
Recursos virtuales para resolver problemas de visualización espacial: aplicación a las redes cristalográficas¹

Diego Vergara Rodríguez

Manuel Pablo Rubio Cavero

Pablo Fernández Arias

Grupo VIMET (Virtual Instruction in Materials and Engineering Technology)
Universidad Católica de Ávila

1. Descripción

En prácticamente la totalidad de las asignaturas relacionadas con la ciencia e ingeniería de materiales uno de los contenidos clave es la temática relacionada con las redes espaciales de los sistemas cristalinos (Ashby y Jones, 1999; Askeland, 2001; Callister, 2003; Shackelford, 2005). Es un tema entretenido para los alumnos y, además, fácil de explicar para el profesor, salvo por el inconveniente de algunos aspectos relacionados con la comprensión espacial: a) visualización de una red espacial desde diferentes puntos de vista; b) visualización de secciones planares que identifican la disposición atómica desde diferentes puntos de vista; c) visualización de la posición octaédrica y tetraédrica de los huecos intersticiales de los sistemas cristalinos, etc.

En publicaciones previas se ha remarcado lo importante y necesario que es adquirir una buena capacidad de visión espacial para la futura vida profesional del ingeniero o arquitecto (Hsi, Linn y Bell, 1997). En este mismo sentido, se ha evidenciado la seria dificultad de visualización espacial que pueden presentar algunas asignaturas de carácter técnico o ingenieril (Garmendia, Guisasola y Sierra, 2007; Vergara, Rubio y Lorenzo, 2012; Vergara, Rubio y Lorenzo, 2015a; 2015b). Por otro lado, la ventaja que el uso de herramientas virtuales puede tener en la docencia de titulaciones de carácter técnico ha sido demostrada en numerosas ocasiones (Goodhew, 2002; Foss y Eikaas, 2006; Vergara, Lorenzo y Rubio, 2015). Así, en algunas experiencias docentes relacionadas con el uso de recursos virtuales en el aula de titulaciones de ingeniería se habla de una mejoría no solo en los conocimientos de la materia trabajada, sino también en la capacidad de

¹ Los autores desean manifestar su agradecimiento a la ayuda económica del Proyecto de Innovación Educativa ID2015/0267 de la Universidad de Salamanca.

visión espacial, ya que esta es una competencia que se puede mejorar mediante un entrenamiento apropiado (Crown, 2001; Rafi, Samsudin e Ismail, 2006).

A modo de resumen, en este artículo se presenta una herramienta virtual interactiva para la docencia de los sistemas cristalográficos, explicando cómo se ha desarrollado y justificando los programas comerciales que se han utilizado. Además, se estudia la opinión de los alumnos, obtenida a partir de la realización de encuestas.

2. Contexto de la práctica y referentes externos

En relación con la temática de este artículo —redes espaciales de sistemas cristalográficos— existen varios ejemplos de aplicaciones didácticas empleando las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (García, Calvo, Gavrilenko y Cueto, 2000; Blatov, Shevchenko y Proserpio, 2014) e incluso varias páginas web de acceso libre (Stukowski, 2016). El recurso virtual que se expone en este artículo, aunque está basado en un entorno 2D para moverse de una pantalla a otra, aporta la propiedad de interactividad 3D en tiempo real de los sistemas cristalográficos representados en cada pantalla, es decir, el alumno puede interactuar libremente con ellos para poder comprender espacialmente la posición de cada átomo dentro de la red cristalográfica. Este factor de interactividad ayuda a resolver los posibles problemas que suele generar la capacidad de visión espacial en este tipo de enseñanza. Además, según estudios previos (Chan y Fok, 2009), parece existir un vínculo entre este factor y las ganas de aprender de los estudiantes.

A modo de prueba piloto, durante el curso 2015-2016, se utilizó el recurso didáctico aquí presentado en la asignatura Ciencia y Tecnología de los Materiales, de 2.º curso del Grado en Ingeniería Mecánica (GIM).

3. Objetivos

Los objetivos de este trabajo se pueden resumir a los siguientes:

- Detectar, identificar y clasificar los problemas relacionados con la visualización y comprensión de redes cristalográficas en las titulaciones de ingeniería.
- Desarrollar la aplicación interactiva siempre de acuerdo con profesores de la materia y buscando que sea intuitiva y de fácil manejo.
- Implementación de la aplicación desarrollada en la asignatura Ciencia y Tecnología de los Materiales de 2.º curso del GIM.

- Análisis de las encuestas realizadas a los estudiantes para mejorar la metodología.

4. Desarrollo

La Plataforma Virtual Interactiva (PVI) que se presenta en esta comunicación se ha diseñado en el entorno Unity®, que es un programa comercial que permite el desarrollo de videojuegos y aplicaciones interactivas en 3D y tiempo real. Existen varios programas que permiten diseñar herramientas con interactividad en tiempo real, pero los autores de esta PVI han seleccionado el entorno Unity® por presentar una serie de ventajas: a) puede generar contenidos para múltiples plataformas como PC, Mac, Nintendo, Wii y, sobre todo, iPhone y Android con un mayor número de usuarios y dispositivos en uso; b) permite la programación utilizando una gran variedad de lenguajes; c) permite un crecimiento modular de la aplicación.

La herramienta creada presenta el aspecto estético mostrado en las figuras 1 y 2. Se puede comprobar que se ha trabajado con todas las redes espaciales para los diferentes sistemas cristalinos. A modo de ejemplo, dentro del sistema cristalino cúbico se encuentran tres diferentes tipos de redes espaciales (figura 2): cúbico simple, cúbico centrado en el cuerpo, y cúbico centrado en las caras.

Esta PVI permite al usuario ir buscando cada uno de los sistemas cristalinos y sus redes respectivas de una forma fácil e intuitiva. El ordenamiento atómico en sólidos cristalinos puede representarse situando los átomos en los puntos de intersección de un enrejado tridimensional de líneas virtuales (figura 3), de esta forma la enseñanza se vuelve más fácil para iniciar la comprensión espacial de las redes cristalográficas. Una vez entendida esta disposición, la PVI también permite la opción de visualizar la disposición real, en la que los átomos están en contacto entre sí (figura 4), e incluso la visualización completa de la red cristalográfica formada por varias celdas unidad (figura 5).

Además, esta PVI también tiene información teórica de cada celda unidad (ver parte superior-derecha de la figura 3): datos geométricos de los ángulos y los lados, número de coordinación, factor de empaquetamiento atómico y número de átomos por celda. Pero lo más relevante para el proceso de enseñanza-aprendizaje es que esta PVI permite al usuario interactuar en tiempo real con la propia celda unidad o red cristalográfica, lo que ayuda realmente a su comprensión espacial. De esta manera la PVI permite rotar, girar y posicionar cada celda cristalográfica donde el usuario desee (figura 6).

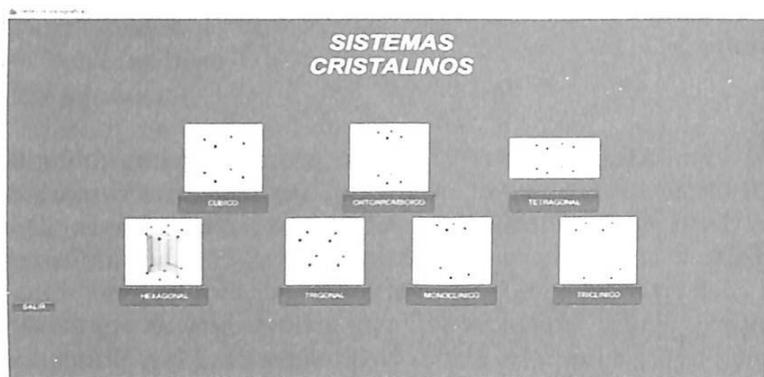


Figura 1. PVI de cristalografía: sistemas cristalinos.

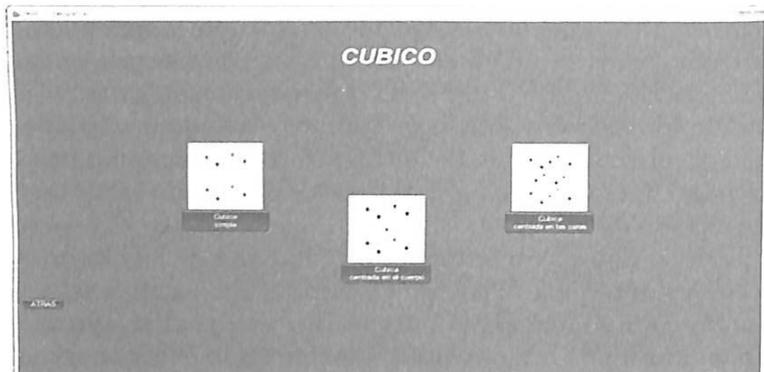


Figura 2. PVI de cristalografía: redes espaciales del sistema cúbico.

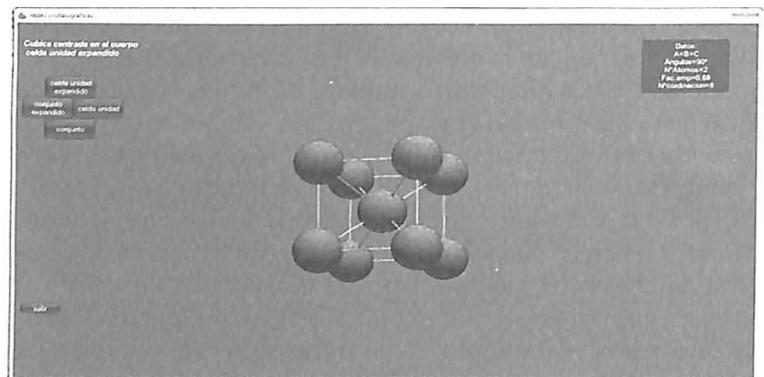


Figura 3. Opciones ofrecidas por la PVI dentro de cada red espacial: celda unidad expandida.

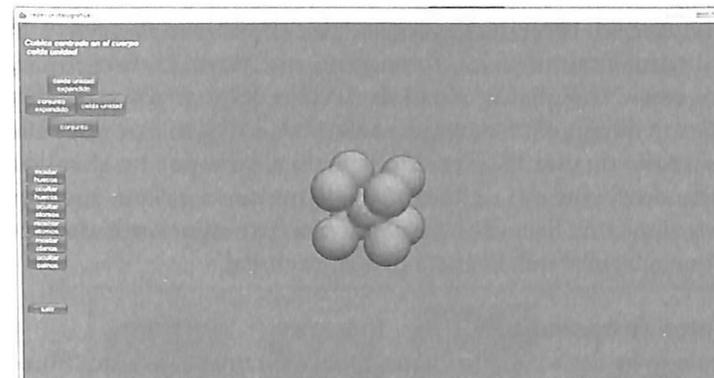


Figura 4. Opciones ofrecidas por la PVI dentro de cada red espacial: celda unidad real.

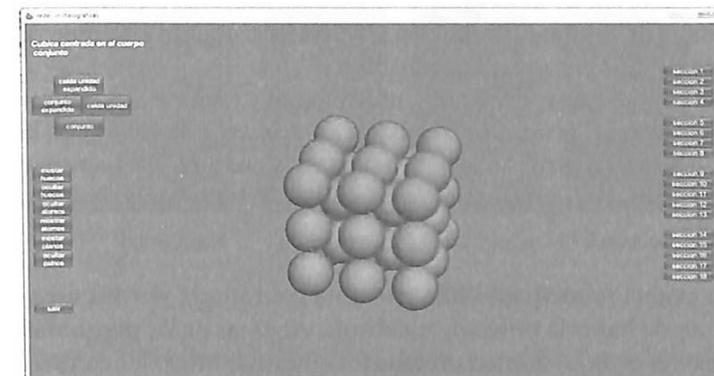


Figura 5. Opciones ofrecidas por la PVI dentro de cada red espacial: red cristalográfica real.

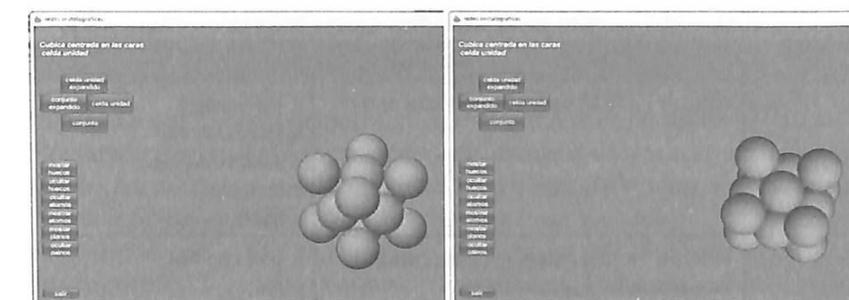


Figura 6. Rotación de la celda unidad mediante la interactividad en tiempo real.

5. Personal implicado, recursos técnicos e infraestructuras

Los autores de esta comunicación forman un equipo multidisciplinar, aunque todos están vinculados con el desarrollo de recursos virtuales para la enseñanza de asignaturas relacionadas con la ingeniería. De este modo, el desarrollo de esta PVI ha sido llevado a cabo por los propios autores utilizando el entorno de Unity*. Hay que destacar que aunque este programa tiene una licencia básica gratuita, para determinadas tareas se tuvo que adquirir una licencia proeducacional.

6. Herramientas de aprendizaje

La solución que se ha desarrollado es una aplicación interactiva de simulación 3D de redes cristalográficas intuitiva y de fácil manejo que ayuda en la comprensión de los diferentes sistemas cristalinos, que muestra dichos sistemas en tres dimensiones con sus características y parámetros a la vez que se permite interactuar con ellos.

Para ello se emplearon aplicaciones informáticas y técnicas de programación ya utilizadas en proyectos y trabajos anteriores, y se contó con la asistencia académica de profesores que imparten asignaturas de Ciencia e Ingeniería de Materiales como expertos temáticos en las redes de Bravais.

7. Evaluación

La PVI se ha evaluado mediante una encuesta contestada por los estudiantes después de haberla utilizado en el aula. Algunas de las preguntas que se plantearon en la encuesta entregada a los estudiantes tienen relación directa con el diseño de la herramienta y otras con la metodología seguida (tabla 1).

NÚMERO	CUESTIÓN	OPCIONES DE RESPUESTA
1	Valora de 1 a 10 las siguientes propiedades de la PVI.	a. Interactividad. b. Facilidad de uso. c. Utilidad didáctica. d. Motivación. e. Diseño.
2	Valora del 1 a 10 la metodología planteada para la enseñanza de los sistemas cristalinos.	a. Clase magistral. b. PVI. c. Resolución de problemas.
3	Posibles mejoras de la PVI	Comentario:

Tabla 1. Preguntas planteadas en las encuestas.

8. Principales resultados obtenidos y propuesta de mejora

Los resultados muestran la importancia del diseño en las herramientas virtuales (figura 7): a pesar de que la PVI tiene una buena valoración en relación a su utilidad didáctica (9 puntos sobre 10) y que la valoración recibida en cuanto a la facilidad de uso de la herramienta indica que es una aplicación intuitiva (9,5 puntos sobre 10), la herramienta no motiva con el mismo nivel (7,5 puntos sobre 10).

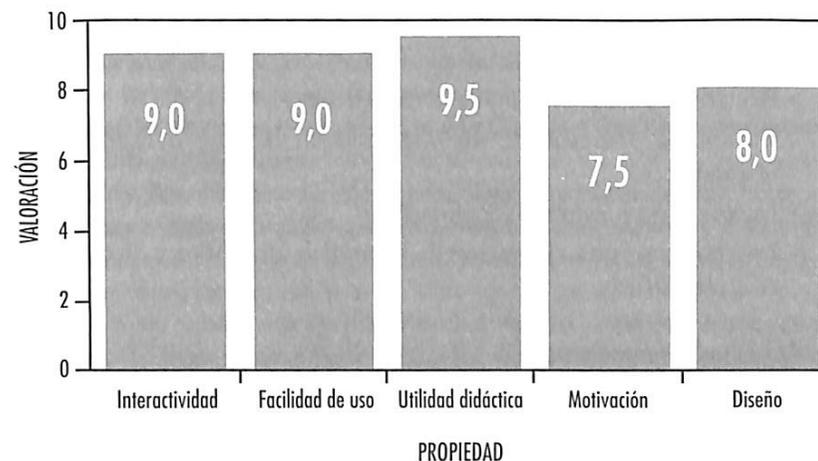


Figura 7. Valoración aportada por los estudiantes en relación a algunas propiedades de la PVI.

Las dos posibles causas de este resultado son: a) que los estudiantes no se sientan motivados por la temática en sí misma y b) que la PVI no motive debido a un diseño poco atrayente (valoración en la encuesta 8 puntos sobre 10, figura 7). Los dos factores son posibles pero, teniendo en cuenta que los estudiantes deben examinarse de la materia y que la PVI puede ayudar a comprender espacialmente todas las estructuras cristalinas, los autores consideran que el factor más influyente en la escasez de motivación es el diseño. Además, dado que los alumnos manejaron previamente otras PVI de laboratorios virtuales de ciencia de materiales mucho más sofisticadas (Vergara y Rubio, 2012; Vergara y Rubio 2015; Vergara, Rubio, Prieto y Lorenzo, 2016), el contraste pudo ocasionar esa valoración más baja de la presente PVI. Por lo tanto, existe una relación directa entre el diseño de una herramienta virtual y la motivación que genera en el usuario para seguir usándola.

Por otro lado, respecto a la metodología seguida, las encuestas sugieren una gran conformidad del alumnado, puesto que estos han valorado todas las fases por encima de los 8 puntos sobre 10. La fase mejor valorada, aunque solo ligeramente, es la última en la que ellos cooperan entre sí para lograr la resolución de un problema práctico (aprendizaje cooperativo). Las puntuaciones otorgadas a cada fase de la metodología, sobre 10 puntos posibles, son: 8,5 a la clase magistral, 8,5 a la PVI y 9 a la resolución de problemas. Por último, en relación a la tercera pregunta de la tabla 1, los alumnos también han hecho hincapié en una serie de mejoras que pueden aplicarse a la PVI:

- Rectificar algunas pequeñas erratas de texto.
- Indicar la posición de los huecos intersticiales octaédricos y tetraédricos.
- Incluir la estructura HCP en la PVI.
- Implementar una aplicación de los índices de Miller y direcciones cristalográficas.

9. Aspectos innovadores

Se pueden enumerar los siguientes aspectos innovadores de esta PVI:

- La PVI es una herramienta virtual interactiva que sirve para desarrollar mejor el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura Ciencia y Tecnología de los Materiales.
- Dicha PVI facilita la visualización y comprensión tridimensional de las redes cristalográficas utilizando un entorno completamente en 3D, a diferencia de otras plataformas anteriores que eran 2D.
- Al mejorar la visión y comprensión tridimensional, mejora también la comprensión de los conceptos estructurales y de comportamiento de las redes cristalográficas.

10. Conclusiones

Se ha presentado un recurso virtual interactivo desarrollado con el programa Unity®, que sirve para el proceso de enseñanza-aprendizaje de los sistemas cristalinos. Dada la dificultad de comprensión espacial de esta materia, la herramienta diseñada ayuda al estudiante a visualizar las redes espaciales y, de esta manera, facilita el proceso de enseñanza al profesor, que en muchos casos está limitado para poder explicar aspectos visuales. Acorde a las respuestas dadas por los estudiantes en una encuesta de control, se

observa que la PVI cumple los objetivos que se propusieron inicialmente, aunque también queda constancia de que su diseño es mejorable.

Bibliografía

- ASBHY, M. F. y JONES, D. R. H. (1999): *Engineering Materials 2*, Editorial Butterworth Heinemann.
- ASKELAND, D. R. (2001): *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Ediciones Thomson Paraninfo.
- BLATOV, V. A., SHEVCHENKO, A. P. y PROSERPIO, D. M. (2014): «Applied topological analysis of crystal structures with the program package ToposPro», *Crystal Growth and Design*, n.º 14, pp. 3576-3586.
- CALLISTER, W. D. (2003): *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Editorial Reverté.
- CHAN, C. y FOK, W. (2009): «Evaluating learning experiences in virtual laboratory training through student perceptions: a case study in electrical and electronic engineering at the University of Hong Kong», *English Education*, n.º 4 (2), pp. 70-75.
- CROWN, S.W. (2001): «Improving visualization skills of engineering graphics students using simple Javascript web based games», *Journal of Engineering Education*, pp. 347-355.
- FOSS, B. A. y EIKAAAS, T. I. (2006): «Game play in engineering education - concept and experimental results», *International Journal of Engineering Education*, n.º 22 (5), pp. 1043-1052.
- GARCÍA, D., CALVO, B., GAVRILENKO, E. y CUETO, R. (2000): «Web Cristamine: docencia de cristalografía y mineralogía en internet», *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, n.º 25, pp. 123-125.
- GARMENDIA, M., GUIASOLA, J. y SIERRA, E. (2007): «First-year engineering students' difficulties in visualization and drawing tasks», *European Journal of Engineering Education*, n.º 32 (3), pp. 315-323.
- GOODHEW, P. J. (2002): «Programas interactivos (software) para la enseñanza de Materiales», *Journal of Materials Education*, n.º. 24, pp. 39-44.
- HSI, S., LINN, M. C. y BELL, J. E. (1997): «The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction», *Journal of Engineering Education*, n.º 86, 151-158.
- RAFI, A., SAMSUDIN, K. A. e ISMAIL, A. (2006): «On improving spatial ability through computer-mediated engineering drawing instruction», *Educational Technology & Society*, n.º 9 (3), pp. 149-159.
- SHACKELFORD, J. F. (2005): *Introducción a la Ciencia de Materiales para ingenieros*, Ediciones Prentice Hall.

- STUKOWSKI, A. (2016): «Página web OVITO (open visualization tool)», <http://www.ovito.org> (fecha de consulta: 15 de enero de 2016).
- VERGARA, D., LORENZO, M. y RUBIO, M. P. (2015): «Handbook of research on recent developments in materials science and corrosion engineering education: Chapter 8, Virtual environments in materials science and engineering: the students' opinion», Hershey PA, USA, H. LIM (ed.), IGI Global, pp. 148-165.
- VERGARA, D. y RUBIO, M. P. (2015): «The application of didactic virtual tools in the instruction of industrial radiography», *Journal of Materials Education*, n.º 37 (1-2), pp. 17-26.
- VERGARA, D., RUBIO, M. P. y LORENZO, M. (2012): «New computer teaching tool for improving students' spatial abilities in continuum mechanics», *IEEE Technology and Engineering Education*, n.º 7 (4), pp. 44-48.
- (2015a): «A Virtual environment for enhancing the understanding of ternary phase diagrams», *Journal of Materials Education*, n.º 37 (3-4), pp. 93-102.
- (2015b): «Multidisciplinary methodology for improving students' spatial abilities in technical drawing», *Scientific Journal of Education Technology*, n.º 5 (1), pp. 1-8.
- VERGARA, D., RUBIO, M. P., PRIETO, F. y LORENZO, M. (2016): «Enhancing the teaching/learning of materials mechanical characterization by using virtual reality», *Journal of Materials Education*, n.º 38 (3-4), pp. 63-74.

Evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la gamificación educativa¹

Diego Vergara Rodríguez

José María Mezquita Mezquita

Manuel Pablo Rubio Caverio

Pablo Fernández Arias

Grupo VIMET (Virtual Instruction in Materials and Engineering Technology)

Universidad Católica de Ávila

1. Descripción

En el ámbito educativo la búsqueda de metodologías activas, que favorecen el grado de implicación del alumnado en el proceso de enseñanza-aprendizaje, está en auge (Baillie y Fitzgerald, 2000). En esta línea de trabajo, hay dos ramas que actualmente se están desarrollando con mayor interés: a) recursos virtuales y laboratorios virtuales, ya que pueden contribuir a un incremento del grado de curiosidad y motivación hacia el estudio en el alumnado (Vergara, 2014); y b) gamificación educativa, que emplea «juegos serios» para fomentar tanto la motivación por la materia de estudio como la creatividad del alumno (Marín-Díaz, 2015). Dado que los alumnos actuales —conocidos como nativos digitales (Prensky, 2001)— presentan un alto grado de interacción con ordenadores y dispositivos móviles desde su infancia, en esta comunicación se presenta una metodología activa de gamificación educativa que se desarrolla en un entorno virtual basado en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). La herramienta virtual educativa (HVE) presentada en esta comunicación tiene un formato similar al juego tradicional Trivial Pursuit, esto es, consta de una serie de preguntas con diferentes alternativas de respuesta. El juego se ha planteado para competir en grupos de trabajo, por lo que la metodología empleada se basa en el aprendizaje cooperativo.

2. Contexto de la práctica y referentes externos

La HVE presentada en esta comunicación está centrada en la asignatura Ingeniería de Materiales (TriviMat), correspondiente al segundo curso del Grado en Ingeniería Mecánica. Aun así, las ideas educativas mostradas en esta comunicación son extrapolables a cualquier otra materia

¹ Los autores desean manifestar su agradecimiento a la ayuda económica proporcionada por la Universidad Francisco de Vitoria para ejecutar el proyecto «Gamificación educativa en titulaciones técnicas».