UTILIZACIÓN DE RECURSOS VIRTUALES PARA EL DESARROLLO DE LA VISIÓN ESPACIAL EN ESTUDIANTES DE BACHILLERATO

USE OF VIRTUAL RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF SPATIAL VISION IN HIGH SCHOOL STUDENTS

Diego Vergara-Rodríguez
Technology, Instruction and Design in Engineering an
Education Research Group, TiDEE.rg
Catholic University of Ávila, UCAV
Ávila, Spain
diego.vergara@ucvaila.es

Pablo Fernández-Arias
Technology, Instruction and Design in Engineering and
Education Research Group, TiDEE.rg
Catholic University of Ávila, UCAV
Ávila, Spain
pablo.fernandezarias@ucavila.es

María Sánchez-Jiménez
Technology, Instruction and Design in Engineering an
Education Research Group, TiDEE.rg
Catholic University of Ávila, UCAV
Ávila, Spain
maria.sanchezjimenez@ucavila.es

Resumo. El uso de las nuevas tecnologías puede favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este sentido, este trabajo analiza si pueden reducir los problemas de visión espacial que presentan algunos conceptos teóricos y que son difíciles de adquirir para algunos estudiantes en la etapa preuniversitaria. Para lograr este objetivo, se han desarrollado dos metodologías de forma paralela en Bachillerato, donde se estudian las redes cristalinas o redes de Bravais. En la primera experiencia se han utilizado maquetas tridimensionales de las redes además del software de diseño SolidWorks®. En la segunda, se ha aplicado una plataforma interactiva basada en realidad virtual no inmersiva (RVNI). Una vez desarrolladas las dos experiencias, los estudiantes han respondido a un cuestionario cuantitativo, con el que se han obtenido diferentes resultados sobre la percepción de las herramientas. Además, los resultados sugieren que facilitan la compresión de conceptos en 3D, favoreciendo la eficacia del proceso enseñanza-aprendizaje.

Palavras-chave: Tecnología; visión espacial; metodologías; redes cristalinas; SolidWorks®; realidad virtual; entorno virtual de aprendizaje.

Abstract. The use of new technologies can favor the teaching-learning process. This way, this work analyzes if they can reduce the problems of spatial vision that some theoretical concepts present and that are difficult to acquire for some students in the pre-university stage. To achieve this objective, two methodologies have been developed in parallel in Baccalaureate, where crystal networks or Bravais networks are studied. In the first experience, three-dimensional models of the networks have been used in addition to the SolidWorks® design software. In the second, an interactive platform based on non-immersive virtual reality (RVNI) has been applied. Once the two experiences have been developed, the students have answered a quantitative questionnaire, with which different results have been obtained on the perception of the tools. In addition, the results suggest that they facilitate the understanding of 3D concepts, favoring the effectiveness of the teaching-learning process.

Keywords: Technology; space vision; methodologies; crystal lattices; SolidWorks®; virtual reality; virtual learning environment.

INTRODUCCIÓN

La visualización de elementos tridimensionales puede causar problemas de comprensión debido a la falta de información que llega al cerebro por el hecho de poseer una mala capacidad de imaginar mentalmente piezas en 3D. Este problema puede suponer un gran obstáculo para algunos estudiantes dentro de numerosas materias como Tecnología, Física, Dibujo Técnico o

Matemáticas, donde la visión espacial es fundamental (Vergara & Rubio, 2013). La falta de esta visión está relacionada con la inteligencia espacial de las personas, siendo detectada inicialmente en la etapa de Educación Secundaria al empezarse a estudiar conceptos 3D que pueden no comprenderse correctamente debido a la falta de habilidades espaciales. Este tipo de problema es debido a que las técnicas clásicas de enseñanza respecto a asignaturas con necesidades de visión espacial suelen ser pasivas, donde los discentes observan y escuchan las explicaciones del profesor limitando la interacción real con los elementos tridimensionales.

En este sentido, los estudiantes no participan en ejercicios como la rotación de los elementos, su visualización desde diferentes puntos de vista, etc. (Tristancho, Contreras & Vargas, 2014). En consecuencia, esta falta de habilidad espacial se debe solucionar con una formación sólida y perfectamente planteada en los cursos de Educación Secundaria y Bachillerato (Del Cerro & Lozano, 2019). Es a partir de esta etapa educativa donde es posible estimular y aumentar las habilidades que potencian este tipo de inteligencia espacial y la capacidad de visualizar y representar gráficamente las ideas para la mejora del desempeño académico futuro (Arguello, 2013), ya que esta falta de inteligencia espacial puede causar frustraciones en los estudiantes y falta de interés (Campos, Ramos & Moreno, 2020).

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) están cada vez más presentes en los sistemas educativos, facilitando el desarrollo de un proceso de enseñanza-aprendizaje interactivo y colaborativo, en el cual se fomenta la generación de conocimiento a través de distintos mecanismos. Estas nuevas tecnologías crean entornos de aprendizaje más amigables, atractivos e interactivos para las nuevas generaciones. La incorporación de herramientas que facilitan nuevas metodologías pretende provocar impactos positivos en la capacidad de innovación y el rediseño de los procesos didácticos en las aulas (Alvarado, 2009).

Estas herramientas implican aportes positivos a la educación en general y al desarrollo de la motivación y la capacidad creativa de los estudiantes, creando nuevas capacidades para un nuevo desenvolvimiento dentro de una sociedad cambiante (Delgado, Arrieta & Riveros, 2009) y proporcionando nuevas formas y métodos para el desarrollo de competencias de los estudiantes (Licona & Veytia, 2019). Aunque los libros de texto representan un papel dominante en el proceso de enseñanza, las TIC actúan como facilitadoras de la docencia tanto en métodos de enseñanza como en aprendizaje, lo que invita a la inclusión de estas tecnologías en las aulas (Cerro & Morales, 2017). Estas nuevas herramientas representan para la educación actual una alternativa de desarrollo del conocimiento, a la vez que introducen nuevas estrategias de aprendizaje tanto para estudiantes como para los docentes. Del mismo modo, estas herramientas permitirían a la sociedad experimentar grandes trasformaciones en el futuro (Venegas-Ramos, Martínez & Santana, 2020).

La incorporación de nuevos métodos docentes en las aulas promueve el uso de prácticas educativas innovadoras, que conllevarán el aumento de la participación, del interés y de la motivación de los estudiantes (Area, Hernández & Sosa, 2016). Uno de los recursos tecnológicos innovadores que sobresale de estas tecnologías es la Realidad Virtual (RV), que potencia la competencia digital, el trabajo colaborativo y la experimentación (Moreno et al., 2020). Su uso está creciendo notablemente para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en una amplia gama de actividades formativas, tanto de tipo académico como profesional (Vergara et al., 2020; Vergara et al., 2022). Además, la RV facilita el aprendizaje constructivista, provee formas alternativas de aprendizaje y posibilita la colaboración entre los estudiantes más allá del espacio físico (Otero & Flores, 2011), aumentando además el interés y la motivación por parte de los estudiantes y el desarrollo de su competencia digital (Cuesta & Mañas, 2016; Vergara, Rubio & Lorenzo, 2018). Por otro lado, las TIC son un apoyo al aprendizaje colaborativo debido a la mejora del rendimiento académico en los estudiantes y del incremento de la motivación en estos (Quispe, Campos & Mantari, 2021; Vergara, 2019).

El objetivo de la presente investigación es desarrollar una comparativa de dos tipos de herramientas innovadoras para explicar el mismo concepto: las redes cristalográficas, que son catorce redes cristalinas que se repiten de forma periódica a lo largo del espacio tridimensional de

forma ordenada y se apilan conservando o no determinados elementos de simetría (Pina, 2014), lo que resulta complicado de entender por algunos estudiantes con menos habilidades espaciales. Estas estructuras forman los materiales metálicos y son la base de algunos materiales cerámicos (Ashby & Jones, 2013). Por lo tanto, la visualización en 3D de estos conceptos y de sus características más importantes resulta imprescindible para poder comprenderlos en totalidad. Este estudio está dirigido a alumnos de 2º de Bachillerato (últimos estudios de la etapa preuniversitaria), con una edad comprendida entre 16 y 18 años.

MÉTODO

Marco Metodológico

Esta investigación se ha llevado a cabo con estudiantes de 2º de Bachillerato en la asignatura de Tecnología Industrial II, donde se empiezan a estudiar las redes cristalográficas y sus características más importantes. Es de gran interés el hecho de poder interactuar con ellas tridimensionalmente para poder comprender sus características más importantes. Por ello, la experiencia educativa se ha llevado a cabo desarrollando dos metodologías didácticas en paralelo (Figura 1), basadas en el uso de recursos digitales que ayudan al estudiante a visualizar espacialmente estos conceptos.

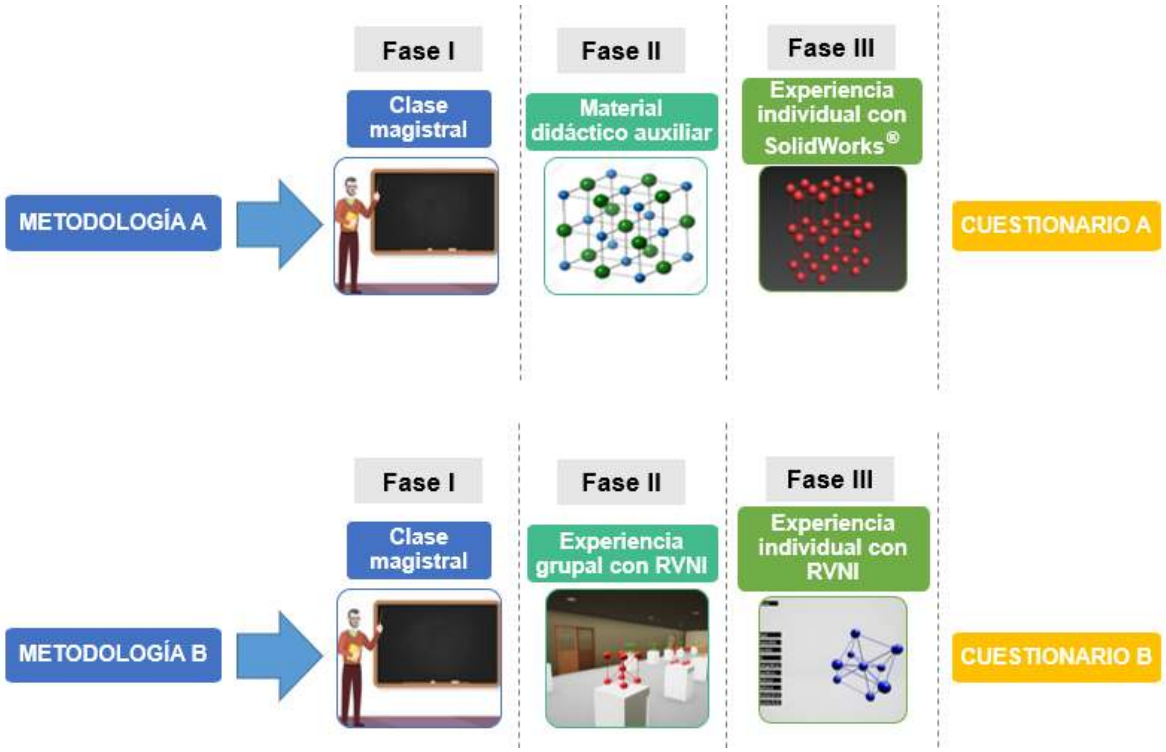


Figura 1. Marco metodológico. Fuente: Elaboración propia.

La primera metodología (denominada Metodología A) fue desarrollada por un grupo de 18 estudiantes de esta asignatura, combinando distintos recursos didácticos, en tres Fases progresivas (Figura 1): (i) Fase I, que sigue la metodología tradicional basada en la clase magistral; (ii) Fase II, que utiliza material didáctico auxiliar: maquetas físicas tradicionalmente usadas en el propio centro; y (iii) Fase III, que incluye una aplicación TIC: aplicación del software de diseño 3D SolidWorks® (Figura 1), en el cual se representan las figuras de forma tridimensional.

La segunda metodología (denominada Metodología B) ha sido desarrollada por un grupo de 10 estudiantes, aplicando en el aula una plataforma virtual interactiva (PVI) basada en realidad virtual no inmersiva (RVNI). Para llevar a cabo este proceso se han seguido tres etapas (Figura 1): (i) Fase I, que sigue la metodología de una clase magistral: el docente enseña los conceptos teóricos

más importantes de las redes; (ii) Fase II, donde comienza la primera experiencia con RV: el docente muestra y explica el uso de la plataforma a los estudiantes; y (iii) Fase III, primer uso de la plataforma por los estudiantes: cada uno de ellos maneja la plataforma durante unos minutos, visualiza las redes y sus características.

SolidWorks® es un software de *diseño asistido por ordenador* (Figura 2), denominado software CAD, del inglés computer aided design. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos toda la información necesaria –como por ejemplo los planos o la información técnica– para su posterior fabricación. Además, facilita la visualización a aquellos usuarios que no han desarrollado la destreza de imaginar espacialmente ciertos elementos (La Cruz & Casariego, 2007; Santana, Hernández & Gómez, 2003).

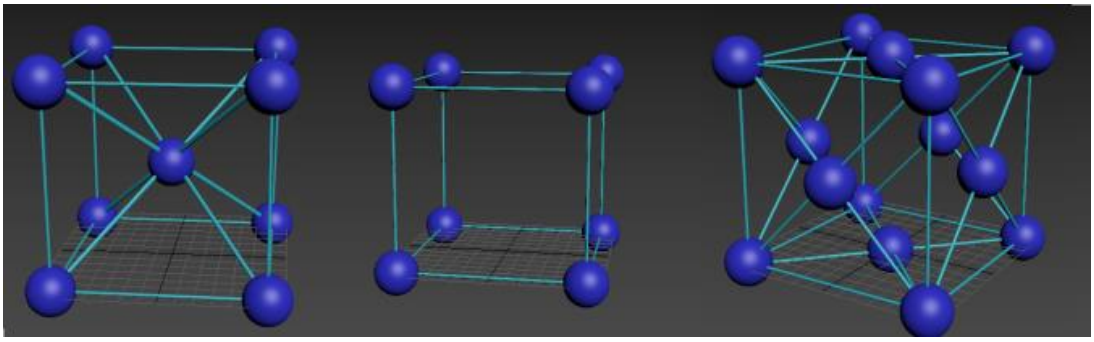
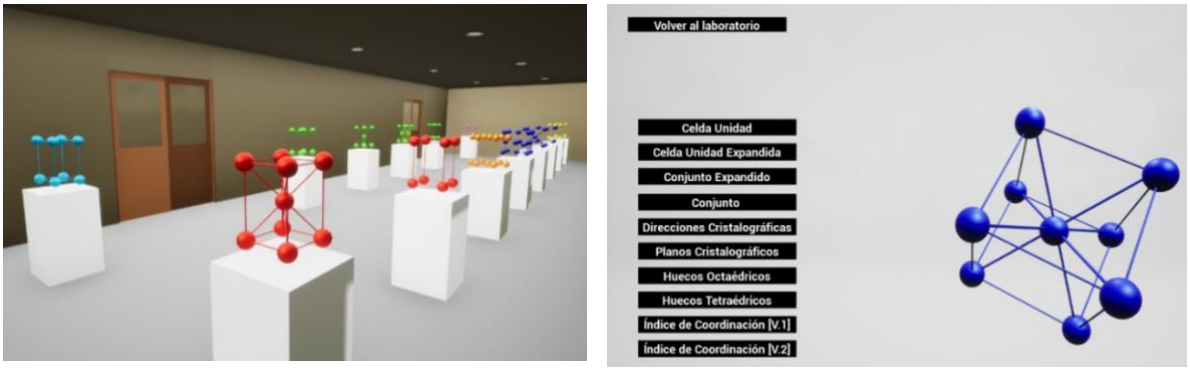


Figura 2. Visualización e interacción con las diferentes redes cristalográficas a través de SolidWorks®. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la PVI, ya presentada previamente en un artículo científico (Extremera et al., 2020), permite a los estudiantes interactuar 360º con las redes cristalográficas, explorando sus características más importantes y visualizando todas las perspectivas posibles (Figura 3). La tecnología RVNI ofrece un nuevo mundo a través de la ventana del escritorio del ordenador, de forma más barata y con una mayor facilidad y rapidez de aceptación por los estudiantes (Adriana, Rincón & Johanna, 2009).

Estas tecnologías pueden ayudar a los estudiantes a comprender la distribución espacial atómica y pueden resolver el problema educativo habitual de visualización en dos y tres dimensiones (Extremera et al., 2020). Este hecho ha quedado evidenciado en diferentes experiencias educativas llevadas a cabo por los autores (Vergara et al., 2020), lo que valida la eficacia de esta plataforma para usarla como recurso docente en el nivel educativo considerado en este trabajo de investigación.



(a) (b)

Figura 3. Redes cristalográficas en la PVI: (a) vista general; (b) aplicación didáctica. Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo metodológico

En la Metodología A, la clase magistral (Metodología A, Fase I, Figura 1) se realizó de forma tradicional, es decir los estudiantes eran receptores de la información impartida por el profesor. Los conceptos a estudiar, por lo tanto, se han visualizado en 2D en el libro de texto o en las explicaciones que el docente ha hecho en la pizarra. Los estudiantes con mayor capacidad de visión espacial fueron los que adquirieron los conocimientos de las estructuras cristalinas y sus principales características. En cambio, los estudiantes que tenían esta habilidad menos desarrollada no fueron capaces de entender las posiciones de los átomos y presentaron dificultades para realizar los cálculos de los parámetros.

Para respaldar la clase teórica e intentar solucionar el problema de los estudiantes con menos capacidad de visión espacial, se llevó a cabo el uso de las maquetas didácticas (Metodología A, Fase II, Figura 1). Estas maquetas presentan la estructura cristalina que forman ciertos minerales como la blenda, la fluorita, pirita, halita (sal común), etc. Es decir, no muestran las principales tipologías de redes cristalinas, sino que dejan ver la ubicación en 3D de los átomos de los distintos minerales ayudando a comprender su ubicación en el espacio.

Una vez que se visualizaron las maquetas, se procedió a la utilización de las TIC (Metodología A, Fase III, Figura 1). Este tipo de herramientas cada vez está más presente en las aulas ya que propicia el desarrollo de las habilidades del estudiante que resultan muy importantes para su formación académica y profesional (Maldonado & Luque, 2018), mejorando un acercamiento entre profesor y alumno, permitiendo la interacción social entre ellos e implementando el aprendizaje colaborativo a la vez que aumenta la motivación y la productividad de los discentes (Astudillo et al., 2018).

El Software utilizado para la realización de las redes en 3D ha sido Solidworks®, creando los cuatro tipos de redes cristalinas más relevantes que son: (i) cúbica simple (CS); (ii) cúbica centrada en el cuerpo, del inglés Body Centered Cubic, denominada por su acrónimo (BCC); (iii) cúbica centrada en las caras, del inglés Fase Centered Cubic (FCC); y (iv) hexagonal compacta, del inglés Hexagonal Close-Packed (HCP). De cada una de estas estructuras se ha realizado tres diseños complementarios para una mejor comprensión espacial de sus características más importantes.

Los estudiantes pueden interactuar con este tipo de redes dentro del programa aplicando las posibilidades que se ofrece: rotar las piezas, cambiar el punto de vista, modificar los colores de cada átomo, realizar secciones, etc. También se puede determinar la celda unidad aislada e incluso realizar secciones para facilitar el cálculo de la constante reticular, definida como la relación entre la longitud de la arista de la celda y el radio de los átomos.

En la Tabla I se puede analizar las distintas partes del Cuestionario A realizado tras la Fase III de la Metodología A (Figura 1). La primera parte de este formulario (pregunta P1-P3) está formado por cuestiones sociodemográficas. La segunda parte (preguntas P4-P8) está centrada en analizar la opinión de los estudiantes respecto a las diferentes metodologías desarrolladas y su comprensión de los conceptos teóricos tras realizar la experiencia. Y, por último, la tercera parte (preguntas P9-P11) está centrada en el conocimiento de la opinión de los estudiantes sobre qué método de los utilizados en la experiencia prefieren para estudiar los conceptos de las redes. En todas las preguntas del cuestionario, los estudiantes deben contestar una única respuesta correcta.

Tabla 1. Cuestionario A entregado a los estudiantes finalizada la Metodología A.

Bloque	Preguntas	Respuestas			
1	P1. ¿Consideras que tienes buena visión espacial?	Sí	No	Regular	
	P2. ¿Cuál fue el último curso donde has dado dibujo técnico?	3º ESO*	4º ESO*	1º Bach.*	2º Bach.*
	P3. ¿Conocías este tipo de redes cristalinas?	Sí	No	Sí, pero no las recordaba	

2	P4. ¿Qué significa que una red sea más compacta que otra?	La celda unidad es más pequeña	Los átomos ocupan más volumen de la celdilla unidad	Los átomos son más grandes
	P5. ¿Qué red de las que hemos visto en clase sería la más compacta?	Cúbica simple	Cúbica centrada en el cuerpo (BCC)	Cúbica centrada en las caras (FCC)
	P6. ¿Qué factor de empaquetamiento tiene una red compacta?	0,52	0,68	0,74
	P7. ¿Has entendido las redes y conceptos asociados?	Sí	No	No del todo
	P8. ¿Qué red te ha resultado más difícil?	Cúbica centrada en el cuerpo (BCC)	Cúbica centrada en las caras (FCC)	Hexagonal compacta (HCP)
3	P9. ¿Crees que hubieras entendido esta red únicamente con la información del libro de texto?	Sí	No	
	P10. ¿Con qué método has entendido mejor las diferentes estructuras?	Libro de texto	Maqueta real	Diseño 3D
	P11. ¿Cuál te motiva más en tu aprendizaje?	Libro de texto	Maqueta real	Diseño 3D

*: 3º y 4º ESO: Entre 14 y 15 años. 1º y 2º Bachillerato: Entre los 16 y 18 años.
Fuente: Elaboración propia.

En la Metodología B (Figura 1), los conceptos relacionados sobre el conjunto de las catorce redes de Bravais y sus propiedades más importantes se han impartido en la clase magistral (Metodología B, Fase I, Figura 1), como, por ejemplo, el tipo de celda, las direcciones cristalográficas, los planos cristalográficos, los índices de coordinación, la celda expandida, huecos octaédricos y tetraédricos, secciones, etc. Todos estos conceptos han sido estudiados con anterioridad por los alumnos, de manera que ya conocen su importancia en la asignatura y su gran dificultad de asimilación por la capacidad de visión espacial que requieren.

Una vez vistos los conceptos teóricos, el docente muestra el aspecto del software que ayudará a mejorar la visualización de las estructuras y su funcionamiento mediante un proyector y explica su actividad mediante el ratón y el teclado del ordenador (Metodología B, Fase II, Figura 1). La plataforma muestra todas las redes cristalográficas en general, y, a su vez muestra sus características una por una (Figura 3). A continuación, en la Fase III de esta metodología (Metodología B, Fase III, Figura 1), los estudiantes han interactuado con la herramienta, pudiendo girar las redes 360º y explorando sus características más importantes, visualizando todas las perspectivas posibles. Tras finalizar la experiencia, los estudiantes contestaron al Cuestionario B (Tabla 2).

Tabla 2. Cuestionario B entregado a los estudiantes finalizada la Metodología B.

Bloque	Preguntas	Respuestas			
1	P12. Dificultad para visualizar objetos en 3D	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P13. Grado de comprensión de las instrucciones de	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a

	funcionamiento de la PVI				
	P14. Facilidad de uso de la PVI	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P15. Facilidad de comprensión de las diferentes redes cristalográficas	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P16. Cuantificación de los problemas encontrados al utilizar la PVI	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P17. Grado de motivación de los estudiantes al usar la herramienta	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P18. Grado de utilidad de la interfaz gráfica de la PVI	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
2	P19. Dificultad para comprender las diferentes estructuras cristalinas antes de utilizar la PVI	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P20. Grado de comprensión de las redes cristalinas	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P21. Propiedades de las redes cristalinas	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P22. Planos cristalográficos, direcciones cristalográficas e índice de coordinación	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
	P23. Visión espacial	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a
3	P24. ¿Ha usado PVI de este tipo anteriormente?		Sí		No
	P25. ¿Consideras alguna mejora a la PVI?		Sí		No
	P26. ¿Esta PVI es aplicable a otras materias?		Sí		No
4	P27. ¿Es la PVI eficaz como herramienta de enseñanza?	1-Nada	2-Poco(s)/a	3-Bastante	4-Mucho(s)/a

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se muestran las preguntas que se han realizado tras el desarrollo de la Fase III de la Metodología B (Figura 1), que siguen una escala Likert en la que los estudiantes tenían que contestar respecto al nivel de acuerdo o desacuerdo sobre las preguntas realizadas. El primer bloque de preguntas (preguntas P12-P28) se ha realizado para conocer la experiencia del usuario con cuestiones relacionadas con aspectos que influyen en la interacción del usuario con la PVI. En el segundo bloque (preguntas P19-P23) se quiere conocer el conocimiento de los estudiantes respecto a los conceptos específicos de las redes cristalinas con preguntas enfocadas a comprobar

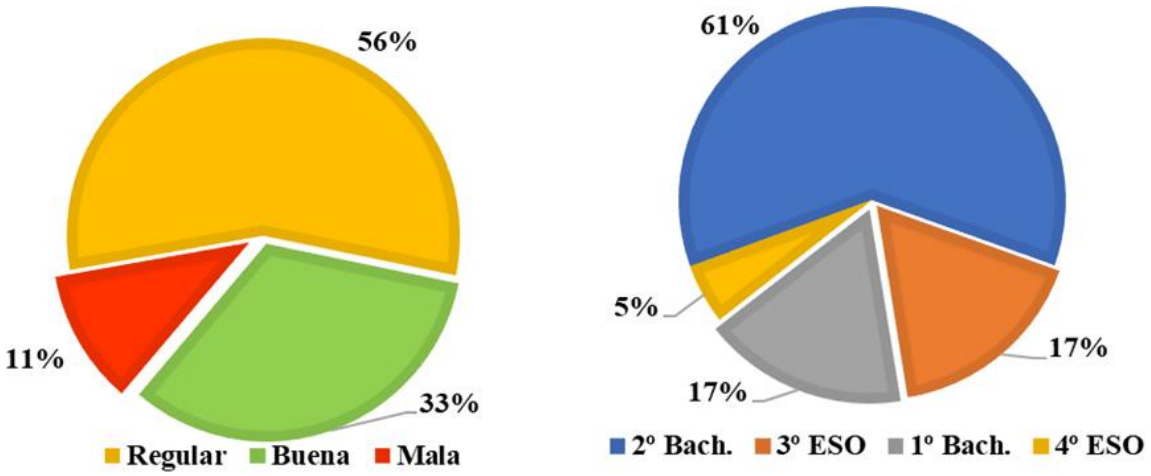
el grado de conocimiento y entendimiento sobre los conceptos específicos de las estructuras cristalinas.

El tercer bloque (preguntas P24-P26) posee cuestiones relacionadas con las posibles mejoras de la PVI con preguntas para obtener información sobre qué aspectos creen los estudiantes que podría mejorar el programa en futuras actualizaciones. Y, por último, en el cuarto bloque (pregunta P27) se evalúa de forma global la plataforma como herramienta didáctica. Como conclusión, estas preguntas obtienen información sobre aspectos técnicos relevantes a la hora de analizar aplicaciones en entornos RV: (i) visualización; (ii) usabilidad; (iii) motivación; y (iv) utilidad.

RESULTADOS

Esta sección muestra los resultados de los dos cuestionarios realizados en las metodologías explicadas anteriormente. Para evaluar la Metodología A se entregó a los estudiantes el Cuestionario A (Tabla 1), enviado vía telemática a cada uno de los estudiantes mediante la aplicación de Google Forms®. Se consideró esta opción frente a la de un cuestionario convencional debido a varias razones: (i) potenciar el uso de las TIC en el aula, (ii) buena oportunidad para conocer esta herramienta innovadora y gratuita que permite realizar cuestionarios y formularios, y (iii) anonimato para que los estudiantes contestaran con total sinceridad.

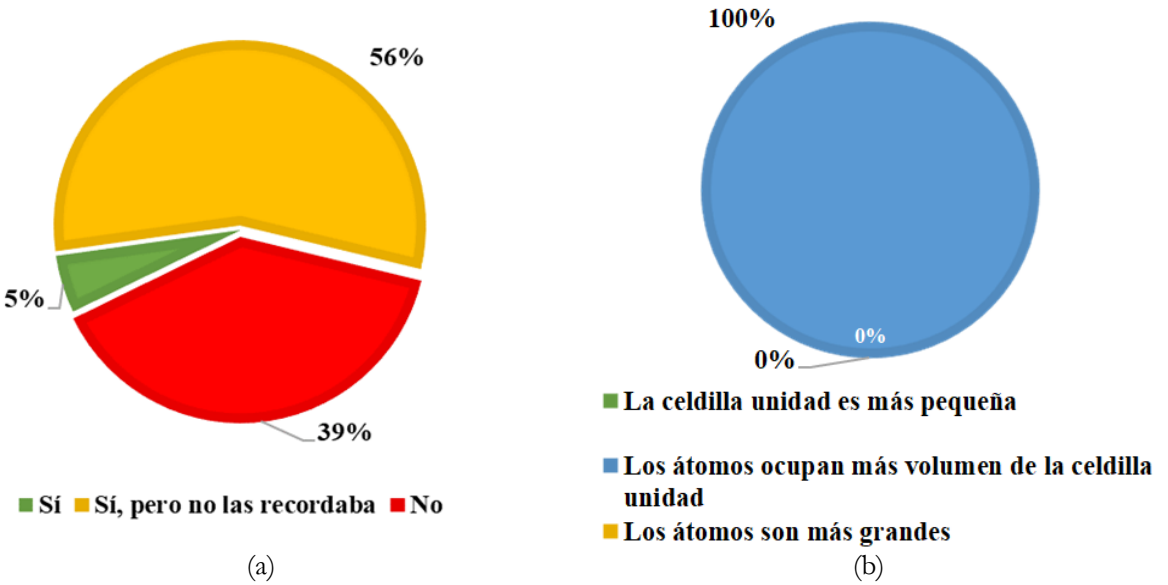
Como ya se ha comentado anteriormente, las primeras preguntas (P1, P2 y P3) del Cuestionario A (Tabla 1) van dirigidas a averiguar el nivel de conocimiento previo y las capacidades espaciales del alumnado (Bloque 1 – Tabla 1). La primera pregunta P1 está destinada a saber si los estudiantes consideran si tienen o no buena visión espacial. Los resultados obtenidos en esta pregunta (Figura 4a) muestran que un 33% del alumnado considera que tiene buena visión espacial, mientras que más de la mitad del alumnado (el 56% de los encuestados), considera que tiene una capacidad de visión espacial regular. En relación a la pregunta P2, los resultados muestran (Figura 4b) como el 61% de los estudiantes continúan cursando en 2º de Bachillerato la asignatura de Dibujo Técnico.



(a) (b)

Figura 4. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P1, Tabla 1; b) Pregunta P2, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

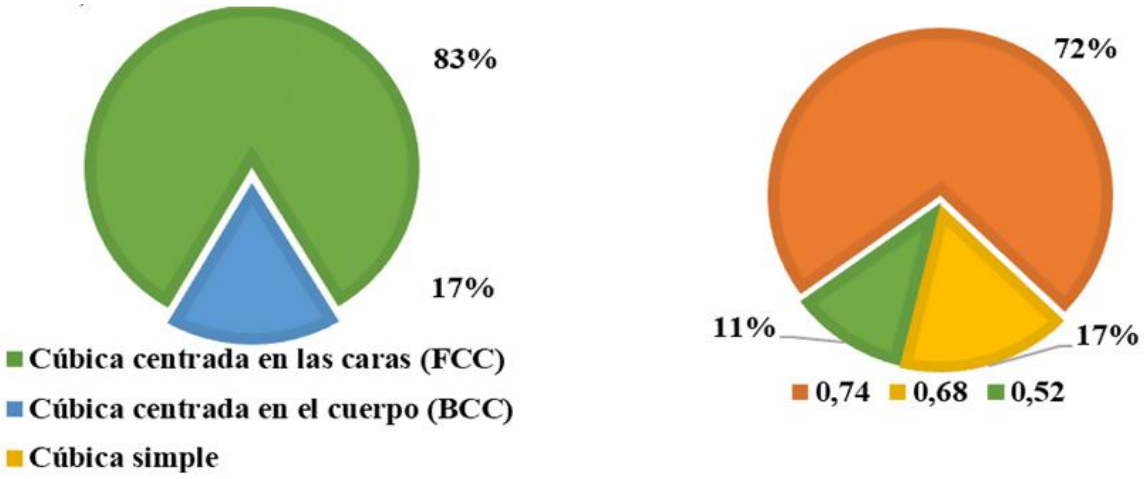
Los resultados obtenidos en la pregunta P3 (Figura 5a) muestran que más del 50% de los estudiantes afirman conocer previamente las redes cristalinas. Posteriormente, se desarrollan los resultados obtenidos en el segundo bloque de preguntas (desde P4 hasta P8) del cuestionario A (Tabla 1). Este bloque de preguntas se centra en analizar la opinión de los estudiantes respecto a las diferentes metodologías desarrolladas y su comprensión de los conceptos teóricos. En la primera pregunta P4, sobre el grado de asimilación del concepto de red compacta, todos los estudiantes han contestado correctamente (Figura 5b) afirmando que el grado de compactación de una red es debido a que los átomos ocupan más volumen de la celdilla unidad, lo cual es correcto.



(a) (b)

Figura 5. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P3, Tabla 1; b) Pregunta P4, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

En la pregunta P5, se quería comprobar si los estudiantes son capaces de saber qué red de las vistas en el aula son más compactas. El 83% de los estudiantes encuestados ha contestado que la red más compacta es la cúbica centrada en las caras (FCC), lo cual es correcto (Figura 6a). En la pregunta P6 se ha preguntado a los estudiantes por el factor de empaquetamiento que posee una red compacta. El 72% de los estudiantes encuestados contestaron 0,74, que es la respuesta correcta (Figura 6b).

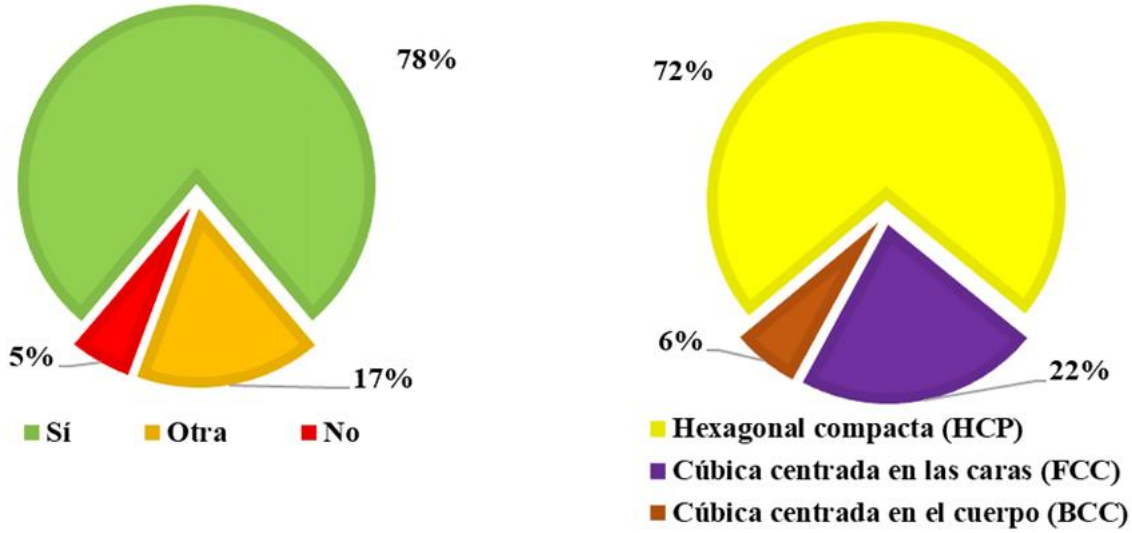


(a) (b)

Figura 6. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P5, Tabla 1; b) Pregunta P6, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la importancia que tiene la asimilación de los conceptos por los estudiantes independientemente del método utilizado, la pregunta P7 hace referencia al entendimiento en general de las redes y de sus conceptos asociados. Los resultados obtenidos (Figura 7a) muestran como el 78% de los estudiantes afirman haber entendido los distintos conceptos relacionados con las redes. Dentro de la respuesta "otra", los estudiantes han contestado qué elemento no han entendido: la constante reticular, el factor de empaquetamiento y la estructura con átomos rígidos.

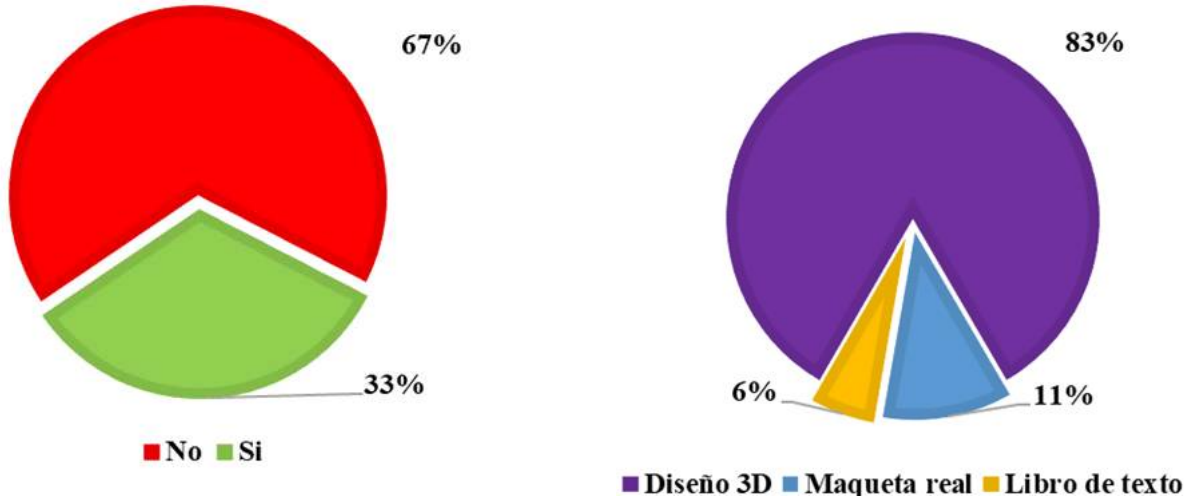
En la última pregunta de este bloque (P8), se preguntó sobre el grado de dificultad de las distintas redes estudiadas. El 72% de los estudiantes ha contestado que la red de mayor dificultad es la hexagonal compacta (HCP), seguida de la cúbica centrada en las caras (FCC), con el 22% de los resultados y por último la cúbica centrada en el cuerpo (BCC) con el 6% de los resultados obtenidos (Figura 7b).



(a) (b)

Figura 7. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P7, Tabla 1; b) Pregunta P8, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del último bloque del Cuestionario A (Bloque 3 – Tabla 1) se han realizado preguntas (P9, P10 y P11) enfocadas a establecer una comparativa del modelo relacionado con las maquetas y del programa SolidWorks® para conocer la opinión de los estudiantes. La pregunta P9 se ha realizado para saber, dentro de la estructura con mayor nivel de comprensión, si los estudiantes la hubieran entendido únicamente con la información procedente del libro de texto. En esta pregunta P9, el 33% de los estudiantes ha contestado que sí y el 67% que no (Figura 8a).



(a) (b)

Figura 8. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P9, Tabla 1; b) Pregunta P10, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

La pregunta P10 hace referencia a qué método ha sido más útil para los estudiantes respecto al entendimiento de las redes. En esta, el 83% ha contestado que ha sido gracias al diseño en 3D con el programa SolidWorks® (Figura 8b). Y en la última pregunta, P11, se ha preguntado cuál de las herramientas utilizadas motiva más el aprendizaje de los estudiantes. Como se observa en la Figura 9, el 72% de los estudiantes elige el diseño 3D frente a la maqueta o al libro de texto.

Para evaluar la Metodología B (Figura 1), se ha creado el Cuestionario B (Tabla 2). El Cuestionario B (Tabla 2) está formado por 4 bloques de preguntas. En el primer bloque (Bloque 1 - Tabla 2) se quiere conocer la experiencia del usuario al usar la plataforma virtual. En la Figura 10 se muestran los resultados

de las primeras 4 preguntas (P12, P13, P14 y P15) de este Cuestionario B (Bloque 1 – Tabla 2). Los resultados de la pregunta P12, que está destinada a saber la dificultad de visualización espacial de objetos en 3D que pueden poseer los estudiantes, muestran que el 70% de los discentes poseían poco o nada de dificultad para visualizar piezas en 3D antes del uso de la PVI, frente al 30% que tenía bastante o mucha dificultad. La pregunta P13 se ha formulado para conocer el grado de comprensión de las instrucciones de control de la PVI, donde el 80% de los estudiantes ha dado la mayor puntuación al grado de comprensión de las instrucciones de funcionamiento y el 20% la segunda mayor. En la pregunta P14 se pidió a los estudiantes que valorase la facilidad de uso de la PVI: el 90% de los estudiantes indicó que usar la plataforma fue muy sencillo y el 10% restante que era bastante sencillo. En la pregunta P15 (Figura 10), se quiso conocer la facilidad de comprensión de las diferentes redes dentro de la PVI, a lo que el 80% de los estudiantes contestaron que les pareció muy útil la plataforma para entender las redes y el 20% restante opinó que su uso fue bastante útil.

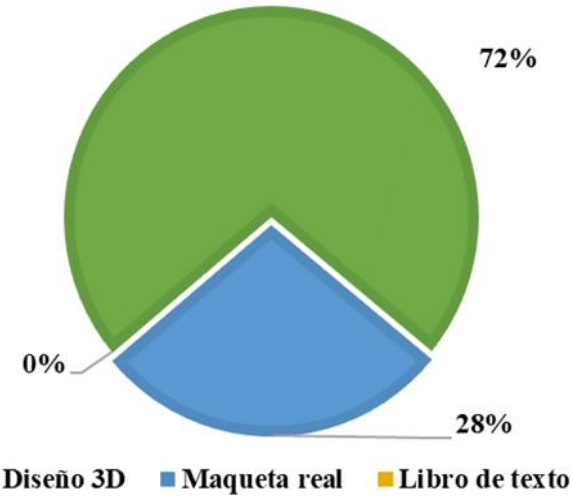


Figura 9. Resultados obtenidos Cuestionario A: a) Pregunta P11, Tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

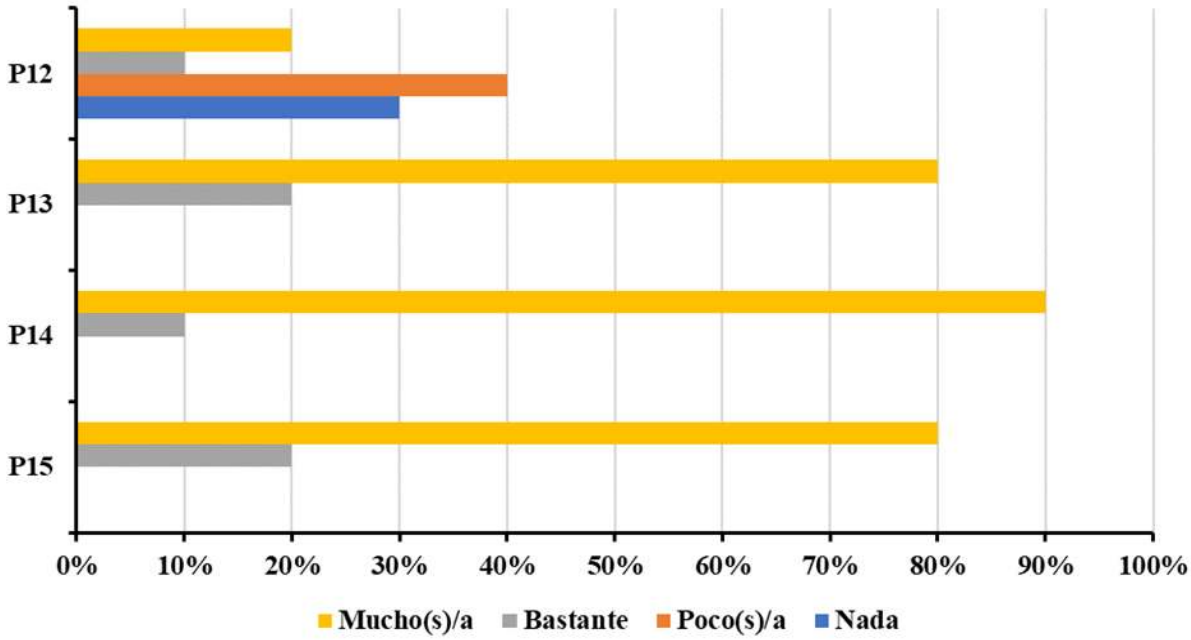


Figura 10. Resultados obtenidos Cuestionario B: Preguntas P12-P15, Tabla 2. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11, se muestran los resultados obtenidos en la segunda parte del primer bloque de preguntas (P16-P19) del Cuestionario B (Bloque 1 – Tabla 2). En la pregunta 16 se quiso conocer la cuantificación de los problemas encontrados al utilizar la PVI por los estudiantes: el 70% de los estudiantes indicó que no encontró problemas al manejar la PVI y el 30% restante indicó que obtuvo pocos problemas. La pregunta P17 se realizó para conocer el grado de motivación de los estudiantes al usar la PVI. A esta

pregunta el 80% contestó que el aumento de la motivación en el aula mediante el uso de la plataforma fue alto o muy alto. La siguiente pregunta P18 buscó conocer el grado de utilidad de la interfaz gráfica de la herramienta, donde el 80% de los estudiantes indicó que el entorno gráfico de la herramienta les pareció muy útil o bastante útil. El objetivo de la pregunta P19 (Bloque 2 – Tabla 2) fue conocer la dificultad para comprender las diferentes estructuras cristalinas antes de utilizar la PVI. El 30 % de los estudiantes encuestados indicaron que poseían mucha o bastante dificultad para entender las redes antes de usar la herramienta, y el 70% restante indicó que la dificultad que poseían era poca o nula.

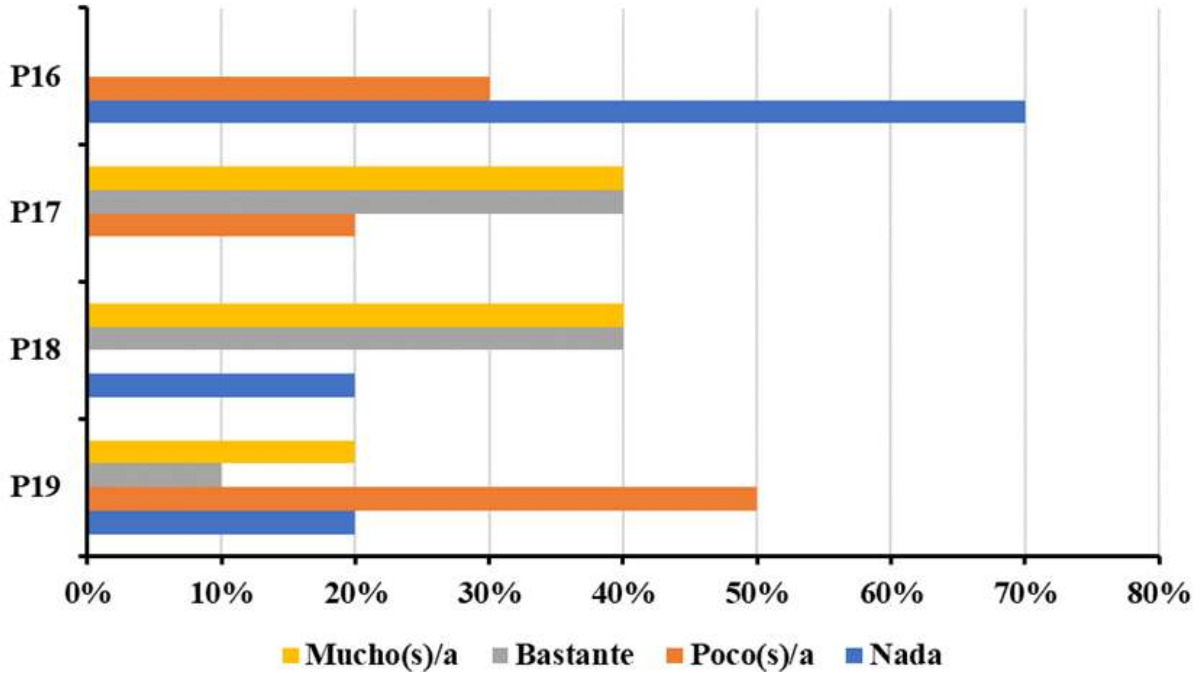


Figura 11. Resultados obtenidos Cuestionario B: Preguntas P16-P19, Tabla 2. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se muestran los resultados obtenidos en el resto de las preguntas (P20, P21, P22 y P23) del segundo bloque del Cuestionario B (Bloque 2 – Tabla 2). En cuanto a la pregunta P20, cuyo objetivo fue conocer el grado de comprensión de las redes cristalinas, los resultados obtenidos muestran que el 100% de los estudiantes percibe un mayor grado de compresión de las redes después del uso de la PVI. En la pregunta P21 se quiso conocer cómo se comprenden las propiedades de las redes cristalinas tras el uso de esta herramienta. El 60% de los estudiantes contestó que tuvieron un grado satisfactorio sobre los conocimientos de las propiedades de las redes en la plataforma y el 40% restante mostró una gran satisfacción. La pregunta P22 se realizó para conocer el grado de utilidad de la plataforma a la hora de conocer los planos cristalográficos, direcciones cristalográficas e índice de coordinación. El 70% de los estudiantes contestó que su opinión sobre la plataforma fue muy útil para entender las características de las redes y el 30% que fue bastante útil. Con la pregunta P23 se quiso conocer si la PVI mejora la visión espacial.

El 90% de los estudiantes opinó que la herramienta mejoró en un alto grado la comprensión espacial de las redes cristalográficas y un 10% opinó que la mejoró bastante. Y la última pregunta P27 se realizó para conocer la eficacia de esta herramienta en la enseñanza (Figura 12). El 70% de los estudiantes dieron la máxima valoración a la PVI como herramienta didáctica y el 30% dio la siguiente puntuación más elevada.

Dentro del grupo de preguntas relacionadas con aspectos técnicos de la aplicación (Bloque 3 – Tabla 2), se realizó la pregunta P24 para saber si los estudiantes habían usado este tipo de PVI anteriormente. El 80% de los estudiantes comentó que no habían usado este tipo de herramientas anteriormente frente al 20% que sí que las había usado. La pregunta P25 preguntaba si los estudiantes consideraban que la PVI pudiera tener alguna mejora en el futuro. El 60% de los discentes no consideró que hubiera que realizar ninguna mejora a la PVI y el 40% indicó que se podría mejorar el ajuste de la sensibilidad del ratón (Figura 13), que el tamaño de las puertas del laboratorio fuese más grande y que hubiese un botón para retroceder al laboratorio. Y última pregunta de este bloque P26 se realizó con el fin de conocer si los estudiantes consideraban que esta PVI se pudiera aplicar a otras asignaturas. El 100% de los estudiantes consideró que

este tipo de herramienta se podría aplicar a otras asignaturas con dificultades de visión espacial como pueden ser Física, Dibujo técnico o Química.

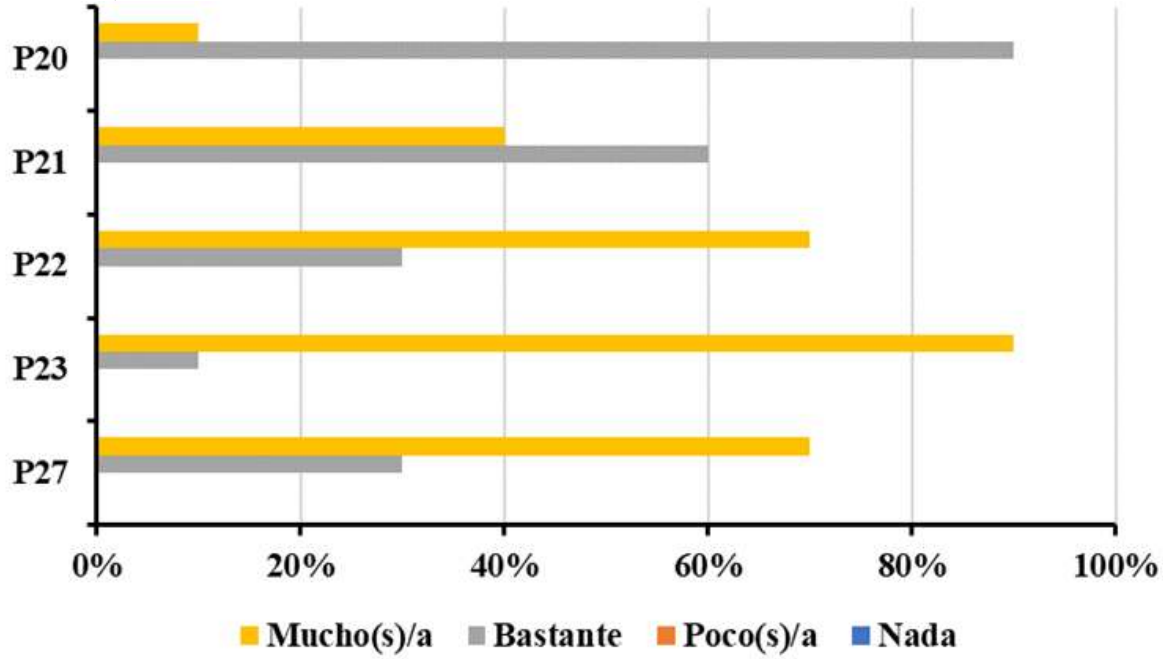


Figura 12. Resultados obtenidos Cuestionario B: Preguntas P20-P23 y P27, Tabla 2. Fuente: Elaboración propia.

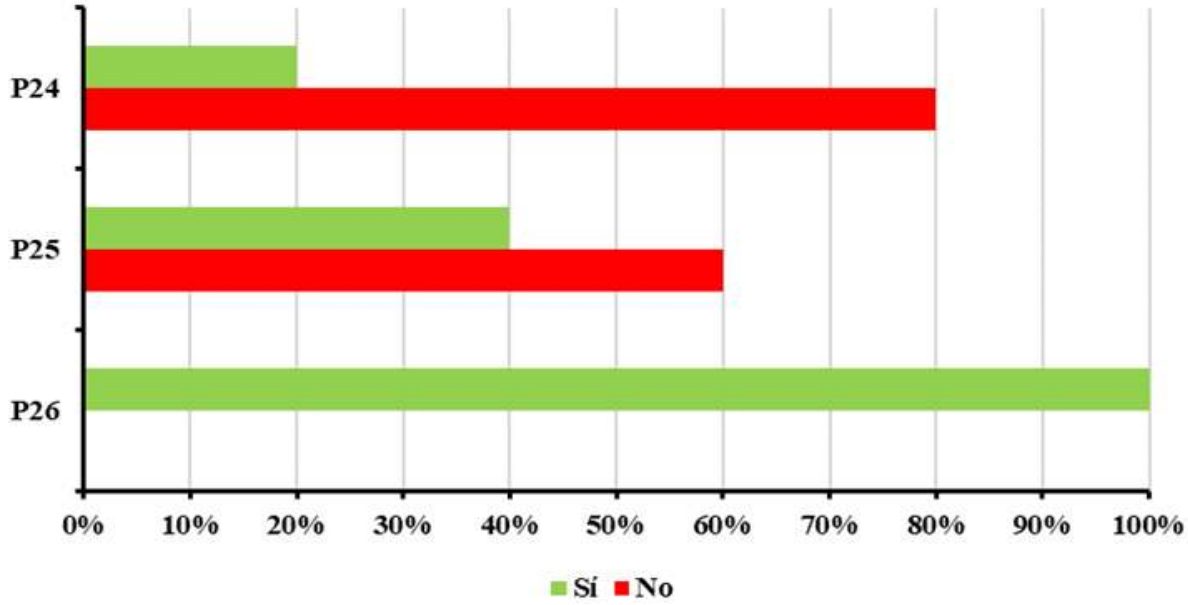


Figura 13. Resultados obtenidos Cuestionario B: Preguntas P24-P26, Tabla 2. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados de las dos metodologías realizadas han sido muy satisfactorios en líneas generales. En el primer bloque de preguntas del Cuestionario A (Bloque 1 - Tabla 1), donde se quería conocer los conocimientos previos de los estudiantes antes de la realización de la experiencia, se puede destacar que, en ese momento, tan solo un tercio de los estudiantes consideró que tenía buena visión espacial mientras que la mitad consideró que regular y el resto nula. Estos resultados sugieren que en un primer instante la mayoría de los estudiantes carecen de esta característica visual. Por otro lado, más de la mitad de los discentes siguen cursando la asignatura de Dibujo Técnico en 2º de Bachillerato, una quinta parte la dejó en 1º de Bachillerato y el resto la dejó al acabar la Educación Secundaria. También, cabe destacar que el 50% de los estudiantes conocía previamente las redes cristalinas, pero no las recordaba y menos del 25% de los alumnos encuestados no las conocía.

En el segundo bloque de preguntas del Cuestionario A (Bloque 2 – Tabla 1) se ha querido conocer si los estudiantes han entendido las estructuras cristalinas y los conceptos asociados a ellas. Todos los estudiantes de la clase han contestado que los átomos ocupan más volumen de la celdilla unidad, que es el significado de que una red sea más compacta que otra, por lo que todos los estudiantes han entendido el concepto después de realizar la experiencia. El 75% de los alumnos encuestados han respondido que la estructura más compacta es la cúbica centrada en las caras (FCC), la otra cuarta parte cree que la cúbica centrada en el cuerpo (BCC) es la más compacta. Esto demuestra que la mayoría de los alumnos ha comprendido estos conceptos de forma satisfactoria.

De nuevo, las tres cuartas partes de los encuestados han contestado de forma correcta cuál era el factor de empaquetamiento de una red compacta. Por lo tanto, la mayor parte de los alumnos ha llegado a la respuesta correcta y ha adquirido los conocimientos de forma adecuada en el aula. En consecuencia, la asimilación de los conceptos por los estudiantes puede aumentar dependiendo del método utilizado, dando como resultado que la mayoría de los alumnos encuestados ha entendido las redes y sus características después de la experiencia. El 5% de ellos no lo ha entendido y una quinta parte ha contestado que hay algunos conceptos como la constante reticular, el factor de empaquetamiento o la estructura con átomos rígidos que no han comprendido de forma correcta.

Por lo tanto, la mayoría de los encuestados confirma haber entendido los conceptos sin ningún tipo de problema. El 72% de los estudiantes encuestados ha afirmado que poseían dificultad para comprender las redes con la estructura más compleja, el 22% de los estudiantes opina que la red con mayor dificultad es la siguiente más compleja y el 6% de la muestra que la red con mayor dificultad es la más simple de visualizar espacialmente. Una gran parte de los estudiantes, antes de conocer las distintas metodologías y haber estudiado las redes (Figura 14), coinciden en que poseían una mala capacidad de visión espacial. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en P11 del Cuestionario A (Bloque 1 – Tabla 1) Metodología A, el 67% de los alumnos consideró que su capacidad de visión espacial era regular o mala. En el caso de la Metodología B, los resultados obtenidos en P12 del Cuestionario B (Bloque 1 – Tabla 2) muestran que el 30% de los alumnos posee una elevada visualización de piezas en 3D. Esto refleja, el gran problema existente que tienen los alumnos a la hora de imaginarse objetos sobre un espacio en 3D sin ayuda de las TIC.

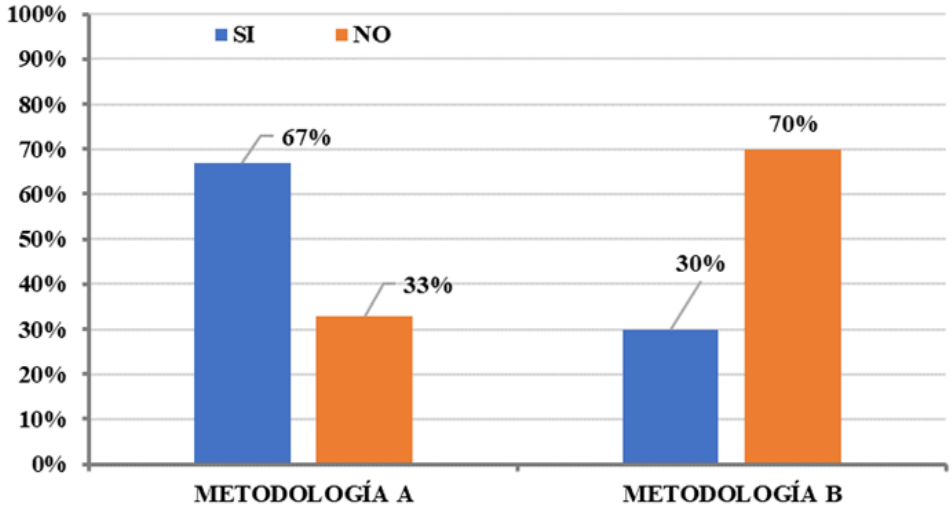


Figura 14. Resultados obtenidos mala capacidad de visión espacial de los estudiantes antes del estudio. Fuente: Elaboración propia.

Por último, se ha realizado el último bloque de preguntas del Cuestionario A (Bloque 3 – Tabla 1) para comparar el modelo de redes formado por las maquetas y el realizado con el software SolidWorks®. El 33% de los estudiantes considera que hubiera entendido este tipo de red únicamente utilizando el libro de texto mientras que el 67% opina que el libro de texto no habría sido suficiente. Por lo tanto, queda a la vista que la mayor parte de los estudiantes opina que tanto las maquetas como el programa informático ayuda a la comprensión de estos conceptos. La mayor parte de la clase cree que el diseño 3D con el programa SolidWorks® es el método de los utilizados que ha resultado más útil para comprender los conceptos, el 11% indica que el más útil es la maqueta de redes y el 6% opina que el libro de texto posee una mayor utilidad. Lo que demuestra que, para los estudiantes, el método elegido para la mayoría es el del software. Finalmente, el 72% de los estudiantes ha contestado que la herramienta que le ha motivado más en el

aprendizaje ha sido el diseño 3D realizado con SolidWorks® y el 28% indica que la maqueta de redes. Volviendo de nuevo a demostrar que la mayoría de los discentes elige el método del software.

En la Metodología B (Figura 1) se ha utilizado la plataforma interactiva de RVNI para aumentar la comprensión de las redes y sus características. Dentro del primer bloque del Cuestionario B (Bloque 1 – Tabla 2), cabe destacar que el 25% de los estudiantes poseían dificultad de visión espacial antes de usar la PVI. El grado de comprensión de las instrucciones y el funcionamiento de la herramienta ha resultado sencillo a todos los estudiantes. El Cuestionario B también ha reflejado la utilidad de la PVI para los estudiantes. No han encontrado ninguna dificultad en su uso la mayoría, y los que han encontrado han sido dificultades leves. El 80% de los encuestados han indicado que la motivación aumenta en las clases bastante o mucho tras el uso de esta herramienta y que el entorno gráfico de la misma les ha resultado muy útil o bastante útil.

Centrándose en el segundo bloque del Cuestionario B (Bloque 2 – Tabla 2), las respuestas son muy uniformes respecto a la opinión de todos los estudiantes. El 50% de ellos tenía una cierta dificultad a la hora de entender y comprender las estructuras, pero tras usar la plataforma, todos los estudiantes opinaron que la comprensión aumentó notablemente. La satisfacción de los discentes es muy alta respecto al grado en el que se muestran las propiedades de las redes y opinan que este programa es útil o muy útil a la hora de entender sus propiedades como las direcciones cristalográficas, los planos cristalográficos o los índices de coordinación. Como conclusión de este bloque se puede destacar que el alumnado cree que esta plataforma hace que mejore muy notablemente o de forma bastante alta el grado de visión espacial.

En el tercer bloque del Cuestionario B (Bloque 3 – Tabla 2), se ha detectado que el 80% de los estudiantes no había utilizado una herramienta como esta en el aula. El 60% de ellos cree que no se debe mejorar la plataforma y el resto opina que se pueden mejorar algunos aspectos relacionados con el funcionamiento técnico para que fuese similar al entorno de un videojuego. Algunas de las mejoras que comentaron fueron que se pudiera ajustar el nivel de sensibilidad del ratón, que el tamaño de las puertas del laboratorio fuese mayor, y añadir un botón para poder retroceder al menú de inicio. El 100% de los estudiantes opina que este tipo de plataformas se podría utilizar en otras asignaturas que tengan asociadas dificultades de visualización espacial para aumentar la motivación en ellas y la comprensión espacial. Creen que las asignaturas en las que se podría utilizar serían: (i) Dibujo Técnico debido a la dificultad de visualizar planos y figuras en 3D, (ii) Química para comprender los átomos de forma espacial y (iii) Física para ayudar a la comprensión de los vectores en el espacio. Por último, en el último bloque de preguntas del Cuestionario B (Bloque 4 – Tabla 2) todos los estudiantes han puntuado con las más elevadas puntuaciones la PVI, garantizando así que los discentes creen que es una buena herramienta.

En ambas metodologías, los estudiantes consideraron que la utilidad de las mismas es mayor cuando intervienen las TIC (Figura 15). A partir de los resultados obtenidos en P10 del Cuestionario A (Bloque 3 – Tabla 1) Metodología A, el 70 % de los estudiantes eligió como mejor método didáctico el realizado con TIC, que en esta Metodología fue el software CAD SolidWorks®. En el caso de la Metodología B, los resultados obtenidos en P27 del Cuestionario B (Bloque 4 – Tabla 2) muestran cómo todos los estudiantes escogieron el uso de las TIC como recurso que aumenta la utilidad de la metodología, que en este caso es la PVI.

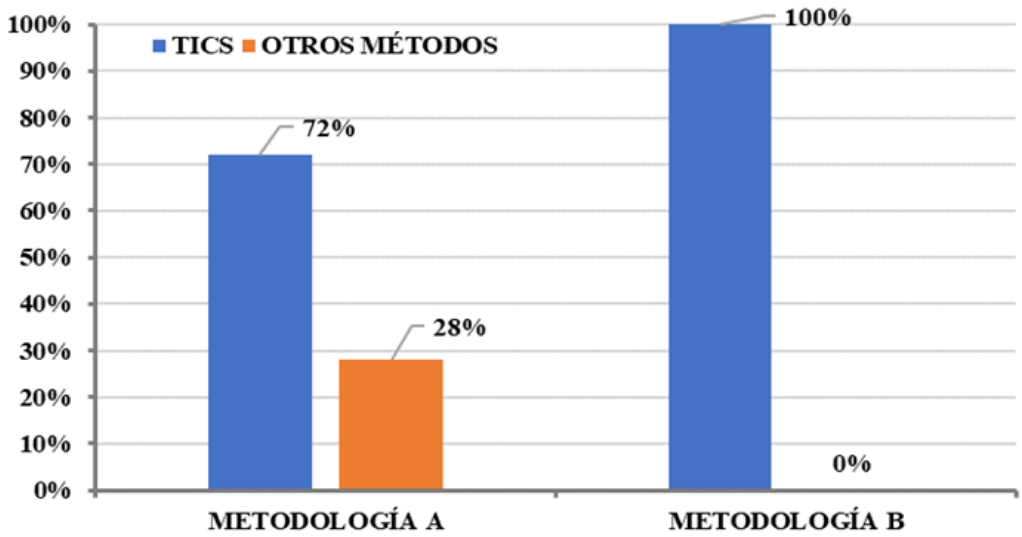


Figura 15. Resultados obtenidos percepción alumnos sobre ambas metodologías. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio es analizar dos metodologías novedosas para la enseñanza de conceptos relacionados con la visualización espacial. En la primera (Metodología A), se han utilizado tres métodos para la enseñanza de estos conceptos tridimensionales: el libro de texto, maquetas de las redes y una herramienta digital. Se ha comprobado que aquellos estudiantes con buena visualización espacial han sido capaces de comprender todos estos conceptos únicamente con el uso del libro de texto, siendo estos una minoría. Mientras, aquellos que no tienen capacidad de visualización 3D han podido llegar a entender todos estos conceptos gracias al uso de las maquetas y, en especial, de la herramienta innovadora realizada con el programa SolidWorks®, tal como opina aproximadamente el 70% de los alumnos encuestados. Los resultados obtenidos muestran que más del 70% de los estudiantes encuestados opinan que el uso de las TIC en el aula, además de facilitar el aprendizaje y la comprensión de los elementos tridimensionales, favorecen la motivación por aprender.

Por otro lado, cabe destacar la segunda metodología (Metodología B), donde se ha llevado a cabo la utilización de una plataforma virtual interactiva (PVI) basada en la Realidad Virtual No-inmersiva (RVNI) para conocer las redes cristalográficas y sus características. Los estudiantes de Bachillerato no tienen ningún problema a la hora de utilizar una PVI, valorando positivamente la experiencia de usuario y su eficacia como herramienta educativa. Esto puede ser debido a la similitud que tiene con los videojuegos y la afición que tienen las nuevas generaciones a estos. También se aprecia que la mayoría de los estudiantes obtiene una mejora en la comprensión espacial de las redes después de usar la PVI. Además, todos los estudiantes encuestados manifiestan que este tipo de programas podrían utilizarse en otras asignaturas en las que es necesario contar con un elevado nivel de visión espacial, como pueden ser las asignaturas de Física, Química o Dibujo Técnico.

Por lo tanto, tanto la metodología A como la B son recomendables para usar en las aulas. Ambas se pueden realizar de forma autónoma en las aulas, aunque la B tendría más tiempo de programación. A la hora de implantar este tipo de metodologías en el aula, es conveniente que los docentes desarrollen de forma progresiva diferentes etapas: (i) acceso: en esta primera etapa los alumnos adquieren el conocimiento necesario para realizar un uso básico de las metodologías; (ii) adopción: tanto alumnos como docentes se apoyan en estas metodologías para desarrollar sus metodologías tradicionales de aprendizaje; (iii) adaptación: en esta etapa estas metodologías tecnológicas se integran en la práctica docente, aportando mayor productividad y éxito en la consecución de las tareas; e (iv) invención: en esta última etapa, alumnos y docentes descubren nuevos usos de estas metodologías tecnológicas y las utilizan de forma creativa.

REFERENCIAS

Adriana, L., Rincón, D.A. & Johanna, K. (2009). Realidad virtual no inmersiva: instrumentos electrónicos de aplicación educativa. *Visión electrónica, 4*(1), 94-105. https://doi.org/10.14483/22484728.275

Alvarado, H.M. (2009). La integración de las TIC en instituciones educativas. *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*, 61-70. https://www.oei.es/uploads/files/microsites/28/140/lastic2.pdf

Area, M., Hernández, V. & Sosa, J.J. (2016). Modelos de integración didáctica de las TIC en el aula. Comunicar: *Revista científica iberoamericana de comunicación y educación, 24*(47), 79-87. https://doi.org/10.3916/C47-2016-08

Arguello, J.M. (2013). Desarrollo de la inteligencia espacial a partir de la utilización de software CAD en la enseñanza de la geometría descriptiva. *Revista Educación en Ingeniería, 8*(15), 38-47. https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/195/164

Ashby, M.F. & Jones, D.R. (2013). *Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing* (4th ed.). Oxford: Butterworth Heinemann - Elsevier. http://materialstandard.com/wp-content/uploads/2019/06/AshbyEngineering-Materials-2.pdf

Astudillo, M.E., Pinto, B.R., Arboleda, M.J. & Anchundia, Z. (2018). Aplicación de las TIC como herramienta de aprendizaje en la Educación Superior. *RECIMUNDO, 2*(2), 585-598. https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.585-598

Campos, M.N., Ramos, M. & Moreno, A.J. (2020). Realidad virtual y motivación en el contexto educativo: Estudio bibliométrico de los últimos veinte años de Scopus. *Alteridad, 15*(1), 47-60. https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.04

Cerro, F. & Morales, G. (2017). Realidad aumentada como herramienta de mejora de la inteligencia espacial en estudiantes de educación secundaria. *Revista de Educación a Distancia (RED), 17*(54). http://dx.doi.org/10.6018/red/54/5

Cuesta, U. & Mañas, L. (2016). Integración de la realidad virtual inmersiva en los Grados de Comunicación. *Revista de Comunicación Audiovisual y Nuevas Tecnologías, 14*(2), 1-21. https://doi.org/10.7195/ri14.v14i2.953

Delgado, M. Arrieta, X. & Riveros, V. (2009). Uso de las TIC en educación, una propuesta para su optimización. *Omnia, 15*(3), 58-77. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73712297005

Del Cerro, F. & Lozano, F. (2019). Proyecto Técnico Ecourbano apoyado en las TIC para el aprendizaje STEM (Dibujo Técnico) y la consolidación de los ODS en el aula. *Revista de Educación a Distancia, 60*, 4. https://doi.org/10.6018/red/60/04

Extremera, J., Vergara, D., Dávila, L.P. & Rubio, M.P. (2020). Virtual and Augmented Reality Environments to Learn the Fundamentals of Crystallography. *Crystals, 10*, 456. https://doi.org/10.3390/cryst10060456

La Cruz, W. & Casariego, E. (2007). Las herramientas tecnológicas en la enseñanza del diseño industrial. *Télématique, 6*(2), 33-44. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2961796

Licona, K. & Veytia, M.G. (2019). El empleo de las TIC en la educación superior. *Educando para educar, 37*, 91-99. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7186603

Maldonado, A. & Luque, C.M. (2018). Implementación de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. De cara a los expertos. *Revista Virtu@lmente, 6*(1) 90-98. https://doi.org/10.21158/2357514x.v6.n1.2018.2107

Moreno, A.J., Rodríguez, C., Ramos, M. & Sola, J.M. (2020). Interés y Motivación del Estudiantado de Educación Secundaria en el uso de Aurasma en el Aula de Educación Física. *Retos, 38*, 333-340. https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.76832

Otero, A. & Flores, J. (2011). Realidad virtual: Un medio de comunicación de contenidos. Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos. *Revista de Comunicación Audiovisual y Nuevas Tecnologías, 9*(2), 185-211. https://doi.org/10.7195/ri14.v9i2.28

Quispe, E.M., Campos, L.P. & Mantari, L.D. (2021). Inteligencias múltiples y el aprendizaje de tecnologías en universitarios peruanos. El aprendizaje a través de la ciencia ficción: El audiovisual Guardians of the heritage. *Eduweb, 15*(2), 42-54. https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2021.15.02.4

Pina, C. (2014). Los fundamentos de la Cristalografía: una reseña histórica. *Anales de Química, 110*(4), 294-302. http://hdl.handle.net/10261/111757

Santana, M., Hernández, A. & Gómez, E. (2003). Una propuesta didáctica para contribuir al desarrollo de la visión espacial en los dibujos técnicos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 12*(2), 35-42. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93212207

Tristancho, J.A., Contreras, L.E. & Vargas, L.F. (2014). Evaluación de técnicas tradicionales y TIC para el desarrollo de habilidades espaciales en estudiantes de primer semestre de ingeniería industrial. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte, 43*, 34-50. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194232138004

Venegas-Ramos, L., Martínez, H.J.L. & Santana, A.P. (2020). Conocimiento, formación y uso de herramientas TIC aplicadas a la Educación Superior por el profesorado de la Universidad Miguel de Cervantes. *Edutec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa*, *71*, 35-52. https://doi.org/10.21556/edutec.2020.71.1405

Vergara, D. (2019). Imposición de los laboratorios virtuales en la Educación del Siglo XXI. *Eduweb, 13*(2), 119-128. http://servicio.bc.uc.edu.ve/educacion/eduweb/v13n2/art01.pdf

Vergara, D., Extremera, J., Rubio, M. P. & Dávila, L. P. (2020). The proliferation of virtual laboratories in educational fields. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, *9*(1), 85-97. https://doi.org/10.14201/ADCAIJ2020918597

Vergara, D., Fernández-Arias, P., Extremera, J., Dávila, L.P. & Rubio, M.P. (2022). Educational trends post COVID-19 in engineering: Virtual laboratories. *Materials Today: Proceedings*, *49*, 155-160. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.494

Vergara, D. & Rubio, M.P. (2013). Una innovadora metodología para ejercitar la capacidad de visión espacial de los estudiantes de ingeniería. *Revista Docencia Universitaria, 11*, 329-347. https://doi.org/10.4995/redu.2013.5559

Vergara, D., Rubio, M.P. & Lorenzo, M. (2018). A Virtual Resource for Enhancing the Spatial Comprehension of Crystal Lattices. *Education Sciences, 8*, 153. https://doi.org/10.3390/educsci8040153