



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Escuela Politécnica Superior de Zamora

MEMORIA DE RESULTADOS

Proyecto de Innovación Docente **ID2015/0267**

**APLICACIÓN 3D INTERACTIVA DE SIMULACIÓN
DE REDES CRISTALOGRÁFICAS. DESARROLLO E
IMPLEMENTACIÓN.**

PARTICIPANTES

MANUEL PABLO RUBIO CAVERO

JUAN ORTIZ MARCO

PEDRO HERNÁNDEZ RAMOS

DIEGO VERGARA RODRÍGUEZ

Zamora, 30 de Junio de 2016

INTRODUCCIÓN

Dentro de los planes de estudios de los grados de ciencias e ingenierías, las asignaturas relacionadas con la Ciencia e Ingeniería de Materiales ocupan una base fundamental en las competencias que deben adquirir los alumnos. En todas ellas existe un capítulo esencial en el estudio de la estructura de la materia que es el de las redes cristalográficas, redes espaciales de los sistemas cristalinos (Ashby & Jones, 1999; Pero-Sanz, 2000; Askeland, 2001; Mangonon, 2001; Coca & Rosique, 2003; Callister, 2003; Smith, 2004; De Saja et al, 2005; Shackelford, 2005; Smith & Hashemi, 2006). En un sólido cristalino las unidades básicas que lo componen (átomos, grupos de átomos o moléculas) se repiten periódicamente a lo largo del cristal formando una red tridimensional o "red de Bravais". 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 visión espacial: (i) visualización de una red espacial desde diferentes puntos de vista; (ii) visualización de secciones planares que identifican la disposición atómica desde diferentes puntos de vista; (iii) visualización de la posición octaédrica y tetraédrica de los huecos intersticiales de los sistemas cristalinos; etc. Como un elevado porcentaje de estudiantes que cursa estudios universitarios no escogió en bachillerato las asignaturas de Dibujo Técnico, no han desarrollado la visualización espacial (definida como la habilidad para gestionar mentalmente formas complejas tridimensionales) y tienen serias dificultades con la comprensión espacial de las redes cristalográficas.

Hasta ahora, la línea de trabajo principal en innovación docente de este equipo de investigación ha sido el desarrollo de herramientas didácticas basadas en las tecnologías de la comunicación y de la información (TIC), que han servido para ayudar a los alumnos a comprender diferentes conceptos de ingeniería que precisaban ciertas habilidades espaciales. Continuando en esta línea pero fuera de las aplicaciones habituales al dibujo técnico, este proyecto se ha enfocado a intentar resolver los problemas de visualización y comprensión de redes cristalográficas mediante simulación tridimensional interactiva.

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 et al, 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 et al, 2007; Vergara & Rubio, 2012; Vergara et al, 2012; Vergara et al, 2015a). Por otro lado la ventaja que el uso de herramientas virtuales puede tener en la docencia de titulaciones de ingeniería ha sido demostrada en varias ocasiones (Goodhew, 2002; Rafi et al, 2005; Foss & Eikaas, 2006; Vergara et al, 2015b). Así, en algunas experiencias docentes en titulaciones de ingeniería relacionadas con el uso de recursos virtuales en el aula se habla de una mejoría no sólo en los conocimientos de la materia trabajada sino también en la capacidad de visión espacial, ya que ésta es una competencia que se puede mejorar mediante un entrenamiento apropiado (Baenninger & Newcombe, 1989; Sorby & Baartmans, 2000; Crown, 2001; Leopold et al, 2001; Prieto & Velasco, 2002; Rafi et al, 2006). Teniendo todo esto en cuenta se puede afirmar que el diseño gráfico de cualquier aplicación didáctica virtual es un factor realmente

importante desde el punto de vista educativo y, en el caso de que ésta sirva para resolver algún problema relacionado con la visualización espacial, es un factor aún más relevante.

El recurso virtual que se ha desarrollado en este proyecto, 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, i.e. el alumno puede interactuar libremente con ellos para poder comprender espacialmente la posición de cada átomo dentro de la red cristalográfica, resolviendo así los posibles problemas que suele generar la visualización de este tipo de enseñanza. Este tipo de interactividad es realmente importante desde el punto de vista educativo, ya que parece existir un vínculo entre esta propiedad y las ganas de aprender de los estudiantes (Chan & Fok, 2009).

Las asignaturas impartidas en la Escuela Politécnica Superior de Zamora en las que se puede utilizar la aplicación objeto de este proyecto son:

- Grado de Ingeniería Mecánica (GIMec): Ciencia de los materiales.
- Grado de Ingeniería Civil (GIC): Química de materiales.
- Grado de Ingeniería Agroalimentaria (GIA): Química.
- Grado de Arquitectura Técnica (GAT): Fundamentos de materiales de construcción.

Durante este curso y como prueba piloto, se ha utilizado la aplicación en la asignatura de segundo curso del Grado de Ingeniería Mecánica, "Ciencia de los materiales".

DESARROLLO

En la primera fase de trabajo se estableció, en base a la experiencia docente de los profesores implicados en el proyecto y de los encargados de las asignaturas, cuáles eran los problemas relacionados con la falta de visión espacial de los alumnos que afectan a la comprensión de las redes cristalográficas dentro de las asignaturas implicadas en este proyecto, analizando qué contenidos del temario de éstas eran los adecuados para cumplir con los objetivos del proyecto.

Posteriormente se eligió el software más conveniente para desarrollar la aplicación. La aplicación obtenida es del tipo "Plataforma Virtual Interactiva" (PVI) y fue diseñada en el entorno de 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, e.g. Quest3D®, OGRE®, GameStudio®, etc., pero se consideró mejor el entorno Unity® por presentar una serie de ventajas: (i) 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; (ii) permite la programación utilizando una gran variedad de lenguajes; (iii) está orientado a componentes que permiten un crecimiento modular de la aplicación; (iv) tiene una documentación muy completa; (v) dispone de una modalidad de licencia gratuita que permite desarrollar aplicaciones desde el primer momento sin coste. Aunque para determinadas prestaciones es necesario utilizar la

versión profesional que se ha adquirido con una licencia educacional y con cargo a la financiación de este proyecto de innovación.

Como punto final de la fase de diseño se escribió un guión con las partes de la PVI y su proceso interactivo.

Una vez elegidos el entorno de trabajo, los contenidos y el guión, comenzó la etapa de modelado y programación. En esta etapa de trabajo se mantuvo en todo momento la coordinación entre los profesores implicados en el proyecto.

En esta memoria se describe la PVI, se plantea una metodología de aplicación en el aula y además se expone la opinión que ha despertado en el alumnado.

Descripción de la aplicación (PVI) desarrollada

La aplicación creada presenta el aspecto mostrado en las Figuras 1 y 2. En estas imágenes 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 (Figura 1) se encuentran tres diferentes tipos de redes espaciales (Figura 2): Cúbico Simple, Cúbico Centrado en el Cuerpo, y Cúbico Centrado en las Caras. De igual manera, aunque aquí no se muestren todas las imágenes, la PVI da acceso a los sistemas cristalinos: (i) Cúbico, (ii) Tetragonal, (iii) Ortorrómbico, (iv) Romboédrico o Trigonal, (v) Hexagonal, (vi) Monoclínico y (vii) Triclínico. También, pinchando en cada uno de ellos la PVI da acceso a sus respectivas redes espaciales: (i) Cúbico Simple, Cúbico Centrado en el Cuerpo, y Cúbico Centrado en las Caras; (ii) Tetragonal Simple, y Tetragonal Centrado en el Cuerpo; (iii) Ortorrómbico Simple, Ortorrómbico Centrado en el Cuerpo, Ortorrómbico Centrado en las Caras, y Ortorrómbico centrado en las Bases; (iv) Romboédrico Simple; (v) Hexagonal Sencillo; (vi) Monoclínico Simple, y Monoclínico Centrado en las Bases; (vii) Triclínico Sencillo.

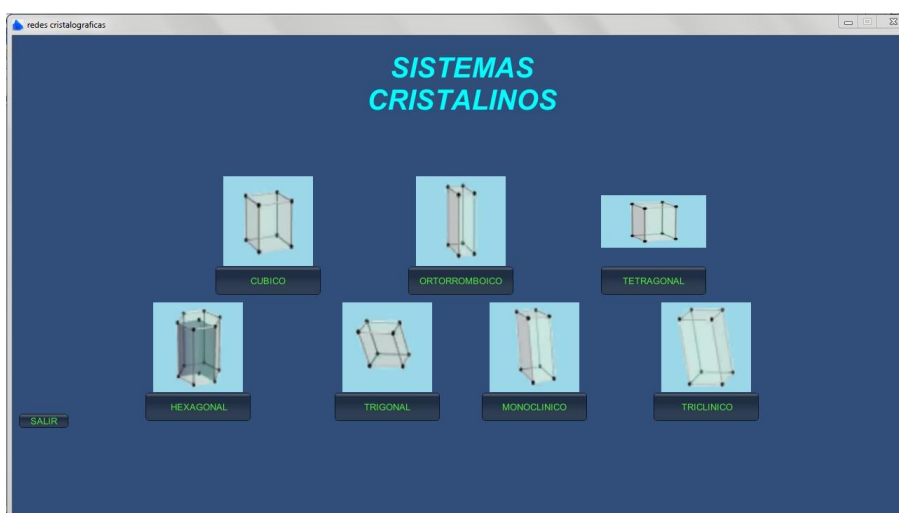


Figura 1: Plataforma Virtual Interactiva de Cristalografía: Sistemas Cristalinos.



Figura 2: PVI de Cristalografía: Redes espaciales del sistema cúbico.

Todas estas estructuras son parte del temario de cualquier asignatura de ciencia de los materiales y así vienen clasificadas en cualquier texto educativo.

La PVI permite al usuario ir buscando cada una de estos 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 da 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). Esta herramienta virtual 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.

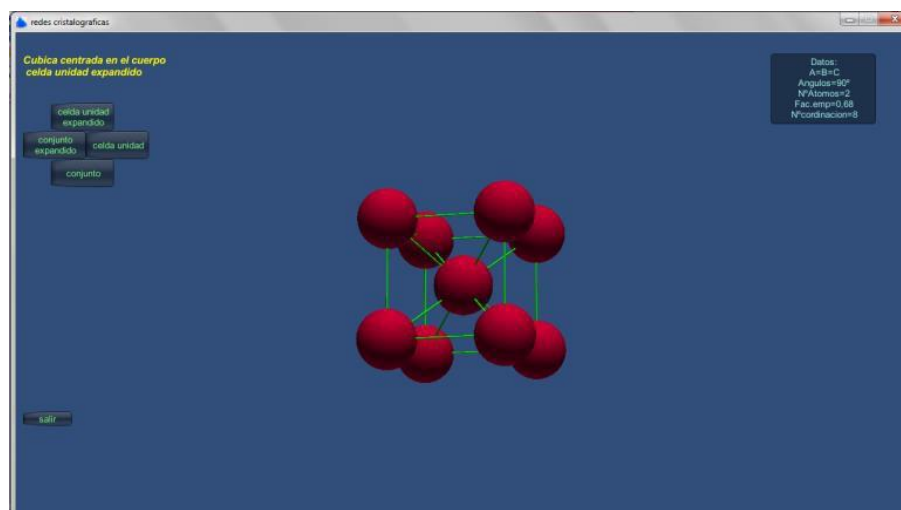


Figura 3: Opciones ofrecidas por la PVI. Dentro de cada red espacial: Celda unidad expandida

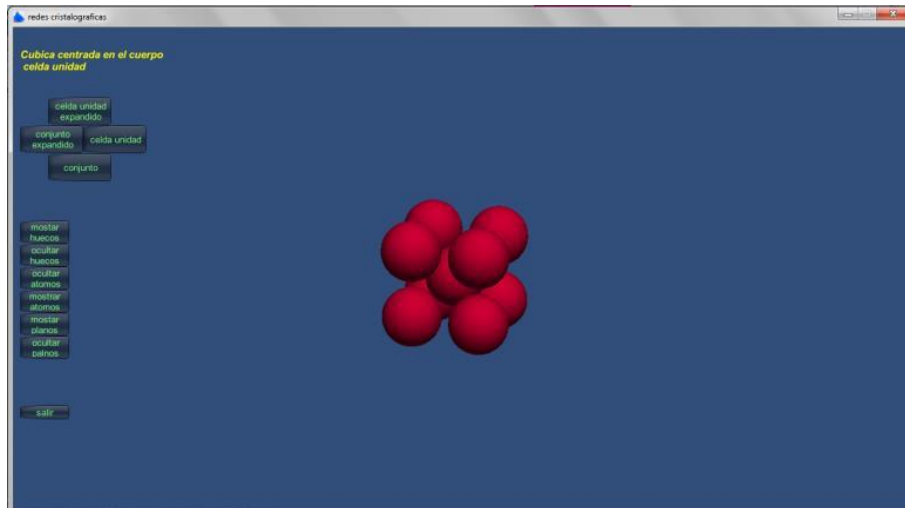


Figura 4: Opciones ofrecidas por la PVI. Dentro de cada red espacial: Celda unidad real

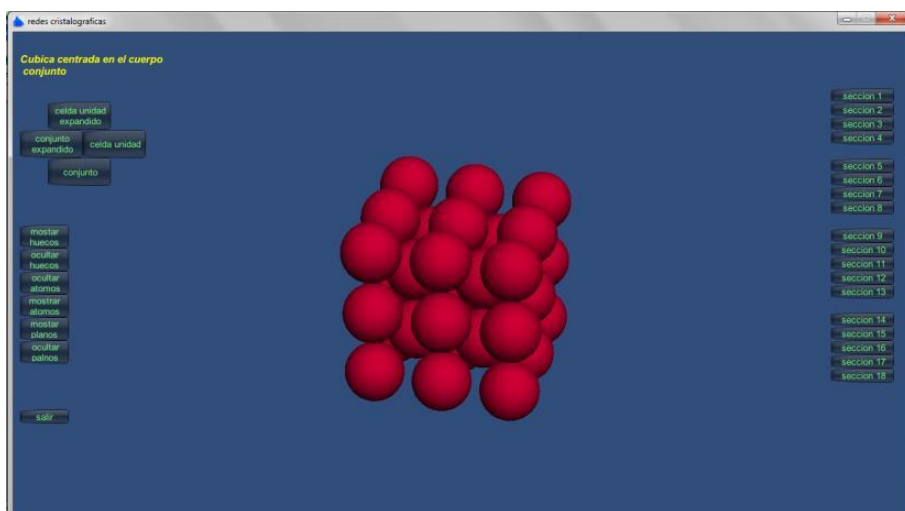
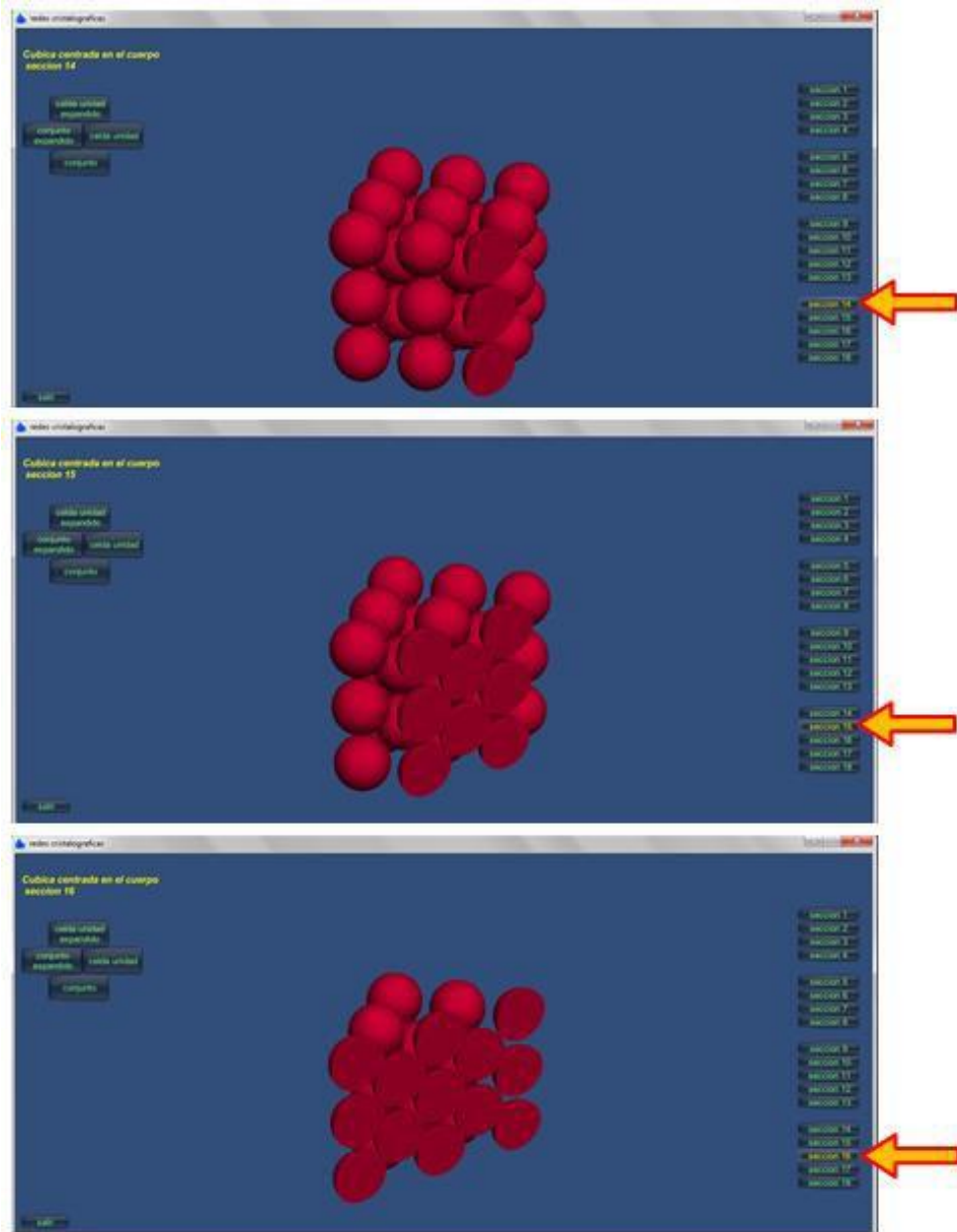
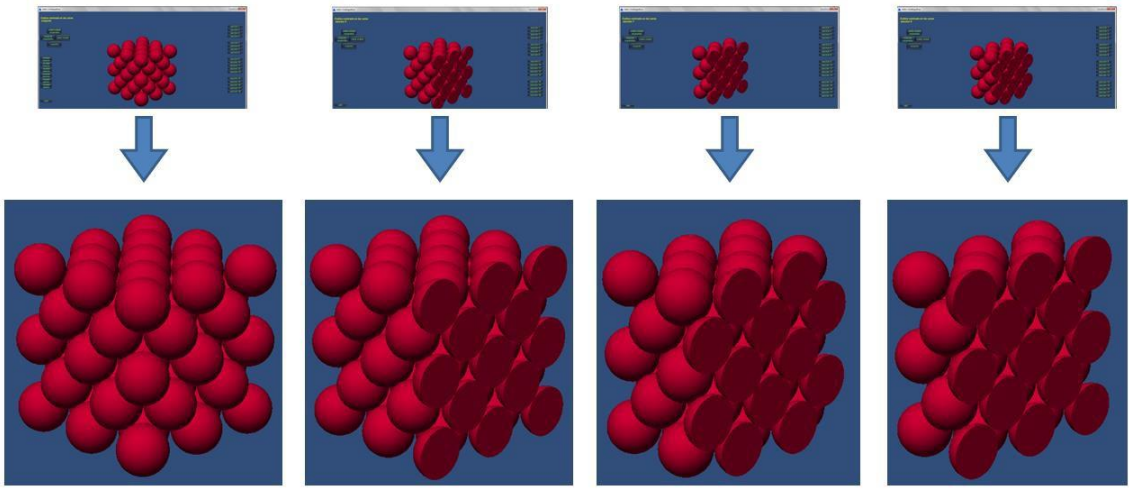


Figura 5: Opciones ofrecidas por la PVI. Dentro de cada red espacial: Red cristalográfica real

Para facilitar la comprensión de la posición espacial de las redes cristalográficas la PVI permite realizar secciones a las redes cristalográficas. En este sentido la Figura 6 muestra la apariencia de varios cortes en una red espacial del sistema cúbico centrado en el cuerpo (Figura 6a) y del sistema cúbico centrado en las caras (Figura 6b). A partir de estas figuras el lector puede darse cuenta de que visualizar espacialmente este tipo de redes no es fácil y, como tal, puede también comprender la dificultad que entraña poder explicar esto a los estudiantes sin la ayuda de ninguna herramienta.



(a)



(b)

Figura 6: Secciones de estructuras cúbicas: (a) Centrada en el cuerpo, (b) Centrada en las caras.

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 o red espacial donde el usuario desee (Figura 7).

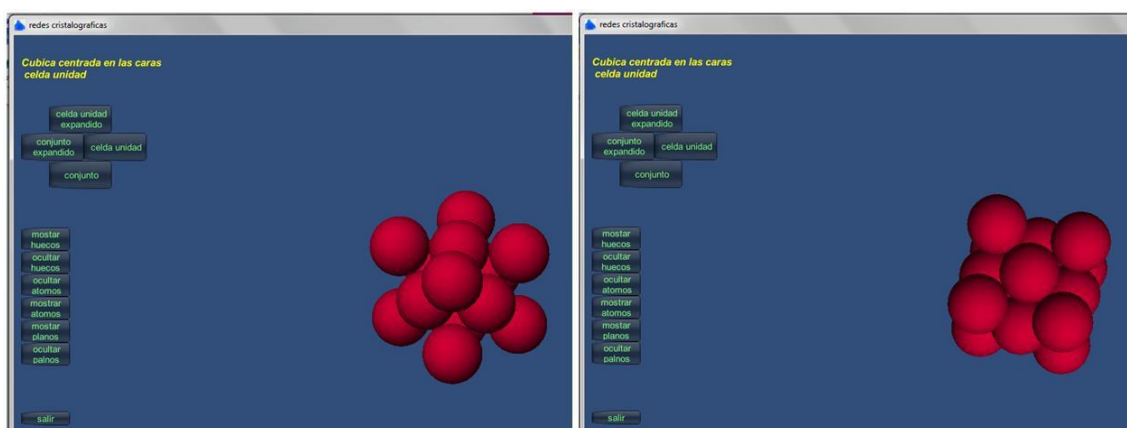


Figura 7: Rotación de la celda unidad mediante la interactividad en tiempo real.

Metodología, el uso de la aplicación en las clases

El *aprendizaje activo*, comparado con el tradicional basado en metodologías pasivas, supone un mayor esfuerzo de trabajo tanto para el alumno como para el profesor. A pesar de ello suele ser valorado positivamente por ambas partes, tanto por el profesorado como por los estudiantes implicados (Courcel et al, 2009; León & Crisol, 2011). De este modo, la metodología que se plantea en este artículo para el proceso de enseñanza-aprendizaje de los sistemas cristalinos está basada en un aprendizaje activo, siguiendo varias etapas (Tabla 1): (i) clase magistral; (ii) PVI mediante un proceso de *autoaprendizaje*; (iii) Resolución de Problemas mediante *aprendizaje cooperativo*.

FASE	DURACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	2 horas	Explicación teórica de los sistemas cristalinos: explicación de la teoría básica, de la formulación, de las direcciones cristalográficas, de los índices de Miller para planos cristalográficos, etc.
2	0.5 horas	Aplicación de recursos virtuales: comprensión espacial de cada uno de los sistemas cristalográficos y redes de Bravais. El uso de la PVI se hará a nivel individual favoreciendo un proceso de <i>autoaprendizaje</i> .
3	2 horas	Resolución de ejercicios: el alumnado resolverá una colección de ejercicios en grupos de 3-4 estudiantes, favoreciendo un proceso de <i>aprendizaje cooperativo</i> y de <i>aprendizaje entre iguales</i> .

Tabla 1: Metodología planteada

En primer lugar el profesor impartirá una clase magistral de aproximadamente 2 horas para dar a conocer todos los conceptos básicos de la teoría de la temática tratada. En esta fase se debe buscar un dinamismo en el aula y no restringirse a la tradicional enseñanza pasiva. Para ello los autores tienen preparado unos apuntes que el alumnado debe ir completando a medida que el profesor imparte la materia en la clase magistral, por lo que dejan de ser meros espectadores y deben implicarse en el ambiente de aprendizaje.

Posteriormente el alumno interactuará con la PVI para comprender espacialmente los sistemas cristalinos. Los autores consideran que esta fase es mejor desarrollarla a nivel individual, dado que cada estudiante necesita un tiempo diferente para alcanzar la comprensión espacial de este tipo de redes cristalográficas. Para que este proceso de autoaprendizaje sea efectivo, la PVI debe ser intuitiva y fácil de usar (esta herramienta virtual se ha diseñado buscando que el proceso de aprendizaje de los diferentes sistemas cristalinos sea repetitivo, facilitándose así su uso).

Por último el profesor entregará una colección de ejercicios a resolver de forma grupal (3-4 alumnos), favoreciendo un aprendizaje cooperativo. En este caso, dado que es la última etapa de la metodología y conviene asegurar que el proceso de aprendizaje sea lo más eficaz posible, los autores consideran que es mejor trabajar en equipo para resolver cooperativamente las dudas individuales de cada estudiante. Además, según estudios previos estos grupos reducidos de 3-4 personas pueden favorecer por sí mismos que el aprendizaje cooperativo sea más eficaz (Smith, 1996; Vergara, 2012), favoreciendo el aprendizaje entre iguales (Rodríguez & Escudero, 2000; Vergara & Rubio, 2013). En la Figura 8 se ha representado un esquema de la metodología planteada.

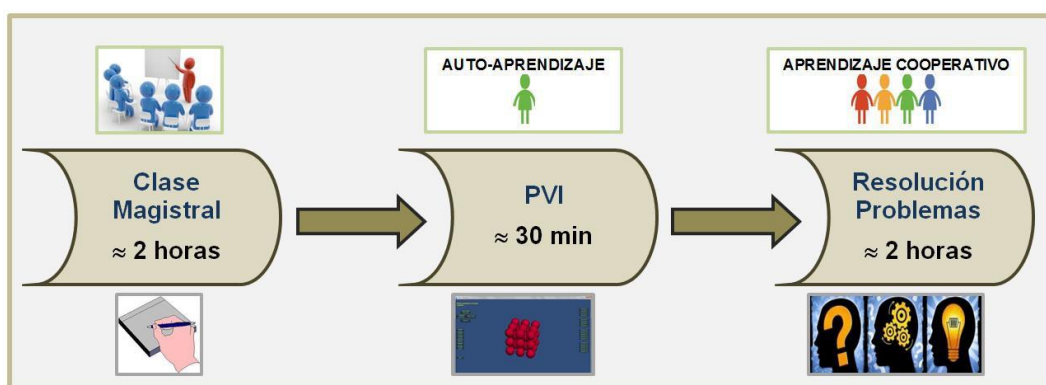


Figura 8: Esquema de la Metodología Planteada.

La Opinión de los Estudiantes.

En este apartado se va a exponer la opinión que han reflejado los estudiantes después de usar la PVI mostrada previamente. 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 2). Los resultados muestran la *importancia del diseño* en las herramientas virtuales (Figura 9): 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 en el mismo nivel a que el usuario quiera usarla (7.5 puntos sobre 10).

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 2: Preguntas Planteadas en las Encuestas

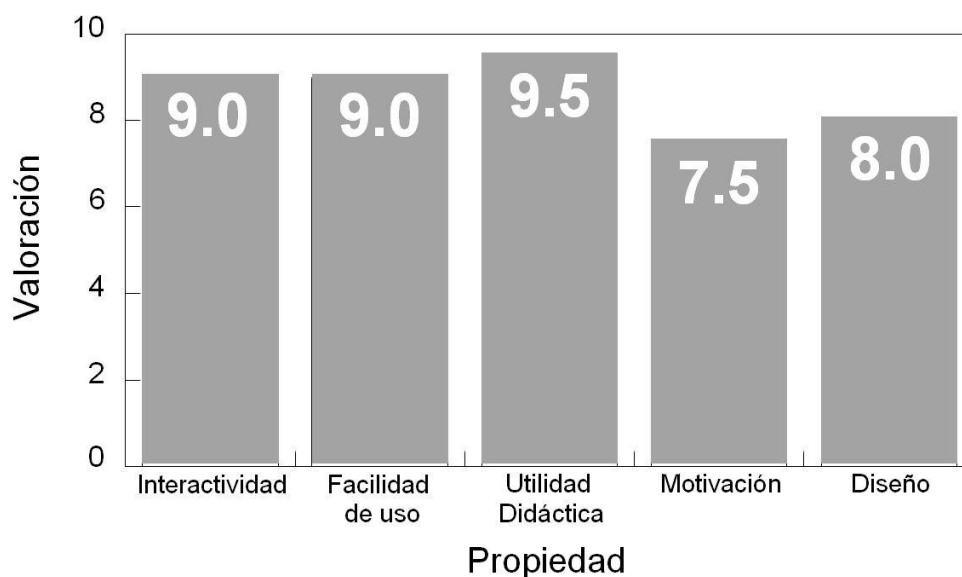


Figura 9: Valoración de los Estudiantes de la PVI.

Las dos posibles causas de este resultado son: (i) que los estudiantes no se sientan motivados por la temática en sí misma y (ii) que la PVI no motive debido a un diseño poco atrayente (valoración en la encuesta 8 puntos sobre 10, Figura 9). 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.

Por otro lado, respecto a la metodología seguida las encuestas sugieren la

conformidad del alumnado puesto que han valorado todas las fases por encima de los 8 puntos sobre 10. La fase mejor valorada, aunque sólo ligeramente, es la última en la que cooperan entre sí. 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 2, 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.

Consideraciones Finales

Se desarrollado 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.

Se ha podido comprobar, a partir de las encuestas realizadas a los estudiantes, que existe una relación directa entre el diseño de una herramienta virtual y la motivación que genera en el usuario para seguir usándola. Por lo tanto en este artículo se enfatiza la importancia del diseño de los recursos virtuales para que no sean sólo educativos sino también motivadores. Para ello conviene hacer encuestas periódicas a los estudiantes, de tal manera que la herramienta se actualice periódicamente con programas comerciales que sean lo más modernos posible.

Referencias

- ASBHY, M.F.; JONES, D.R.H. **Engineering Materials 2**. Editorial Butterworth Heinemann, 1999. ISBN: 0-7506-4019-7.
- ASKELAND, D.R. **Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. Ediciones Thomson Paraninfo, 2001. ISBN: 84-9732-016-6.
- BAENNINGER, M.; NEWCOMBE, N. The Role of Experience in Spatial Test Performance: A Meta-Analysis. **Sex Roles**, v. 20, n. 5/6, p. 327-344, 1989.
- CALLISTER, W.D. **Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. Editorial Reverté, 2003. ISBN: 84-291-7252-1.
- CHAN, C.; FOK, W. 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**, v. 4, n. 2, p. 70-75, 2009.
- COCA, P.; ROSIQUE, J. **Ciencia de Materiales, Teoría, Ensayos, Tratamientos**. Ediciones Pirámide, 2003. ISBN: 94-368-0404-X.

COURCEL, M.J.; GARCÍA, A.; RODRÍGUEZ, A.; ROMERO, M.A. ¿Qué Opinan los Alumnos Universitarios sobre las Nuevas Metodologías Activas de Enseñanza? **Revista de Curriculum y Formación del Profesorado**, v. 13, n. 1, p. 305-319, 2009.

CROWN, S.W. Improving Visualization Skills of Engineering Graphics Students Using Simple Javascript Web Based Games. **Journal of Engineering Education**, p. 347-355, 2001.

DE SAJA, J.A.; RODRÍGUEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, M.L. **Materiales –Estructura, Propiedades y Aplicaciones–**. Ediciones Thomson Paraninfo, 2005. ISBN: 84-9732-346-7.

FOSS, B.A; EIKAAS, T.I. Game Play in Engineering Education - Concept and Experimental Results. **International Journal of Engineering Education**, v. 22, n. 5, p. 1043-1052, 2006.

GARMENDIA, M.; GUIASOLA, J.; SIERRA, E. First-Year Engineering Students' Difficulties in Visualization and Drawing Tasks. **European Journal of Engineering Education**, v. 32, n. 3, pp. 315-323, 2007.

GOODHEW, P.J. Programas Interactivos (Software) para la Enseñanza de Materiales. **Journal of Materials Education**, v. 24, p. 39-44, 2002.

HSI, S.; LINN, M.C.; BELL, J.E. The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction. **Journal of Engineering Education**, v. 86, p. 151-158, 1997.

LEÓN, M.J.; CRISOL, E. Diseño de Cuestionarios (Oppumaugr y Opeumaugr): la Opinión y la Percepción del Profesorado y de los Estudiantes sobre el Uso de las Metodologías Activas en la Universidad. **Revista de Curriculum y Formación del Profesorado**, v. 13, n. 1, p. 305-319, 2011.

LEOPOLD, C.; GÓRSKA, R.A.; SORBY, S.A. International Experiences in Developing the Spatial Visualization Abilities of Engineering Students. **Journal of Geometry and Graphics**, v. 15, n. 2, p. 271-298, 2001.

MANGONON, P.L. **Ciencia de Materiales –Selección y Diseño–**. Ediciones Prentice Hall, 2001. ISBN: 970-26-0027-8.

PERO-SANZ, J.A. **Ciencia e Ingeniería de Materiales –Estructura, Transformaciones, Propiedades y Selección–**. Editorial Cie Dossat, 2000. ISBN: 84-95312-18-2.

PRIETO, G.; VELASCO, A. Predicting Academic Success of Engineering Students in Technical Drawing from Visualization Test Scores. **Journal of Geometry and Graphics**, v. 6, n. 1, p. 99-109, 2002.

RAFI, A.; KHAIRUL, A.; SAMAD, A.; MAIZATUL, H.; MAHADZIR, M. Improving Spatial Ability Using a Web-Based Virtual Environment (WbVE). **Automation in Construction**, v. 14, p. 707-715, 2005.

RAFI, A.; SAMSUDIN, K.A.; ISMAIL, A. On Improving Spatial Ability through Computer-Mediated Engineering Drawing Instruction. **Educational Technology & Society**, v. 9, n. 3, p. 149-159, 2006.

RODRÍGUEZ, L.M.; ESCUERO, T. Interacción entre Iguales y Aprendizaje de Conceptos Científicos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 18, n. 2, p. 255-274, 2000.

SHACKELFORD, J.F. **Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros**. Ediciones Prentice Hall, 2005. ISBN: 84-205-4451-5.

SMITH, K.A. Cooperative Learning: Making "Groupwork" Work. **Directions for Teaching and Learning**, v. 67, p. 71-82, 1996.

SMITH, W.F. **Ciencia e Ingeniería de Materiales**. Editorial Mc Graw Hill, 2004. ISBN: 84- 481-2956-3.

SMITH, W.F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales**. Editorial

Mc Graw Hill, 2006. ISBN: 970-10-5638-8.

SORBY, S.A.; BAARTMANS, B.J. The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students. **Journal of Engineering Education**, p. 301-307, 2000.

VERGARA, D. Una Experiencia Educativa de Aprendizaje Cooperativo en la Universidad. **Revista de Curriculum y Formación del Profesorado**, v. 16, n. 2, p. 339-354, 2012.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P. Aplicaciones del Diseño Gráfico en Ingeniería: Diagramas de Equilibrio Ternarios. **Educação Gráfica**, v. 16, n. 1, p. 44-58, 2012.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P. Implicación de la Educación Gráfica en la Enseñanza de los Ensayos No Destructivos. **Educação Gráfica**, v. 17, n. 2, p. 146-157, 2013.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P. The Application of Didactic Virtual Tools in the Instruction of Industrial Radiography. **Journal of Materials Education**, v. 37, n. 1-2, p. 17-26, 2015.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P.; LORENZO, M. New Computer Teaching Tool for Improving Students' Spatial Abilities in Continuum Mechanics. **IEEE Technology and Engineering Education**, v. 7, n. 4, p. 44-48, 2012.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P.; LORENZO, M. Interactive Virtual Platform for Simulating a Concrete Compression Test. **Key Engineering Materials**, v. 572, p. 582-585, 2014a.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P.; PRIETO, F. Nueva Herramienta Virtual para la Enseñanza de la Caracterización Mecánica de Materiales. **Revista Educación en Ingeniería**, v. 9, p. 98- 107, 2014b.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P.; LORENZO, M. Multidisciplinary Methodology for Improving Students' Spatial Abilities in Technical Drawing. **Scientific Journal of Education Technology**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2015a.

VERGARA, D.; LORENZO, M.; RUBIO, M.P. **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, p. 148-165, 2015b.



Fdo. MANUEL PABLO RUBIO CAVERO
Profesor Coordinador del Proyecto
Zamora, 30 de Junio de 2016