habilidades transversales.

Palabras clave

Pensamiento computacional, formación de profesores, formación inicial del profesorado.

Abstract

The new school curricula include the education of students in Computational Thinking (CT), for which a good teacher training is needed. For this, some authors wanted to create a suitable pedagogical framework. Serrano (2022) developed his own, called the 5PC Model, which sets five sequential teaching-learning steps that activate the components of CT, practices, methods and transversal skills, while developing the problem-solving process. The aim of this study is to submit this model to expert judgement using the Delphi method in order to validate and improve it. Two rounds of questions were conducted. Six experts from different universities participated in the first, and five in the second. After the analysis of their answers, some changes were made to the teaching-learning steps, the problem-solving steps and to the distribution of methods and transversal skills. Some issues were left open for future discussion.

Keywords

Computational thinking, teacher training, initial teacher training.

1. Introducción

Actualmente existe un cierto interés a nivel internacional en torno a la formación en Pensamiento Computacional (PC) de las futuras generalizaciones. Muchas insituciones y organizaciones han trabajado para acercarlo al ámbito educativo. Algunas como la International Society for Technology in Education (ISTE) y la Computer Science Teachers Association (CSTA) financiaron un proyecto con el objetivo de "hacer más accesible para los educadores los conceptos de pensamiento computacional, proveerles de una definición operativa, un vocabulario compartido y ejemplos relevantes de pensamiento computacional adaptados a los objetivos y a las prácticas educativa actuales", según indican Barr *et al.* (2011, p.1).

La CSTA ha indicado las habilidades que estaban implicadas en la adquisición del PC: formular problemas que puedan ser solucionados por computadoras, organizar datos para poder identificar patrones y llegar a conclusiones, representar datos a través de la descomposición del problema, automatizar soluciones mediante el diseño de algoritmos, codificar el algoritmo, depurar, identificar, analizar e implementar posibles soluciones, generalizar y transferir la solución a otros contextos (Posada, 2016).

También se ha realizado un trabajo de diferenciación entre el PC y la programación, dada la elevada confusión dentro de la literatura científica al respecto, al ser los profesionales de la computación los que han proporcionado las definiciones de PC hasta el año 2011, según Moreno-León *et al.* (2019). Esta diferencia la expresa con claridad Román-González (2016) cuando afirma que:

Mientras la programación informática es una práctica particular de lectoescritura (lectoescritura de programas informáticos usando la sintaxis particular de un lenguaje de programación); el pensamiento computacional es un proceso cognitivo de resolución de problemas, que se apoya en los conceptos de la computación, y que sirve de base a las tareas de programación pero también a muchas otras, siendo transferible a gran cantidad de áreas (p.168).

Por tanto, el PC desarrollado de forma completa, implica el manejo del lenguaje informático, pero no se circunscribe únicamente a ello. La utilización del mismo en la vida diaria no tiene por qué suponer la utilización de la tecnología. De hecho, hay dos estrategias principales para desarrollar el PC: las actividades desenchufadas, que señalan Li *et al.* (2023) y las actividades de programación, que sí que requieren de la tecnología digital. Parece que si se quiere abarcar el PC en su totalidad, no se puede prescindir de ninguna de las dos. Ambas tienen efectos positivos en el PC del alumnado (Polat y Yilmaz, 2022).

De forma paralela, se ha tratado de elaborar currículos de PC para las etapas educativas obligatorias. La CSTA ha redactado una serie de estándares para ser desarrollados de forma transversal en todas las asignaturas. Los ha agrupado en cinco familias (Pensamiento Computacional, Colaboración, Dispositivos Informáticos y de Comunicación, Impactos Éticos, Globales y de Comunicación), con tres niveles de dificultad cada una (Román-González, 2016). En España, los actuales Reales Decretos incluyen referencias a la robótica y el pensamiento computacional desde Educación Infantil (Real Decreto 95/2022 de la etapa de Educación Infantil, el Real Decreto 157/2022 en Educación Primaria, y el Real Decreto 2017/2022 en Educación Secundaria Obligatoria).

Por ello, una de las necesidades educativas más impetuosas es que los docentes desarrollen el PC, lo conozcan y sepan cómo implementarlo en las aulas. Yadav *et al.* (2017) recomiendan que esta formación sea previa al comienzo del ejercicio de su formación. Estudios como el de Kong y Lai (2022), muestran que la formación del profesorado en PC influye significativamente en la comprensión del concepto por parte del estudiantado. Veamos, pues, los autores que han diseñado un marco pedagógico para los docentes.

En primer lugar, Kotsopoulos *et al.* (2017) diferenciaron cuatro experiencias distintas que fundamentaron un programa de formación de 114 futuros docentes a través de la robótica: desenchufadas, de retocar, hacer y mezclar. Este programa, elaborado por Esteve-Mon *et al.* (2019), logró mejorar el PC en todos los participantes.

Ling-Ling *et al.* (2021) crearon el sistema e-learning myCyGWBL que se basaba en los cinco constructos de Ung *et al.* (2021): requisitos de aprendizaje (se refiere al conocimiento por parte de los docentes de los contenidos del PC en el contexto curricular nacional), consideración de la tecnología (debe ser eficiente, práctica, barata y accesible), apoyo al aprendizaje, material contextual y estrategias de instrucción eficaces que permitan realizar aprendizajes profundos y prácticos. Este sistema fue aplicado a 369 docentes de Sabah, quienes mejoraron su conocimiento del PC y aprendieron estrategias para implementarlo en sus aulas.

Voon *et al.* (2023) diseñaron un programa de aprendizaje del PC basándose en la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb, desarrollando las cinco competencias que identificaron Korkmaz *et al.* (2017), concretamente: resolución de problemas, pensamiento crítico, creatividad, pensamiento algorítmico y cooperación. La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb consiste en cuatro fases cíclicas, agrupadas en dos dimensiones que se suceden. La primera de ellas es la dimensión de la

comprensión del conocimiento, que se produce a través de la experiencia concreta y la conceptualización. La segunda es la dimensión de la transformación de la experiencia, en la que se fijan los esquemas mentales adecuados mediante la observación y la experimentación.

Sin embargo, actualmente se sigue careciendo de un marco que aúne todo lo que se sabe a nivel conceptual del PC, los conocimientos pedagógicos y metodológicos, así como el proceso de resolución de problemas. Esto último es importante porque existen resultados de investigaciones que señalan que ambos conceptos (PC y resolución de problemas) están íntimamente relacionados (Barr y Stephenson, 2011; Kong, 2022). Así pues, Paucar-Curasma *et al.* (2022) señalaron el vínculo existente entre los componentes del PC y las fases de resolución de problemas de Polya. Según estos autores, la abstracción tiene lugar durante la fase de comprensión del problema; la descomposición y la generalización, durante la elaboración del plan; el diseño algorítmico, en la ejecución; y la evaluación, durante la revisión.

Con el propósito de contribuir al avance científico-educativo de la sociedad en este sentido, en este estudio se analiza, se valida y se mejora el modelo 5PC, desarrollado por Serrano (2022) en su libro "Pensamiento computacional en educación: kit de conocimiento para antes de comprar y programar un robot" y previamente publicado en Serrano y Ortuño (2021). Este modelo constituye un marco que integra todos los elementos del PC (componentes, métodos, prácticas y habilidades transversales) y una metodología de enseñanza-aprendizaje para docentes que especifica la conexión de este con el proceso de resolución de problemas.

La definición de PC de la que partimos es: "un conjunto de procesos cognitivos que permite la formulación y la solución de un problema que debe expresarse de manera que un agente de pensamiento (humano o máquina) lo lleve a cabo" (Serrano, 2022, p. 23). El modelo 5PC establece cinco pasos secuenciales a seguir en los que se van activando habilidades transversales, componentes del PC, prácticas, métodos y fases de la resolución de problemas. Estos pasos, numerados en la figura 1, son los siguientes:

- Aprender pensando: es una fase previa al aprendizaje del PC propiamente dicho, puesto que está destinada a que los docentes comprendan la base teórica de la Tecnología Educativa y los principios del aprendizaje activo que sustentan diversas metodologías didácticas.
- Problemas reales: se trata de contextualizar el aprendizaje con problemas que se dan en la vida real o que son posibles. Para ello, se pueden aprovechar las necesidades de centros educativos. En esta fase se resalta la importancia de trabajar en pequeños grupos de estudiantes.
- Actividades desenchufadas: es una de las estrategias principales de aprendizaje del PC, junto a las actividades conectadas. Son actividades que apoyan la enseñanza y aprendizaje de la informática sin el uso de la tecnología, según Li *et al.* (2023). Las más comunes consisten en juegos de cartas, de tablero y actividades de papel, tal y como explican Chen *et al.* (2023). En esta fase, los futuros docentes se aproximan al concepto del PC y su naturaleza interdisciplinaria. Pueden

¿Cómo formar al profesorado en pensamiento computacional? . . .

comenzar utilizando actividades diseñadas por otros docentes y continuar creando las propias.

- Programación de robots: en este paso se hace uso de diferentes tecnologías. Esto incluye la utilización de lenguajes de programación gráficos (por ejemplo, Scratch) y de herramientas de creación de simulaciones basadas en web o dispositivos de hardware de código abierto, como se hace en robótica, de acuerdo con Li *et al.* (2022). En esta fase es importante que el profesorado en formación tome contacto con la programación y mejoren su confianza al respecto. Al principio será necesario que sigan tutoriales e instrucciones, después podrán comenzar a indagar y a buscar soluciones a problemas reales y a diseñar actividades que se ajusten al contexto.
- Exposición de recursos: en este último paso, los docentes en formación prueban sus productos en contextos reales. Para ello, resulta muy interesante el encuentro entre docentes en ejercicio y en formación o la visita a centros educativos de las etapas de educación infantil, primaria o secundaria.

Los componentes del PC identificados en el modelo 5PC aparecen en la figura 1 dentro de recuadros grises. Estos son:

- Descomposición. Consiste en dividir un problema en otros más pequeños con el fin de facilitar su resolución.
- Abstracción. Comprende la habilidad para extraer la información relevante del problema y desechar la innecesaria.
- Diseño algorítmico. Para resolver un problema es necesario seguir unos pasos secuenciales bien definidos.
- Evaluación. Es importante comprobar si el procedimiento seguido para resolver el problema está siendo efectivo.
- Patrones. Se ha de observar las regularidades existentes entre los datos y establecer patrones.
- Generalización. Consiste en extrapolar lo descubierto a otros contextos.

Los métodos, que son propios de la ciencia de la computación, incluidos en el modelo, se señalan en la figura 1 junto a una circunferencia ocre. Son:

- Automatización de las soluciones.
- Recopilación, análisis y representación de datos.
- Paralelización: consiste en realizar tareas de forma paralela para llegar a un objetivo común.
- Simulación: representar datos y procesos a través de modelos.
- Programación: consiste en elaborar algoritmos para que puedan ser ejecutados por un programa, de acuerdo con Mohd *et al.* (2021).

Las prácticas del PC según el modelo 5PC, se indican en la figura 1 junto a un círculo de color verde. Son:

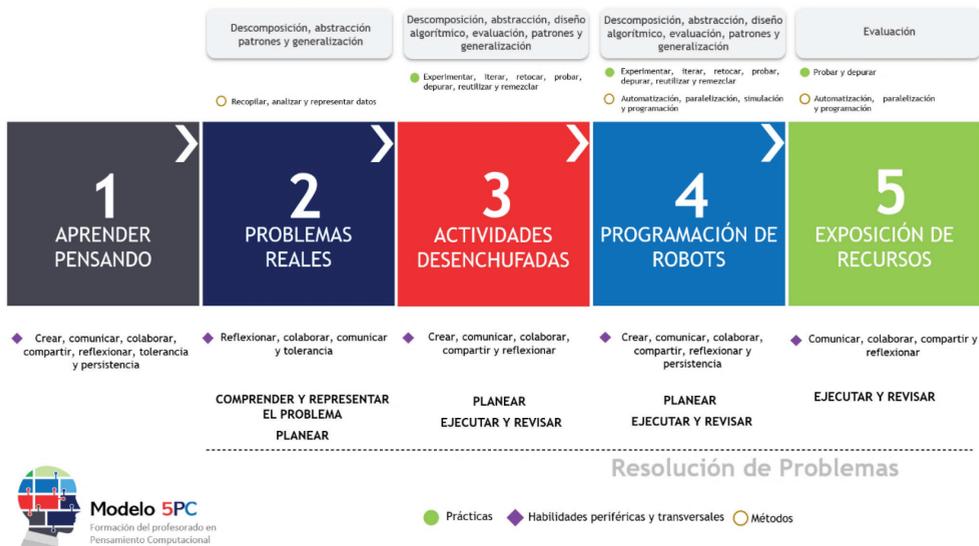
- Experimentar y retocar. Probar algo nuevo a través de la exploración y experimentación, según Mohd et al. (2021). Se trata de llegar a soluciones a través de un proceso de ensayo y error.
- Probar y depurar. Mohd et al. (2021) explica que consiste en identificar errores y comprobar que la solución encontrada funciona en otros casos.
- Reutilización y remezcla: crear la solución en el código existente, utilizar lo hallado para diferentes propósitos y/o incorporarlo en otros contextos (Kotsopoulos, 2017), así como utilizar otras creaciones para realizar las propias (Brennan y Resnick, 2012).

Las habilidades transversales que hipotéticamente pueden desarrollarse mientras se fomenta el PC y que se recogen en el Modelo 5PC son: crear, comunicar, colaborar, reflexión, tolerancia y ser persistente ante problemas complejos. En la figura 1 aparecen junto a un rombo morado.

Además, como ya se ha mencionado, todo esto se desarrolla de forma paralela y complementaria a las fases de resolución de problemas de Polya: comprender y representar el problema, planear, ejecutar y revisar. Esto también queda reflejado en la figura 1, sobre una línea discontinua, quedando patente la relación que existe entre ellas y los pasos del proceso de E-A.

Por tanto, el modelo 5PC es una propuesta que identifica los pasos a seguir en la integración del PC en la formación del profesorado, apoyándose en las evidencias arrojadas en estudios previos y en la propia experiencia como formador. Dado que, a

Figura 1. Modelo 5PC



Nota. Adaptado de *Pensamiento computacional en educación: kit de conocimientos para antes de comprar y programar un robot* (p. 54), por J.L. Serrano, 2022.

pesar de haber sido implementada (Serrano y Ortuño, 2021), no está validada, el objetivo planteado en este estudio es el siguiente:

- Validar y mejorar el diseño del Modelo 5PC, sometiéndolo a juicio de expertos.

2. Metodología

Este estudio sigue un enfoque mixto de investigación. Para la validación del Modelo 5PC se optó por hacer uso de la técnica de juicio de expertos mediante la estrategia del método Delphi, que consiste en seleccionar a una serie de expertos en el tema para que participen en una ronda de preguntas de forma anónima e individual, devolviéndoles la propuesta de manera global (Cabero y Barroso, 2013) en una segunda ronda para que la revisen y lleguen a un acuerdo. Para la selección de los expertos se establecieron dos criterios de inclusión: asunción de disponibilidad y conocimiento actual en el ámbito de la Tecnología Educativa.

Se seleccionaron seis expertos que aceptaron participar en el proceso (criterio de asunción de disponibilidad) y que son profesores e investigadores de esta área de conocimiento en distintas universidades españolas (criterio de conocimiento actual en el ámbito de la Tecnología Educativa), tal y como se observa en la Tabla 1.

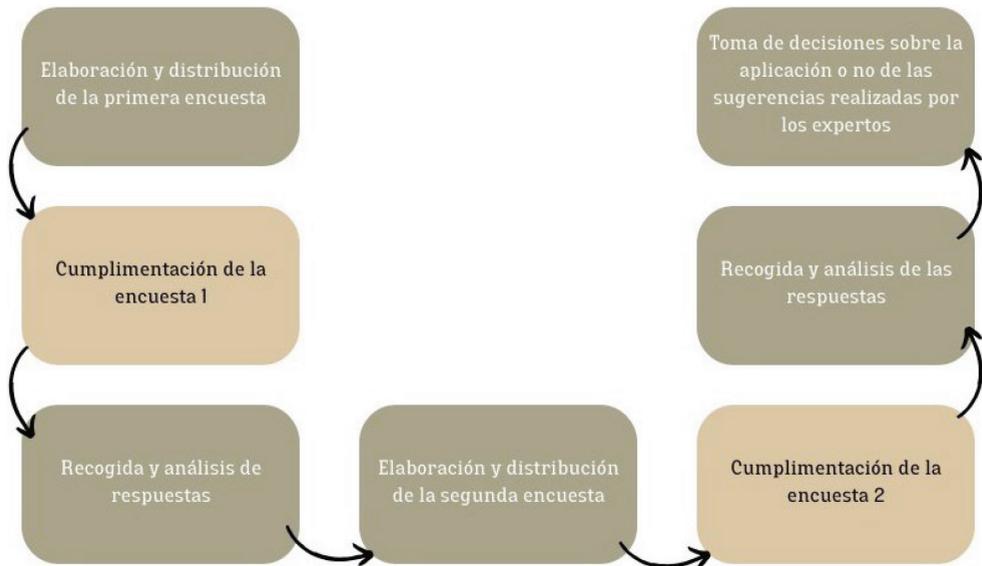
Una vez seleccionados los expertos, el procedimiento seguido se refleja en la Figura 2, destacando con distinto color los pasos que incumbían a los expertos (tono más claro) y los que implicaban únicamente al investigador.

Las encuestas fueron elaboradas a través de la herramienta ENCUESTAS de la Universidad de Murcia. Fueron divididas en seis módulos, que correspondían con cada uno de los aspectos del modelo que posteriormente fueron sometidos a juicio mediante preguntas abiertas. Estas seis partes eran:

- Módulo 1: definición del PC de la que parte el Modelo 5PC.
- Módulo 2: componentes o procesos cognitivos del PC.
- Módulo 3: fases del proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Módulo 4: elementos del modelo que toman protagonismo en las distintas fases.
- Módulo 5: el PC y la resolución de problemas.
- Módulo 6: otras posibles observaciones.

Tabla 1. Expertos

Experto	Sexo	Universidad	Experiencia
1	Mujer	Universidad de Murcia	>8 años
2	Mujer	Universidad Nacional de Educación a Distancia	>8 años
3	Hombre	Universidad de Sevilla	>8 años
4	Hombre	Universidad de Extremadura	>8 años
5	Hombre	Universidad Jaume I	>8 años
6	Hombre	Universidad Nacional de Educación a Distancia	>8 años

Figura 2. Procedimiento seguido en el estudio

La primera de las encuestas¹ constaba de 23 preguntas abiertas, en las que se les interrogaba sobre la definición del PC de la que parte el modelo, la idoneidad de los componentes, habilidades periféricas, métodos y prácticas del mismo, la pertinencia de los pasos a seguir en el proceso de enseñanza-aprendizaje y la relación que establece entre el PC y la resolución de problemas. Junto a la misma se les proporcionó un resumen del modelo.

Una vez que los expertos respondieron a esta primera encuesta, se realizó una lectura detallada y comparativa de las respuestas del documento pdf. que generó la herramienta ENCUESTAS. Para ello, se utilizó la imagen del Modelo 5PC editable en un documento de Power Point², a la que se fueron añadiendo -en comentarios- las aportaciones de los expertos sobre cada uno de los elementos.

En base a todas estas respuestas, se elaboró la segunda encuesta³. Este instrumento reunía todas las afirmaciones de todos los expertos, para que, de forma individual, tuvieran la oportunidad de expresar su acuerdo, desacuerdo o posición neutra con cada una de ellas. Se conservó la misma estructura que la anterior. En esta fase, uno de los expertos no pudo participar, por lo que fueron cinco los que contestaron.

¹Véase en el siguiente enlace: <https://encuestas.um.es/encuestas/NDE2Nzl.w>

²Véase en el siguiente enlace: <https://is.gd/G2VxkP>

³Véase en el siguiente enlace: <https://encuestas.um.es/encuestas/NDIxMDM.w>

Tras recibir sus comentarios, se procedió a la evaluación del grado de consenso en relación a cada una de las afirmaciones. Cuando recibían tres o más votos a favor, siempre y cuando los otros dos no fueran contrarios (es decir, al menos uno de ellos fuera neutro), se consideraban como aceptadas por el equipo de expertos y se aplicaron al modelo final, exceptuando los casos en los que claramente se evidenciaba falta de conocimiento profundo del modelo.

3. Resultados

Tal y como se ha indicado anteriormente, tras la cumplimentación de cada una de las encuestas por parte de los expertos, se llevó a cabo un trabajo de registro, análisis y comparación de resultados. En primer lugar, se obtuvo la opinión individual de cada experto sobre cada uno de los elementos del Modelo 5PC. En segundo lugar, todas las afirmaciones individuales fueron expuestas a los expertos para que expresaran su acuerdo, desacuerdo o posición neutral. A continuación, teniendo en cuenta los criterios mencionados en el apartado anterior, se clasificaron las respuestas en: aceptadas por el equipo de expertos, desestimadas (rechazadas) o neutralizadas (sin unanimidad).

En la Tabla 2, las afirmaciones que aparecen numeradas con un número y una letra son las sugerencias que se extrajeron de las respuestas de los expertos a la primera encuesta y que fueron sometidas a debate en la segunda. A la derecha de estas, queda reflejado cuántos expertos expresaron su grado de acuerdo (DA), desacuerdo (DS) o posición neutral (N) en la segunda encuesta y, en función de eso, la clasificación que le corresponde.

Tabla 2. Resultados

Posibles consensos sobre la definición de PC de la que parte el Modelo 5PC					
		DA	DS	N	Clasificación
1a	Consideremos que las máquinas no son agentes de pensamiento y eliminemos este término, dejando la siguiente expresión "un ser humano o un ente artificial".	3	0	2	Aceptada
1b	Utilicemos el plural en la siguiente parte de la definición: "formulación y solución de problemas".	4	0	1	Aceptada
1c	Indiquemos en la definición que el PC también sirve para entender el mundo y tomar decisiones en una amplia variedad de contextos.	3	2	0	Aceptada
1d	Indiquemos que el PC también sirve para expresar ideas.	4	1	0	Aceptada
1e	Indiquemos que en el PC se aplican conceptos básicos de la informática.	3	1	1	Aceptada
1f	Modifiquemos la parte final, ya que no queda claro que se trata de que los humanos entendamos cómo las máquinas funcionan y resuelven problemas y lo apliquemos.	1	2	2	Neutralizada

(continúa)

Tabla 2. Resultados (continuación)

Posibles consensos sobre los componentes o procesos cognitivos del Modelo 5PC					
		DA	DS	N	Clasificación
2a	¿Cambiaría el orden de presentación para que quedara clara la secuencia habitual? Este orden quedaría así: descomposición, detección de patrones, abstracción, generalización, diseño algorítmico y evaluación.	4	1	0	Aceptada
2b	¿Cree que es necesario añadir la automatización como otro componente?	2	3	0	Desestimada
2c	¿Cree que es necesario añadir la representación como otro componente, con el fin de plantear cómo se manejan los valores y los datos de diferentes maneras?	2	2	1	Neutralizada
2d	¿Cree que es necesario añadir la depuración como otro componente o consideras que está contenida en la evaluación y que eso es suficiente? Entendamos depuración como la capacidad de identificar y corregir errores en un algoritmo o programa.	1	4	0	Desestimada
2e	Explique si está de acuerdo con las siguientes afirmaciones de uno de los expertos, y en el caso de que lo esté indique qué implicaciones debería tener en el modelo según usted: "el componente generalización es difícil de comprender, ya que se han dado casos de que la máquina fuera convencida de que 2+2 son 5. En otros casos, el componente evaluación no es tenido en cuenta por la máquina, ya que no tienen conciencia y como mucho suelta la respuesta y ya está".	1	4	0	Desestimada
2f	¿Cree que habría que presentarlos con una relación jerárquica entre ellos, diferenciando entre componentes primarios (abstracción y generalización) y secundarios, siendo los vinculados a la abstracción, la descomposición y el diseño algorítmico, y los vinculados a la generalización, patrones y evaluación?	1	4	0	Desestimada
Posibles consensos sobre las fases del proceso de enseñanza-aprendizaje					
		DA	DS	N	Clasificación
3a	Debería aclararse la función de la fase 1 (aprender pensando), ya que, al no tener ningún componente ni método asignado, puede llevar a creerla prescindible.	4	0	0	Aceptada
3b	La fase 1 debería ser "problemas reales" (la actual fase 2) y la fase 2, "aprender pensando" (la actual fase 1).	4		1	Aceptada
3c	Habría que desdoblar la fase 4 en dos: una llamada "programación de dispositivos digitales" y puramente digital (por ejemplo, mediante Scratch), y otra, "extensión de la programación digital al mundo físico" (por ejemplo, mediante robots programables).	5	0	0	Aceptada

3d	Aunque esté implícito en las demás fases, habría que crear una específica para la creación de materiales o recursos para trabajar el PC, con el fin de tener un espacio definido y focalizado en el diseño y desarrollo de recursos pedagógicos específicos. De esta manera, los docentes generarían habilidades como la creatividad, innovación, pensamiento crítico, resolución de problemas, comunicación y colaboración.	2	1	2	Neutralizada
3e	La fase que crearíamos para la creación de recursos debería situarse junto antes a la (exposición de recursos).	1	1	3	Neutralizada

Posibles consensos sobre los elementos del modelo que toman protagonismo en las distintas fases

Métodos					
		DA	DS	N	Clasificación
4a	La combinación de los métodos puede variar según la situación.	3	0	2	Aceptada
4b	Se debería reflejar la importancia de la detección de patrones.	2	0	3	
4c	Podríamos reducir los métodos a dos: programación, y simulación y construcción de modelos, en las que estarían incluidos todos los indicados en el modelo original.	2	0	3	
4d	Se podrían concentrar los métodos en la fase 4 (programación de robots), eliminándolos de las demás fases.	3	0	2	Aceptada
4e	En la fase 3 (actividades desenchufadas) también se desarrollan métodos.	5	0	0	Aceptada
4f	En la fase 4 (programación de robots) también se desarrolla el método “recopilación, análisis y representación de datos”.	5	0	0	Aceptada
4g	Existe relación entre los métodos que debería reflejarse. Esta relación es la siguiente: representar-programación, analizar-simular, recopilar-paralelización. La integración de todos es la automatización.	3	0	2	Aceptada

Prácticas					
		DA	DS	N	Clasificación
4h	Se podrían presentar con la siguiente relación: experimentar y probar; iterar, retocar y depurar; reutilizar y remezcla.	4	1	0	Aceptada
4i	Se podrían añadir prácticas en la fase 5 (exposición de recursos) como resultado de la retroalimentación.	3	1	0	Aceptada
4j	Es mejor utilizar las prácticas que provienen de la ingeniería: pregunta, imagina, planifica, crea, prueba y mejora.	1	0	4	Neutralizada

Tabla 2. Resultados (continuación)

4k	Se debería incluir “modularizar” como otra práctica, ya que es fundamental para programar proyectos complejos en Scratch. Entendemos que “modularizar” consiste en construir macro-soluciones a problemas más grandes y más complejos, a partir de combinar micro-soluciones parciales ya encontradas previamente en problemas más simples y que se guardaron convenientemente.	3	1	1	Aceptada
Habilidades transversales					
4l	En lugar de “ser persistente ante problemas complejos” deberíamos hablar de “paciencia”.	DA	DS	N	Clasificación
		0	4	1	Desestimada
4m	“Reflexión” no es una habilidad, deberíamos hablar de “pensamiento crítico”.	2	1	2	Neutralizada
4n	La distribución de las habilidades entre las distintas fases hace que pierdan su carácter longitudinal.	3	1	1	Aceptada
4ñ	Para que no pierdan su carácter longitudinal, se deberían poner todas en todas las fases.	4	0	0	Aceptada
4o	Deberían enunciarse con sustantivos.	0	3	2	Desestimada
4p	Deberían enunciarse con infinitivos.	3	0	2	Aceptada
4q	Debería incluir otras dos habilidades: atención y motivación.	2	2	1	Neutralizada
4r	El Modelo 5PC explica que una de las habilidades transversales es “tolerancia ante situaciones no controlables”. ¿Cree que es adecuada o debería ser “tolerancia ante los fallos” como se ha sugerido?	0	0	5	Neutralizada
Posibles consensos sobre la relación que establece el Modelo 5PC entre el PC y la resolución de problemas					
5a	Habría que incluir las fases “comunicar/compartir/ socializar la solución” y “transferir e implementar la solución”, aunque ya esté contenido en la fase “ejecutar y revisar” en combinación con “exposición de recursos”.	DA	DS	N	Clasificación
		3	1	1	Aceptada
5b	La fase “comprender y representar el problema” debería estar también en “actividades desenchufadas” y “programación de robots”, ya que siempre se parte de algún reto o problema a solucionar.	5	0	0	Aceptada

No todas las afirmaciones aceptadas por el equipo de expertos pudieron ser aplicadas en el modelo final, por su falta de coherencia con el mismo acompañado de un consenso poco sólido. Comenzando por la definición, el número 1c será desestimado,

apoyándonos en los votos en contra, al estar de acuerdo con las razones dadas para hacerlo: “convierte la definición en algo muy genérico”. Por tanto, aplicando el resto de los consensos, la definición de PC de la que partirá la versión validada del Modelo 5PC es:

Un conjunto de procesos cognitivos que permiten a un ser humano o un ente artificial formular problemas, automatizar soluciones y expresar ideas aplicando conceptos básicos de la informática, con o sin tecnología.

Continuando con los componentes del PC, en el caso del número 2a, cuatro de los cinco expertos dieron una opinión favorable, pero no lo hicieron de forma absoluta. Cada uno sugirió alguna modificación de la secuencia presentada en el enunciado, por lo que en realidad no hay un consenso claro al respecto. En consecuencia, no pudo ser aplicado y este elemento del modelo quedó sin modificar.

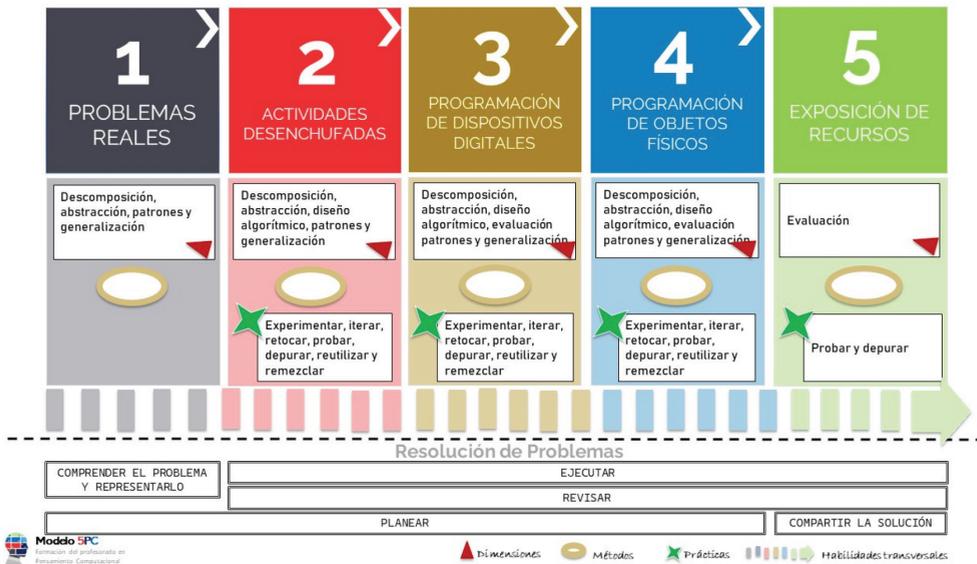
En relación a las afirmaciones acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje del PC, ninguno de los consensos es incoherente con el modelo. Por ello, en atención a ellas, las fases serán: problemas reales; actividades desenchufadas; programación de dispositivos digitales; programación de objetos físicos; y exposición de recursos.

En cuanto a los métodos, a pesar del consenso alcanzado en la 4d, esta se desestimó por entrar en conflicto con el número 4a, habiendo logrado la misma puntuación. No solo entra en conflicto con dicha afirmación, sino que no parece muy coherente con el modelo, ya que, si considerásemos que los métodos solo se desarrollan en la fase 4, estaríamos transmitiendo la idea errónea de que el PC consiste esencialmente en programar robots. Además, el número 4g parece no haber entendido el modelo al completo, por lo que sería recomendable someterlo a debate en futuros estudios, dado que el acuerdo no ha sido unánime. Resumiendo, los métodos serán los mismos, solo que se especificará que pueden ser distribuidos entre las fases dependiendo de la situación. Quedará así reflejado en la representación visual de la versión del Modelo 5PC resultante de este estudio.

En el caso de las prácticas, todas las afirmaciones necesitarían ser debatidas nuevamente. El número 4h apenas modifica el modelo original sin ninguna razón aparente y cuenta con un voto en contra. Por ello, es preferible esperar a nuevos debates al respecto. Además, la presentación del Modelo 5PC responde a una secuencia lógica que consistiría en lo siguiente: en primer lugar, se experimenta, tratando de llegar a soluciones mediante un proceso de ensayo y error. Más tarde, cuando tenemos una solución que parece coherente y factible, la probamos en otros casos y llevamos a cabo un proceso de depuración. Finalmente, creamos la solución en el código existente (Serrano, 2022, p.25), lo que corresponde a reutilización y remezcla. El número 4i no corresponde con la realidad, ya que sí que hay prácticas asociadas a la fase 5. Finalmente, el número 4k también necesitaría de debates futuros porque “modularizar” está contenida en “reutilización y remezcla”. Por tanto, las prácticas no sufrirán ningún cambio en el modelo final.

En relación a las habilidades transversales, todas las sugerencias aceptadas por el equipo de expertos son fieles al modelo y tienen consistencia. En consecuencia, estas serán presentadas de manera que su carácter transversal quede claro y serán enunciadas en infinitivo.

Figura 3. Modelo 5PC final



Por último, con respecto a la relación entre el PC y la resolución de problemas, únicamente el número 5a se tendrá en cuenta, ya que el número 5b refleja no haber entendido completamente el modelo. Las fases 3 y 4 se basan en el problema identificado en las fases iniciales, por lo que no es necesario volver a poner "comprender y representar el problema". Por tanto, las fases de resolución de problemas serán: comprender el problema y representarlo, planear, ejecutar, revisar, compartir la solución.

Resumiendo, la versión del Modelo 5PC resultante tras la realización de este estudio la presentamos en la Figura 3.

4. Discusión y conclusiones

Teniendo en consideración la valoración de los expertos que participaron en el proceso de validación del Modelo 5PC, es posible afirmar que este es adecuado para la enseñanza y el aprendizaje del PC para docentes. Tras el trabajo realizado, se obtuvo una versión mejorada y más precisa del mismo, aportando a la comunidad científica y educativa un marco que podría ser de referencia y que integra todos los elementos del PC, el proceso de resolución de problemas y los conocimientos pedagógicos y metodológicos actuales.

Se trata de un modelo que combina muchas aportaciones previas de una forma novedosa. Así, por ejemplo, las categorías del PC (conceptos o dimensiones, prácticas, métodos, habilidades transversales) pueden recordar a la estructura que aportan Brennan y Resnick (2012). Estos autores y Serrano (2022), introducen una categoría que se refiere a la relación que establece el individuo con los demás y con el entorno y el problema: estas son las perspectivas en el caso de los primeros, y habilidades

transversales, del segundo. Sin embargo, la principal diferencia se encuentra en que el Modelo 5PC está orientado hacia un PC entendido como un conjunto de procesos cognitivos para resolver problemas apoyándose en la computación, pero sin limitarse al manejo de los lenguajes de la programación. De esta manera el Modelo 5PC (Serrano, 2022) se apoya más en la propuesta de Corradini *et al.* (2017).

En relación a las habilidades transversales del Modelo 5PC, estas también encuentran su justificación en que la CSTA añadió una dimensión actitudinal al concepto, tal y como explica Román-González (2016).

Los pasos secuenciales resultantes son coherentes con varios de los dictados proporcionados por estudios anteriores. Ung *et al.* (2021) establecen que uno de los pilares básicos de la formación docente debe ser que los recursos que se utilicen sirvan para resolver problemas reales de clase. Además, la combinación de actividades conectadas y desenchufadas en la formación del profesorado es algo que ya se introdujo por Kotsopoulos *et al.* (2017) en su marco pedagógico y que ha sido aplicado por Voon *et al.* (2023). No obstante, este último lo plantea de forma diferente, ya que combina ambas estrategias durante todo el proceso de aprendizaje, mientras que Serrano (2022) les asigna un tiempo determinado y propio a cada una, aunque contemple la posibilidad de abordarlas en momentos distintos nuevamente.

En cuanto a la combinación de actividades que se propone, Moreno-León *et al.* (2018) establecen cinco categorías de tecnologías adecuadas para enseñar el PC: actividades desenchufadas (coincide con la segunda fase del Modelo 5PC), entornos basados en flechas, entornos visuales basados en bloques, lenguaje textual de programación (corresponden a “programación de dispositivos digitales”) y conectado con el mundo físico, que coincide con “programación de objetos físicos” del Modelo 5PC.

La secuencia presentada en las dimensiones del PC concuerda con el artículo de Tsai *et al.* (2021) que establece una relación lineal entre ellas, señalando que la abstracción y la descomposición determinan al resto de componentes, al igual que el pensamiento algorítmico afecta a la evaluación y esta a la generalización. Transmiten que es fundamental sentar las bases de la abstracción y la descomposición, siendo esta última la que mayor dificultad entraña, antes de pretender que los estudiantes dominen el resto. Por tanto, resulta interesante que el Modelo PC conserve esta secuencia a la hora de que los docentes programen el proceso de enseñanza-aprendizaje de su alumnado, ya que estos autores señalan que el éxito de estas habilidades puede ser crítico para la adquisición y desarrollo del PC.

A pesar de las pequeñas puntualizaciones que han realizado los expertos acerca de la relación entre el PC y el proceso de resolución de problemas que establece el Modelo 5PC, todos coincidieron en que la relación era buena y adecuada. Esto también es apoyado por autores como Barr y Stephenson (2011). Asimismo, Kale *et al.* (2018) declara que “la resolución de problemas es la habilidad esencial que subyace al pensamiento computacional” (p. 574). Este es uno de los aspectos más novedosos del Modelo, ya que, a pesar de la evidente conexión entre ambos procesos, ninguno de los marcos pedagógicos previos creados para la formación del profesorado, mencionados en la introducción, señala de una forma tan clara esta coincidencia.

Por tanto, a través del método Delphi se ha podido llegar a una mayor precisión del Modelo 5PC, de manera que su uso sea una base sólida sobre la que formar a los docentes para que comprendan el PC y sepan cómo enseñarlo a las generaciones venideras de forma adecuada. Tales eran las intenciones de Serrano y Ortuño (2021) cuando lo presentaron por primera vez.

No obstante, es necesario puntualizar que el estudio ha contado con ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta tanto en la interpretación de las conclusiones obtenidas como en futuros estudios que implementen o evalúen el Modelo 5PC. Una de ellas ha sido el escaso tiempo dedicado al debate entre expertos, siendo únicamente dos las rondas de preguntas realizadas. Aunque, Cabero e Infante (2014) recomiendan este número de rondas para no perder el interés de los expertos, entre otras razones, lo cierto es que ha habido algunas cuestiones que han quedado abiertas. Esto ha ocurrido porque, o bien necesitaban más debate, o bien porque han surgido a raíz de otras. Algunas de ellas son:

- La relación que se debe reflejar entre los métodos, ya que se han dado varias propuestas.
- La lista de las habilidades transversales, pues no queda claro si se debería incluir “tolerancia ante los fallos”.
- La presentación de los componentes del PC, pues se han conservado según el modelo original por razones pedagógicas, pero cabría la posibilidad de que los expertos crean más conveniente presentarlos de forma que quede clara la secuencia de la puesta en práctica.
- La inclusión/exclusión de la automatización en la definición y en los métodos al mismo tiempo.
- La conveniencia o no de dar por implícita la práctica “modularizar dentro de “reutilización y remezcla”.

Este estudio se ha realizado gracias a la participación generosa de expertos españoles. Sin embargo, sería interesante que, en posibles futuras validaciones, se validase primero la encuesta y seguidamente participasen expertos de otros países. De esta manera aumentaría el nivel de generalidad y aplicabilidad del Modelo. Finalmente, recomendamos la implementación del Modelo en contextos reales para completar su proceso de validación y valorar su utilidad.

Asimismo, este estudio es punto de partida para realizar experiencias de formación docente en PC, en el ámbito universitario, basadas en la nueva versión del Modelo 5PC. Así se contribuiría a su validación. Más adelante, se podría concretar el Modelo conectando el PC con los currículos de distintos países, realizando un trabajo similar al que hicieron Barr y Stephenson con su modelo transversal de desarrollo del PC.

Referencias bibliográficas

Barr, D., Harrison, J. y Conery, L. (2011). Computational Thinking: A Digital Age. *Learning & Leading with Technology*, 38(6), 20-23. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ918910.pdf>

- 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, 48-54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Brennan, K. y Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*, 1, 25. <https://bitly.ws/UWh7>
- Cabero, J. y Barroso, J. (2013). La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el coeficiente de competencia experta. Bordón. *Revista de Pedagogía*, 65(2), 25-38. <https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/brp.2013.65202>
- Cabero, J. e Infante, A. (2014). Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 48, 1-16. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/32234/edutec-e_n48_cabero-infante.pdf;sequence=1
- Chen, P., Yang, D., Saleh, A., Lavonen, J. y Wang, X. (2023). Fostering computational thinking unplugged activities: A systematic literature review and meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 10(47), 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00434-7>
- Corradini, I., Lodi, M. y Nardelli, E. (2017). Conceptions and Misconceptions about Computational Thinking among Italian Primary School. *Proceedings of the 2017 ACM Conference on International Computing Education Research- ICER*, 17, 136-144. <https://doi.org/10.1145/3105726.3106194>
- Esteve-Mon, F., Adell-Segura, J., Llopis, M.A., Valdeoliva, G. y Pacheco, J. (2019). The Development of Computational Thinking in Student Teachers through an Intervention with Educational Robotics. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 18, 139-152. <https://www.informingscience.org/Publications/4442>
- Kale, U., Ackaoglu, M., Cullen, T., Goh, D., Devine, L., Calvert, N. y Grise, K. (2018). Computational What? Relating Computational Thinking to Teaching. *TechTrends*, (62), 574-584. <https://doi.org/10.1007/s11528-018-0290-9>
- Kong, S. (2022). Problem formulation in computational thinking development for nurturing creative problem solvers in primary School. *Education and Information Technologies*, 27(9), 12523-12542. <https://link.springer.com/10.1007/s10639-022-11101-9>
- Kong, S. y Lai, M. (2022). Effects of a teacher development program on teachers' knowledge and collaborative engagement, and students' achievement in computational thinking concepts. *British Journal of Educational Technology*, 54(2), 489-512. <https://doi.org/10.1111/bjet.13256>
- Korkmaz, Ö., Çakir, Re y Özden M.Y. (2017). A validity and reliability study of the computational thinking scales (CTS). *Computers in Human Behavior*, 72, 558-569. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.005>
- Kotsopoulos, D., Floyd, L., Khan, S., Namukasa, I. K., Somanath, S., Weber, J. y Chris, Y. (2017). A Pedagogical Framework for Computational Thinking. *Digital Experiences*

- in Mathematics Education*, 3(2), 154-171. <http://link.springer.com/10.1007/s40751-017-0031-2>
- Li, F., Wang, X., Cheng, L. y Wang, Y. (2022). The effectiveness of unplugged activities and programming exercises in computational thinking education: A Meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 27, 77993-9013. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10915-x>
- Li, Q., Kiang, Q., Liang, J., Xiong, W., Liang, Y. y Zhao, W. (2023). Effects of interactive unplugged programming activities on computational thinking skills and student engagement in elementary education. *Education and Information Technologies*, 28, 12293-12318. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11634-7>
- Ling-Ling, U., Labadin, J. y Suraya, F. (2021). Information System Framework for Training Teachers on Computational Thinking. *SAR Journal-Science and Research*, 4(3), 119-127. https://www.sarjournal.com/content/43/SARJournalSeptember2021_119_127.html
- Mohd, K., Sharai, N., Siti, T. y Mohd, N. (2021). Validation of the Components and Elements of Computational Thinking for Teaching and Learning Programming using the Fuzzy Delphi Method. *International Journal of Advanced Computer Science and Application*, 12(1), 80-88. <https://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120111>
- Moreno-León, J., Robles, G., Román-González, M. y Rodríguez, J. D. (2019). Not the same: a text network analysis on computational thinking definitions to study its relationship with computer programming. *RiiTE Revista interuniversitaria de investigación en tecnología educativa*, (7), 26-35. <http://doi.org/10.6018/riite.397151>
- Moreno-León, J., Román-González, M. y Robles, G. (2018). On Computational Thinking as a Universal Skill. A review of the latest research on this ability. *EDUCON*, 1684-1689. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363437>
- Paucar-Curasma, R., Villalba-Condori, K., Viterbo, S., Nolan, J., Florentino, U. y David, R. (2022). Fomento del pensamiento computacional a través de la resolución de problemas en estudiantes de ingeniería de reciente ingreso en una universidad pública de la región andina de Perú. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, 48, 23-40. <https://doi.org/10.17013/risti.48.23-40>
- Polat, E. y Yilmaz, R. (2022). Unplugged versus plugged-in: examining basis programming achievement and computational thinking of 6th-grade students. *Education and Information Technologies*, 27(7), 9145-9179. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10992-y>
- Posada, F. (16 de octubre de 2016). Modelo CSTA para el Pensamiento Computacional. *CanalTIC*. <https://canaltic.com/blog/?p=2565>
- Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Infantil. *Boletín Oficial del Estado*, 28, 2 de febrero de 2022. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-1654>

- 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, 2 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-3296>
- Real Decreto 2017/2022, 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, 30 de marzo de 2022. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-4975
- Román-González, M. (2016). *Códigoalfabetización y pensamiento computacional en educación primaria y secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas* [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. E-espacio-Universidad Nacional de Educación a Distancia. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Educacion-Mroman>
- Serrano, J. L. (2022). *Pensamiento Computacional en educación: kit de conocimientos para antes de comprar y programar un robot*.
- Serrano, J. L. y Ortuño, G. (2021). Percepciones del profesorado en formación sobre el desarrollo del pensamiento computacional desde el Modelo 5PC. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 78, 2012-230. <https://doi.org/10.21556/edutec.2021.78.2173>
- Tsai, M., Liang, J., Lee, S. y Hsu, C. (2021). Structural Validación for the Development Model of Computational Thinking. *Journal of Educational Computing Research*, 60(1), 56-73. <https://bitly.ws/UWh9>
- Ung, L., Labadin, J. y Mohamad, F. (2021). Computational thinking for Development of a localized E-learning system. *Computers & Education*, 177, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104379>
- Voon, X., Wong, S., Wong, L., Khambari, M. y Syed-Abdullah, S. (2023). Developing pre-service teachers' computational thinking through experiential learning: hybridization of plugged and unplugged approaches. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 18(6), 1-27. <https://doi.org/10.58459/rptel.2023.18006>
- Yadav, A., Gretter, S., Good., J. y McLean, T. (2017). Computational Thinking in Teacher Education. *Emerging Research, Practice and Policy on Computational Thinking*, 205-220. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-52691-1_13

Biografía

Noemí Carmen Serrano García: Maestra de Audición y Lenguaje en el Colegio Público Bajo Pas de Cantabria. Grado en Educación Primaria por la Universidad de Murcia, Máster Interuniversitario en Tecnología Educativa.

José Luis Serrano: Profesor Titular de tecnología educativa en la Universidad de Murcia. Doctor en Tecnología Educativa, Máster en Psicología de la Educación, Licenciado en Pedagogía y Técnico Superior en Educación Infantil. Miembro del Grupo de Investigación de Tecnología Educativa de la Universidad de Murcia. Interesado en bienestar digital, pensamiento computacional, IA y gestión personal de la información digital. Editor ejecutivo Revista RiiTE. Autor del blog y el podcast de eduHacking (www.joseluiserrano.net).