



El Pensamiento Computacional en Materias STEAM en Alumnado Universitario y Preuniversitario

Computational Thinking in STEAM Subjects in University and Pre-university Students

Sergio Alonso del Campo^a

^aUniversidad Politécnica de Valencia, seralde2@upv.edu.es

How to cite: Alonso del campo, S. (2024). El Pensamiento Computacional en Materias STEAM en Alumnado Universitario y Preuniversitario. En libro de actas: *X Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 11 - 12 de julio de 2024. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2024.2024.18352>

Abstract

Computational thinking is a key driver for developing skills and knowledge across various educational stages.

Computational design is a field that allows for the integration of algorithms into the creative process, already being addressed in specific undergraduate and graduate fields.

This research aims to analyze the feasibility of incorporating computational thinking into art and design subjects. That is, to explore the opportunity to expand this methodology from the STEM to the STEAM environment.

To this end, a comparative study has been conducted at the high school and university levels. The main result confirms that high school students show greater self-confidence in their skills. On the other hand, university students, coming from different educational backgrounds, somewhat lack certain concepts and knowledge necessary to benefit from the tools being worked with

Keywords: *Computational thinking; computational design; parametric design; visual programming; LOMLOE; innovation in education*

Resumen

El pensamiento computacional resulta un motor clave para el desarrollo de habilidades y conocimientos en distintas etapas educativas.

El diseño computacional es un campo que permite la integración de algoritmos como parte del proceso creativo, siendo ya un aspecto que se trata en campos específicos de grado y posgrado universitario.

El presente estudio plantea analizar la viabilidad de incluir el pensamiento computacional en materias de arte y diseño. Es decir, buscar la oportunidad de ampliar esta metodología del entorno STEM al STEAM.

Para ello, se ha realizado un estudio comparativo, en nivel de bachillerato y en grado universitario. Como resultado principal, se confirma que los estudiantes de bachillerato muestran una mayor autoconfianza en sus habilidades. En cambio, el estudiantado universitario, al provenir de distintos ámbitos educativos, de algún modo carece de ciertos conceptos y conocimientos necesarios que favorezcan las herramientas trabajadas

Palabras clave: *Pensamiento computacional; diseño computacional; diseño paramétrico; LOMLOE; programación visual; innovación educación*

1. Introducción

1.1. Pensamiento Computacional

El pensamiento computacional (PC en adelante) tiene una gran cantidad de acepciones y maneras de definirlo, aún en debate entre la comunidad científica (Padrón Polanco et al., 2021). Una de las definiciones más aceptadas, lo explica como el proceso que permite formular problemas de forma que sus soluciones pueden ser representadas en secuencias de instrucciones y algoritmos (Aho, 2012). Se trata por tanto de un proceso cognitivo de resolución y análisis de problemas. También se puede entender el PC como las habilidades mentales para diseñar cálculos que permite a los ordenadores realizar tareas por nosotros o para explicar, interpretar y procesar la información compleja del mundo real.

Desde luego, el PC no es una práctica nueva, sino que ya los babilonios y egipcios aplicaban estos métodos para resolver problemas matemáticos y cálculos geométricos. (Denning & Tedre, 2019).

Por otro lado, el PC está intrínsecamente relacionado con los algoritmos. Según el Diccionario de la lengua española, un algoritmo es un “conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema” (Diccionario de la lengua española, s.f.). Aunque se pueda pensar que es algo usado para casos complejos exclusivos del ámbito matemático, en la vida cotidiana las personas están empleando algoritmos de mayor o menor complejidad continuamente: una receta de comida, el manual de instrucciones de montaje de un mueble, o un videotutorial (Fry, 2018).

1.1.1. Ventajas del Pensamiento Computacional en Educación

Uno de los principales enfoques erróneos del PC es relacionarlo únicamente con la mera capacidad de programar. Por un lado, se amplía a una serie de habilidades directamente vinculadas con el área en el que se trabaja del entorno de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, conocido por sus siglas en inglés *STEM* (nombrado así en adelante). Diversos autores mencionan estas destrezas como algo implícito al aplicar este tipo de metodología, pero a lo largo de estas décadas numerosos estudios y prácticas han demostrado una mejora en ciertas habilidades que a priori pueden parecer no tan explícitas y que también se vinculan con competencias curriculares (Marañón Marañón & González García, 2021).

- Desarrollo de la creatividad, innovación y curiosidad (Lee et al., 2011).
- Espíritu emprendedor y liderazgo.
- Aplicación de aprendizaje basado en proyectos (ABP).
- Trabajo en equipo, analizando el problema planteado desde distintos múltiples de vista y fraccionándolo en partes.
- Pensamiento sistémico

- Destrezas socioemocionales, vinculadas al punto anterior que aportan autoconfianza y desarrollan la empatía.
- Comunicación, mediante escucha activa y respeto a las opiniones de los demás.

1.1.2. Implementación del Pensamiento Computacional en España y en la LOMLOE

En España han existido diferentes programas dedicados al desarrollo e integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el aula, desde el inicial Programas Atenea y Mercurio en los años 80 hasta el Instituto de Tecnologías Educativas (ITE) creado en 2009, predecesor del actual Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF), creado en 2012. (INTEF, 2017). En su web se puede obtener formación, colaboración, recursos y tecnología educativa. Una de las iniciativas que vela por la inserción del PC en el sistema educativo español es la Escuela de Pensamiento computacional e Inteligencia artificial (Ministerio de Educación y FP, s.f.), como parte de los Objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de la Unión Europea. La escuela tiene como objetivo ayudar al profesorado a implementar estas habilidades y su enseñanza usando la programación y robótica. Esta escuela lleva desde el curso académico 2018/19 ofreciendo distintos proyectos y acciones tanto a nivel de primaria, secundaria y bachillerato con extensos informes derivados.

El caso español varía según qué comunidad autónoma e incluso centro se trate, si bien se suele integrar en educación primaria en áreas afines como matemáticas. Sin embargo, las menciones que los planes de estudio hacen del PC atienden mayoritariamente a programación y código (Bocconi et al., 2022), volviendo a recaer en una interpretación limitada en lo que a PC se refiere y las posibilidades de este. Dicho informe plantea como desafíos claves para España, extraídos de cuestionarios al respecto para educación secundaria, la insuficiente formación del profesorado y la colisión con otros programas o prioridades a nivel curricular.

España ha optado por el modelo de “políticas rápidas”, entendidas como una toma de decisión ágil acotada temporalmente que permite un desarrollo rápido programático y la intervención de expertos en un contexto internacional de colaboración. Sin embargo, otros países han elegido también este tipo de políticas llegando a conclusiones contrapuestas (Adell et al., 2019).

La nueva ley de educación LOMLOE a través del Real Decreto 217/2022, de 19 de marzo, y Real Decreto 217/2022, de 5 de abril, sí menciona finalmente de manera expresa el PC, optando por incorporarlo desde la transversalidad a partir de las primeras etapas educativas y con una estructuración vertical de conocimientos. Como ejemplo vinculado al estudio en el área de bachillerato, se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Inclusión del PC en materias de bachillerato. Nota: Adaptado de (Real Decreto 243/2022)

Materias	Competencia Específica	Competencia Digital	STEM	Competencia Empresarial
Biología, Geología y Ciencias Ambientales	CE 4			
Geología y Ciencias Ambientales	CE 4	CD1, CD5,	STEM1S TEM2	CE3
Matemáticas I, Matemáticas II, Matemáticas generales y Matemáticas Aplicadas a las Ciencias Sociales I y II	CE 4	CD2, CD3, CD5	STEM1S TEM2ST EM3	CE3

1.2. Diseño Computacional

El diseño computacional es una nueva forma de ideación y metodología a la hora de diseñar utilizando parámetros o algoritmos como parte del proceso generativo de la forma. Esto puede permitir, mediante la inclusión y alteración de ciertos datos o instrucciones, modificar la forma para crear otras alternativas, soluciones formales o adaptaciones a situaciones cambiantes.



Fig. 1. *Detalle del Pabellón Puente, Zaragoza 2008*

El diseño computacional comenzó a aplicarse en ámbitos industriales y arquitectónicos complejos que puedan ser producidos de manera directa por herramientas de fabricación digital. La figura 1 representa una aplicación de estos diseños en la envolvente de un edificio de la arquitecta iraní Zaha Hadid para la Expo 2008 de Zaragoza.

Cuando se emplean parámetros para configurar una serie de diseños o entidades que se puedan adaptar a situaciones específicas y variantes, se suele definir como diseño paramétrico, muy empleado en ciertos softwares de la arquitectura, ingeniería y construcción. De hecho, es habitual encontrar bibliografía referida a arquitectura paramétrica en conceptos y casos similares.

El sector industrial también es consciente de la relevancia que tiene la conexión de esta parte de procesos creativos con sistemas de fabricación asistida por ordenador, conocidos por sus siglas en inglés *CAM*, fabricación digital inteligente, impresión 3d y todo lo que supone la transformación en la industria 4.0.

1.3. El Pensamiento Computacional a través del Diseño

Frente al esfuerzo para el alumnado y profesorado que supone la alfabetización digital de los lenguajes de programación, la programación visual representa una alternativa gráfica en el contexto actual donde la comunicación e información viene dada en gran medida desde lo visual. Este tipo de lenguaje se ha vinculado tradicionalmente a la matemática, informática, tecnología y robótica educativa (cultura *maker*) con un enfoque claro en ingenierías e industria. Por tanto, el PC viene impregnado de un carácter transversal e interdisciplinar tecnológico y científico.

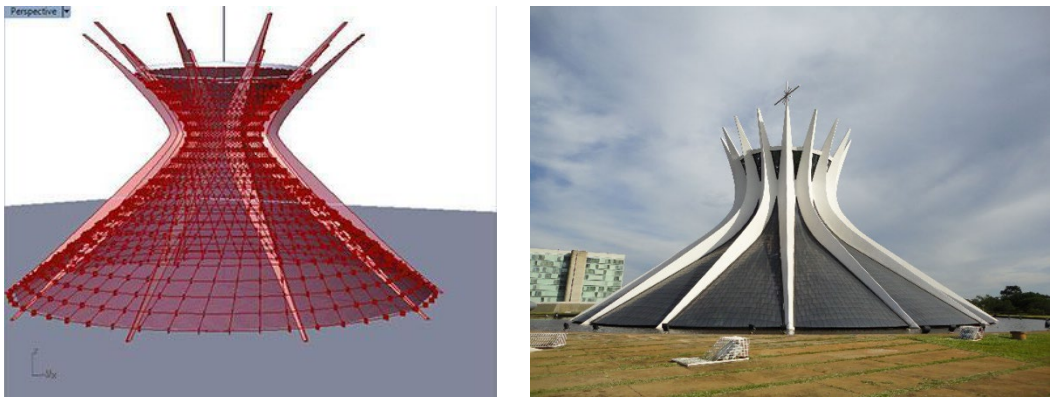


Fig. 1. Generación paramétrica de la Catedral de Brasilia, Oscar Niemeyer, 1958-70

El ejemplo de la figura 2, aborda la generación geométrica principal consistente en un hiperboloide. En un único ejercicio podemos hablar al mismo tiempo de matemáticas, tipologías estructurales e incluso historia de la arquitectura y el urbanismo.

2. Objetivos

El sistema educativo inserta el PC como elemento indispensable en una nueva manera de adquirir conocimiento potenciando no tanto la memorización sino la intuición y aplicación práctica. El alumnado es el protagonista, diseñando y creando elementos perfectamente funcionales, dándose por tanto una situación real de aprendizaje.

Este estudio trata de contemplar la posibilidad de implementar e integrar el PC en contenidos vinculados al arte o *Arts*, por lo que se extiende el concepto STEM a STEAM¹. Es por ello por lo que podría incorporarse en materias de educación secundaria como plástica, dibujo, música e incluso historia del arte.

Comparar la manera de afrontar el PC en un estudiantado preuniversitario homogéneo con conocimientos científicos frente a un alumnado de grado universitario de procedencia diversa, indaga en ampliar y consolidar un nivel base de conocimientos adquiridos a la hora de trabajar estos conceptos en grados universitarios que no necesariamente incorporen solo a estudiantes de áreas técnicas o científicas.

La idea de limitar el PC en una asignatura optativa o únicamente vinculada a las materias STEM en educación preuniversitaria puede conllevar que, el estudiantado que no curse estas asignaturas desconozca las aplicaciones del PC en otras disciplinas o prácticas de manera tardía hasta la etapa universitaria; en concreto en estudios de grado y posgrado de diseño y arquitectura.

3. Desarrollo de la innovación

Como sistema que pueda validar o no la hipótesis planteada, se han llevado a cabo una serie de sesiones de introducción al diseño computacional de carácter práctico para posteriormente recopilar información cualitativa del interés del alumnado y el bagaje curricular. Esto permite evaluar la conveniencia de la aplicación del PC en esta área mediante una encuesta a dos grupos con un contexto geográfico común; uno del ámbito universitario en grado de diseño, según figura en la tabla 2, con un perfil más heterogéneo pero

¹ STEAM es el acrónimo en inglés de *Science, Technology, Arts, Maths*, traducido como Ciencia, Tecnología, Artes y Matemáticas.

mayor base en el uso de software de diseño asistido por ordenador. Por otro, según tabla 3, alumnado preuniversitario de bachillerato con cierto conocimiento de programación textual y visual.

Tabla 2. Materias analizadas en educación universitaria. Universidad Politécnica de Valencia. E.T.S. Arquitectura

Materia	Medios Audiovisuales
Grado	Diseño Arquitectónico de Interiores
Curso	2º
Número de participantes	79

Tabla 3. Materias analizadas en educación preuniversitaria. Colegio El Pilar, Valencia. Curso 2022-23

Materia	Programación y Redes	TIC II
Ciclo	Bachillerato	Bachillerato
Curso	1º	2º
Número de participantes	20	16

En cuanto al alumnado preuniversitario, se ha estimado oportuno que el objetivo del estudio fueran los alumnos de bachillerato, ya que en 4º de la ESO este alumnado aún no había trabajado con vectores, sin duda un concepto fundamental que se aplica en el software para realizar traslaciones, rotaciones o extrusiones. En bachillerato, el centro educativo cuenta con dos modalidades, Ciencias y Humanidades y ciencias sociales, optando por aplicar el estudio en la primera, ya que es el camino más lógico de acceso a estudios universitarios ligados con la arquitectura, ingeniería y diseño. Además, estos alumnos ya cuentan con unos ordenadores propios que suelen tener más capacidad y potencia que los asignados en la ESO.

Existen pocos estudios enfocados a estudiantes, siendo la mayoría en el nivel universitario con test de evaluación sobre conocimientos y competencias clave. (Román-Gonzalez et al., 2015). Es por tanto una primera toma de contacto de carácter perceptivo sobre la autoconfianza y valoración que hace un alumnado en etapas formativas claramente diferenciadas sobre el PC aplicado al diseño en base a ejercicios cortos comunes para sendos grupos.

Respecto a la elección del software aplicado a la investigación, según la página web del desarrollador, GRASSHOPPER es un editor gráfico de algoritmos integrado en un software de diseño 3d asistido por ordenador (*CAD* en inglés) denominado RHINOCEROS. A diferencia de RHINOSCRIPT, RHINO.PYTHON u otros lenguajes de programación, GRASSHOPPER no requiere conocimientos de programación ni *scripting*, pero permite a desarrolladores y diseñadores crear algoritmos generativos sin tener que escribir código (Robert McNeel & Associates, s.f.). Esta app utiliza una serie de componentes matemáticos, geométricos y visuales que se pueden conectar para ir generando aquello que el usuario necesite, según figura 3.

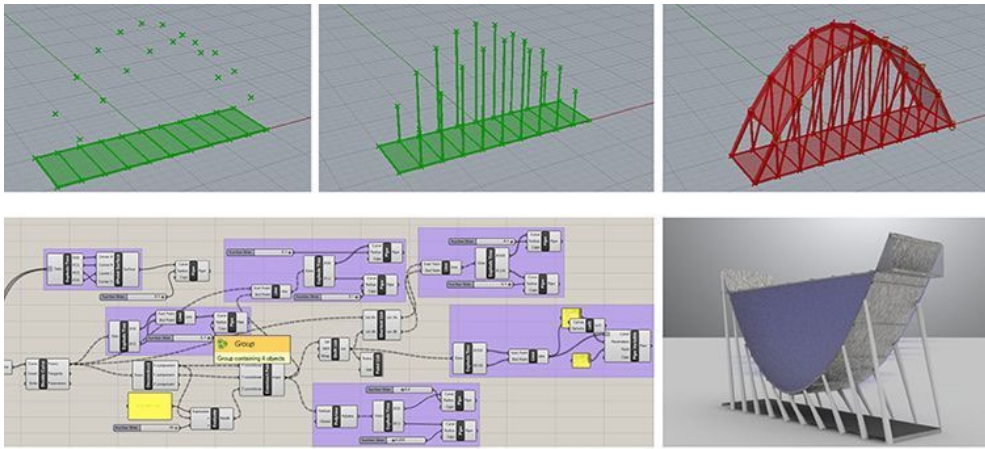


Fig. 2. Generación de programación visual con GRASSHOPPER

Nota. En este ejemplo se han empleado ecuaciones cuadráticas para obtener arcos parabólicos.

Finalmente, se ha optado por un método de índole cualitativa en cuanto a estudio fenomenológico basado en la experiencia, pero que también implica necesariamente un proceso de investigación-acción. Esto es, a través de sesiones relativas al tema de estudio resumidas en la tabla 4, se puede observar el comportamiento del alumnado, dudas, fortalezas y debilidades, estableciendo un análisis comparativo entre el estudiantado universitario y el de bachillerato. Posteriormente se realiza una encuesta anónima individual para detectar niveles de dificultad, experiencia o formación previa en áreas relacionadas del mismo, según tabla 5.

Tabla 4. Cuadro resumen de las sesiones llevadas a cabo para la investigación

Sesiones	Contenido	Tipo de sesión / Metodología
Sesión 1	Introducción al diseño computacional y el software.	Expositiva / Teórico-práctica
Sesión 2	Ejercicios básicos generales para afianzarse con el software y su lógica Creación de patrones geométricos irregulares Voronoi.	Práctica
Sesión 3	Ejercicio de diseño paramétrico usando polígonos regulares.	<i>Learning by doing</i>
Sesión 4	Diseño generativo de familias. Introducción a listas de datos. Aleatoriedad	Teórico-práctica

Tabla 5. Instrumento de evaluación del estudio

Instrumento de Evaluación	Prueba específica
Objeto	Recabar información sobre conocimientos básicos previos, nivel perceptivo, de interés del uso del diseño computacional y sobre las sesiones en particular.
Valoración	Cualitativa
Herramienta digital	GoogleForms. Cuestionario anónimo con combinación de preguntas cerradas y/o usando la escala Likert para su procesamiento posterior estadístico.
Duración aproximada	10 minutos
Longitud	14 ítems

4. Resultados

Los resultados obtenidos permiten extraer conclusiones y confirmar la hipótesis planteada, en las que también se apoya una fase observacional in situ y experiencial del autor.

Por un lado, ambas muestras tienen puntos de partida comunes, ya que el alumnado de bachillerato era de la modalidad de ciencia y el alumnado universitario en casi un 60% también provenía de esta especialidad, según figura 4. Además, en los dos grupos estudiados, la gran mayoría de alumnos tienen miembros del núcleo familiar con estudios universitarios.

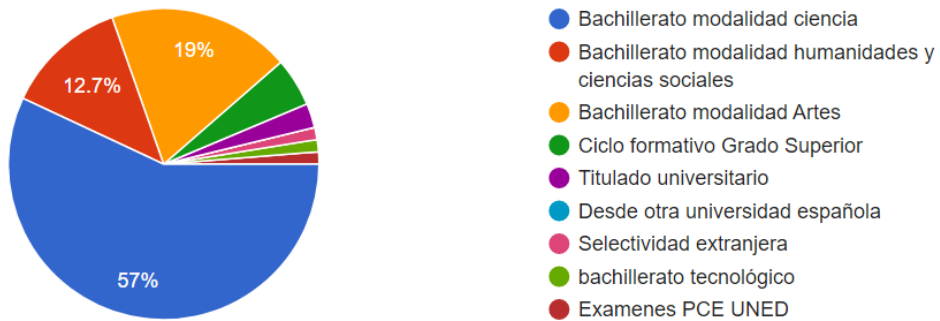


Fig. 3. Accesos al grado de los participantes en el cuestionario

Destaca que una cuarta parte del alumnado universitario tiene su primer ordenador en la universidad. De hecho, este factor podría repercutir en que los alumnos de bachillerato estén ya familiarizados con la programación visual y de código. Por tanto, resulta coherente que exista un porcentaje mayor de respuestas positivas concernientes a las preguntas vinculadas con conocimientos informáticos y de programación respecto a los alumnos del grado de diseño.

En concreto, acerca del dominio de software CAD, tiene sentido que se equilibren los resultados de sendas muestras. Por un lado, el 43% de los estudiantes de bachillerato consideran que controlan este tipo de software, puesto que han trabajado en la ESO con aplicaciones tipo SKETCHUP. El porcentaje es similar entre los universitarios, quienes han recibido formación básica de AUTOCAD en el primer curso de la carrera.

Como era de esperar, el pensamiento computacional aún no está ampliamente extendido en el ámbito educativo a todos los niveles, desconociendo incluso dicho término. Apenas el 17% de los encuestados de grado universitario responden afirmativamente, frente al 11% en bachillerato. Sin duda un dato relevante que pone de manifiesto la necesidad de inculcar estos conocimientos desde etapas incluso anteriores a las reflejadas en el presente trabajo; máxime cuando toda la muestra valora positivamente la aplicación que puede derivar en entornos profesionales.

Por otro lado, conceptos como diseño computacional, generativo o paramétrico, así como el uso del software GRASSHOPPER tan específico, son ajenos al 90% de la totalidad de los encuestados ya que es una herramienta todavía muy circunscrita a campos del diseño y la arquitectura avanzada.

Puesto que, en bachillerato, tanto a nivel de colegio como familiar, se facilita al alumnado el acceso a ordenadores portátiles desde los últimos cursos de primaria y primeros de la ESO, se reafirma la confianza respecto a cuestiones relativas al nivel de soltura en entornos informáticos. De hecho, aproximadamente el 85% de ambos grupos consideran que su nivel de dominio de la informática es regular o bueno. De igual manera, esta confianza aparece más difuminada en su valoración personal acerca del mundo matemático y geométrico, ligeramente más alto en bachillerato con el 70% en la escala 3 y 4 sobre 5 de valoración positiva de la escala Likert, dado que están estudiando en la modalidad de ciencias. Ante la misma cuestión, que se vislumbra en la figura 5 y figura 6, las respuestas de los estudiantes universitarios son menos concluyentes, pues no es menos cierto que un porcentaje alto, cercano al 40%, provienen de estudios donde estos contenidos no se imparten o solo de manera superficial.

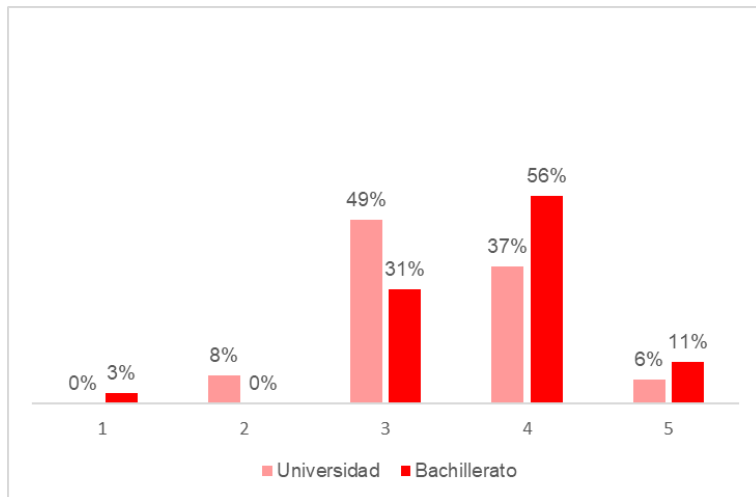


Fig. 4. Nivel de dominio de ordenadores e informática

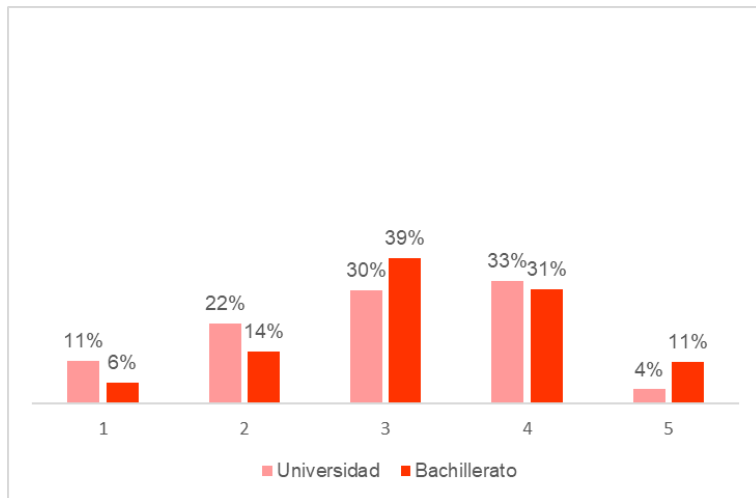


Fig. 6. Nivel de valoración de conocimientos matemáticos y geométricos

En relación con las sesiones aplicadas a este estudio, sorprende positivamente la buena valoración de estas en el alumnado de bachillerato, en tanto la metodología aplicada como el número de sesiones adecuadas para los objetivos planteados, esto es, un primer acercamiento al PC aplicado al diseño con un software específico. Se aprecia en la figura 7 y figura 8, un rango entre el 80 y 100% entre los niveles 3, regular, y 5, excelente, de la escala Likert. Por el contrario, los resultados obtenidos en el grado universitario son francamente negativos y a considerar como área de mejora, con prácticamente la mitad de la muestra valorándolo como deficiente o malo. Pudiera atribuirse al espíritu más crítico de este grupo en particular y la universidad en general, junto a que es una herramienta donde parte de los encuestados no han trabajado previamente con ningún tipo de programación, encontrando así dificultades mayores en su aprendizaje.

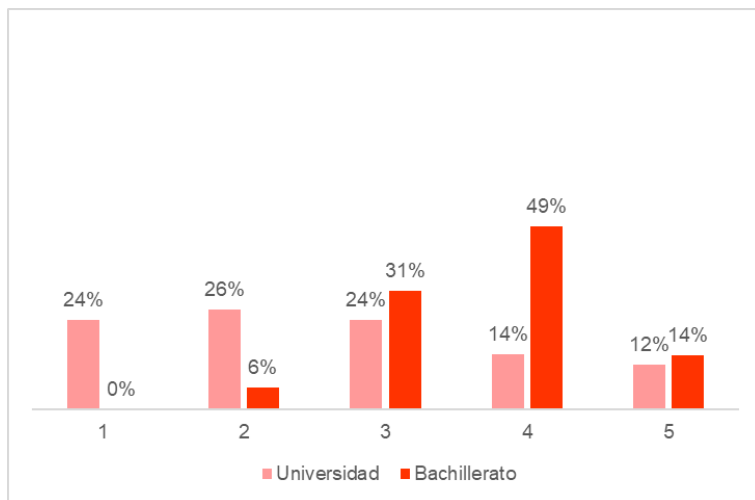


Fig. 5. Número de sesiones para comprender de manera general las características del software GRASSHOPPER

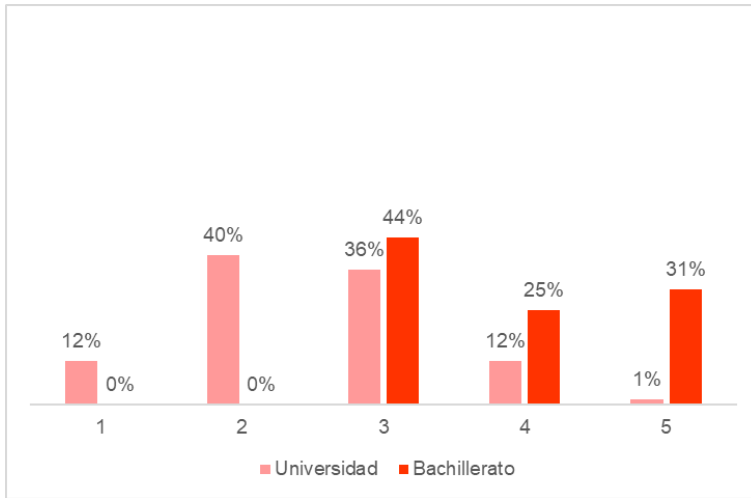


Fig 6. Adecuación de las metodologías docentes de las sesiones

Tampoco son concluyentes los resultados sobre el nivel de comprensión del software en el grado de diseño, con disparidad de porcentajes, aunque con una tendencia similar en ambos grupos, donde se observa que el 60% considera malo o regular su conocimiento y control de GRASSHOPPER. Es cierto que, de carácter general y en base a experiencias previas en otras formaciones de nivel equivalente, serían necesarias al menos el doble de sesiones para llegar a un nivel donde un usuario puede alcanzar cierta seguridad y trabajar de manera autónoma en ejercicios de dificultad baja o media.

5. Conclusiones

El desarrollo de la innovación y resultados analizados demuestran que los conocimientos que ya tiene el grupo de alumnos de bachillerato analizado respecto a programación, nivel de informática y tecnología, representan una ventaja para afrontar contenidos relacionados con el pensamiento computacional en niveles educativos superiores.

Los estudiantes universitarios, un grupo más heterogéneo por los factores anteriormente indicados, parten de realidades y contextos distintos que dificultan la interiorización de estas herramientas que tienen como base el PC.

De cara a una correcta implementación de aplicaciones informáticas ligadas al diseño computacional, se hace necesario que, al menos los alumnos que opten a un grado en diseño, arquitectura o áreas afines, hayan adquirido nociones básicas de programación visual y/o textual en la educación preuniversitaria.

Por tanto, implantar el PC en áreas STEAM de bachillerato en la modalidad de artes, supondría incrementar un 20% de alumnado con estos conocimientos en el grado universitario de diseño arquitectónico de interiores, regresando a la Figura 4. Es decir, con sólo incluir estos conceptos en la modalidad de bachillerato de Humanidades y ciencias sociales, significaría cubrir el 90% del alumnado que accede al grado analizado con unas condiciones de partida similares. Esto evitaría desequilibrios a la hora de abordar el PC con criterios y contenidos más específicos de grado, mejorando el aprendizaje desde una base sólida ya adquirida y con un mayor nivel de confianza.

Referencias

- Adell, J. S., Llopis, M. A., Esteve, M. F., & Valdeolivas, N. M. (2019). El debate sobre el pensamiento computacional en educación. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 22(1), pp. 171-186. <https://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/22303>
- Aho, A. (2012). Computation and Computational Thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832–835. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxs074>
- Bocconi, S., Chiocariello, A., Kampylis, P., Dagienė, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., & Stupurienė, G. (2022). *Reviewing Computational Thinking in Compulsory Education*. Sevilla: (No. JRC128347) Joint Research Centre.
- Cambridge Dictionary. (s.f.). Retrieved 30 de Diciembre de 2022, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/algorithm>
- Denning, P. J., & Tedre, M. (2019). *Computational thinking*. Mit Press.
- Diccionario de la lengua española. (s.f.). *Diccionario de la lengua española*. Retrieved diciembre de 2022, from dle.rae: <https://dle.rae.es/algorithm?m=form>
- Fry, H. (2018). *Hello World: How to be Human in the Age of the Machine*. Random House.
- INTEF. (2017). *Una breve historia de las TIC Educativas en España*. INTEF. https://intef.es/wp-content/uploads/2017/05/Breve_historia_TIC_Educativas_Espana.pdf
- Lee, I. M., F., D. J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., & Malyn-Smith, J. (2011). Computational thinking for youth in practice. *ACM Inroads*, 2(1), 32-37. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1929887.1929902>
- Marañón Marañón, Ó., & González García, H. (2021). Una revisión narrativa sobre el pensamiento computacional en Educación Secundaria Obligatoria. *Contextos educativos: revista de educación*.
- Ministerio de Educación y FP. (s.f.). *Escuela de Pensamiento computacional e Inteligencia Artificial*. INTEF: <https://intef.es/tecnologia-educativa/pensamiento-computacional/>
- Padrón Polanco, N., Ferrer Planchart, S., & Fernández Reina, M. (2021). Revista Iberoamericana de Educación a Distancia. *Aproximación a una definición de pensamiento computacional.*, 24(1), pp. 55-76.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Reino Unido: Harvester Press.
- Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato.
- Robert McNeel & Associates. (s.f.). Rhino: <https://www.rhino3d.com/es/features/#grasshopper>
- Román-Gonzalez, M., Pérez-González, J. C., & Jiménez-Fernández, C. (2015). Test de Pensamiento Computacional: diseño y psicometría general. (pp. 1-6). III congreso internacional sobre aprendizaje, innovación y competitividad (CINAIC 2015).