

## APLICACIONES DEL DISEÑO GRÁFICO EN INGENIERÍA: DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO TERNARIOS

Diego Vergara Rodríguez<sup>1</sup>

Manuel Pablo Rubio Cavero<sup>2</sup>

### Resumen

Dentro de las diferentes titulaciones de ingeniería existen muchas asignaturas que requieren de una buena *capacidad de visión espacial* para su comprensión. Un claro ejemplo es el tema de diagramas de equilibrio ternario, dentro de las asignaturas relacionadas con los materiales. Para comprender este tema en cuestión es imprescindible visualizar en tres dimensiones los diagramas de equilibrio, distinguiendo no sólo las fases visibles sino también las que quedan ocultas por estas anteriores. Los autores de este artículo han creado una herramienta docente que simula en tres dimensiones (3D) modelos didácticos interactivos de diagramas de equilibrio ternarios. Estos modelos permiten a cualquier persona que tenga dificultades de visión espacial interactuar fácilmente con ellos para llegar a comprender espacialmente el diagrama de equilibrio: rotándolos, cambiando los colores de las diferentes zonas del diagrama, convirtiendo diferentes zonas a translúcidas o transparentes, etc. Para implementar estas acciones en la herramienta se ha empleado el programa comercial 3DStudioMax<sup>®</sup> y, posteriormente, para programar la aplicación en *tiempo real*, también se ha usado el programa Quest3D<sup>®</sup>. La herramienta didáctica desarrollada tiene la propiedad de *interactividad* y, acorde a las encuestas realizadas a los alumnos, esto supone que resulte más útil, intuitiva y amena.

**Palabras clave:** visión espacial; diagramas de equilibrio ternarios; aplicaciones 3D interactivas; recursos virtuales; herramientas didácticas.

### Abstract

Among the different engineering degrees there are a lot of subjects which require a great *three-dimensional viewing capacity* in order to understand them. A clear example of this is teaching phase diagrams in subjects related to materials. It is essential to understand this topic to visualize phase diagrams in a three-dimensional way, distinguishing not only visible phases but also the hidden by the former ones. The authors of this paper have created an educational tool that simulates in three-D interactive didactic models of ternaries phase diagram. These models allow anyone with three-dimension viewing difficulties to interact easily with them, so that the spatial diagram can be understand by rotating, by changing colors of different zones of the diagram, by transforming different zones to translucent or transparent, etc. To implement these actions into the tool, 3DStudioMax<sup>®</sup> is required. Subsequently, Quest3D<sup>®</sup> is used to program the application in *real time*, added interactive properties to tool becomes more useful, intuitive and pleasant.

**Keywords:** three-dimensional viewing; three-dimensional phase diagrams; interactive 3D applications; virtual resources; didactic tools.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno, Universidad de Salamanca, dvergara@usal.es

<sup>2</sup> Departamento de Construcción y Agronomía, Universidad de Salamanca, mprc@usal.es

## 1. Introducción

El tema que versa sobre los diagramas de equilibrio o diagramas de fases es uno de los más destacados dentro del temario de las asignaturas que tratan la Ciencia de Materiales en enseñanzas o titulaciones de carácter técnico, ya que el hecho de dominarlo correctamente se hace imprescindible para la posterior comprensión de diferentes procesos ampliamente utilizados en el ámbito industrial, e.g., los tratamientos térmicos y los tratamientos termoquímicos de diferentes materiales. Debido a ello, prácticamente la totalidad de los libros enfocados a la docencia universitaria en el ámbito de la Ciencia de Materiales dedican un capítulo entero para desarrollar los conceptos necesarios para entender este tema (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 la docencia universitaria de los diagramas de fases, dentro de las titulaciones de ingeniería, se trabaja principalmente con los diagramas de equilibrio binarios en los que sólo hay dos componentes y, por lo tanto, al considerar constante una de las variables de estado, se representan en dos dimensiones (2D). La variable que se suele considerar constante es la presión, dando lugar a los diagramas de equilibrio binarios en los que se representa la temperatura vs. la concentración.

Por otro lado, los diagramas de equilibrio ternarios, que analizan tres componentes diferentes, suelen ser tratados en menor medida en la docencia universitaria, debido fundamentalmente a la dificultad que presentan al tener que ser visualizados mentalmente en tres dimensiones (3D). Tal es así que incluso a nivel industrial los diagramas más usados son los binarios, o simplificaciones bidimensionales de los ternarios a una determinada temperatura constante (corte isotérmico), que son más fáciles de comprender. Además, en los libros de docencia universitaria este tipo de diagramas ternarios apenas está desarrollado e incluso, en algunos casos, ni siquiera son considerados (Ashby & Jones, 1999; Mangonon, 2001; Callister, 2003; De Saja *et al*, 2005; Shackelford, 2005). A pesar de ello y teniendo en cuenta que la comprensión de estos diagramas de fases ternarios ayuda a conocer mejor los diagramas binarios y que la mayor dificultad para entenderlos radica en la visualización en tres dimensiones (3D), en este artículo se presenta una herramienta didáctica que puede ayudar al alumnado a alcanzar la concepción visual de lo que representa un diagrama compuesto por tres componentes.

En una comunicación previa (Vergara *et al*, 2007) los autores ya expusieron una aplicación informática, creada con 3DStudioMax®, que permite representar en 3D los diagramas de equilibrio ternarios de tal manera que el alumno que tenga dificultades de visión espacial pueda interactuar fácilmente con los modelos creados, rotándolos, girándolos, cambiando los colores de las diferentes zonas, haciendo transparentes unas zonas y otras no, etc. Incluso se mostró la posibilidad que ofrece esta herramienta de realizar cortes isotérmicos a cualquier temperatura, obteniendo directamente el resultado en la pantalla del ordenador. El inconveniente de esta herramienta es que requiere tener unos conocimientos mínimos del programa 3DStudioMax® para poder utilizarla. Por este motivo, con el fin de solventar esta dificultad, en este artículo se presenta la implementación de la aplicación en Quest3D® para que así cualquier persona, sin conocimiento de ningún tipo de programa informático específico, pueda hacer un uso práctico de ella.

La herramienta didáctica presentada en este artículo favorece un proceso de autoaprendizaje de los diagramas de equilibrio ternarios, ayudando al estudiante a comprenderlos espacialmente. Las encuestas realizadas al alumnado en relación con las aplicaciones docentes de esta herramienta didáctica muestran que la propiedad de interactividad hace que resulte, además de útil, totalmente intuitiva y amena.

## 2. Desarrollo de la herramienta

Tal como se ha expuesto en la introducción, la dificultad que presentan los diagramas de equilibrio ternarios para poder visualizarlos espacialmente ha servido para que los autores de este artículo se planteen cómo resolver este problema. Para ello, han diseñado modelos digitales que representan diferentes diagramas de equilibrio ternarios de tal manera que, al poder interactuar fácilmente con ellos, se pueda llegar a conseguir visualizarlos espacialmente y por lo tanto comprender su fundamento. Por lo tanto, la herramienta diseñada garantiza un *aprendizaje de tipo productivo* de los diagramas, i.e., desarrolla el hábito de pensar, razonar y relacionar o explicar la información (Hernández, 1995), aspecto importante desde el punto de vista didáctico.

En concreto, para crear esta herramienta interactiva se ha recurrido inicialmente al programa informático 3DStudioMax®, que permite desarrollar en tres dimensiones los diagramas de equilibrio ternarios, no sólo a nivel de diseño gráfico sino también desde el punto de vista del *autoaprendizaje*, ya que permite interactuar libremente con los diagramas diseñados (Vergara *et al*, 2007). Posteriormente se ha empleado Quest3D® para implementar la herramienta y que su utilización resulte más intuitiva.

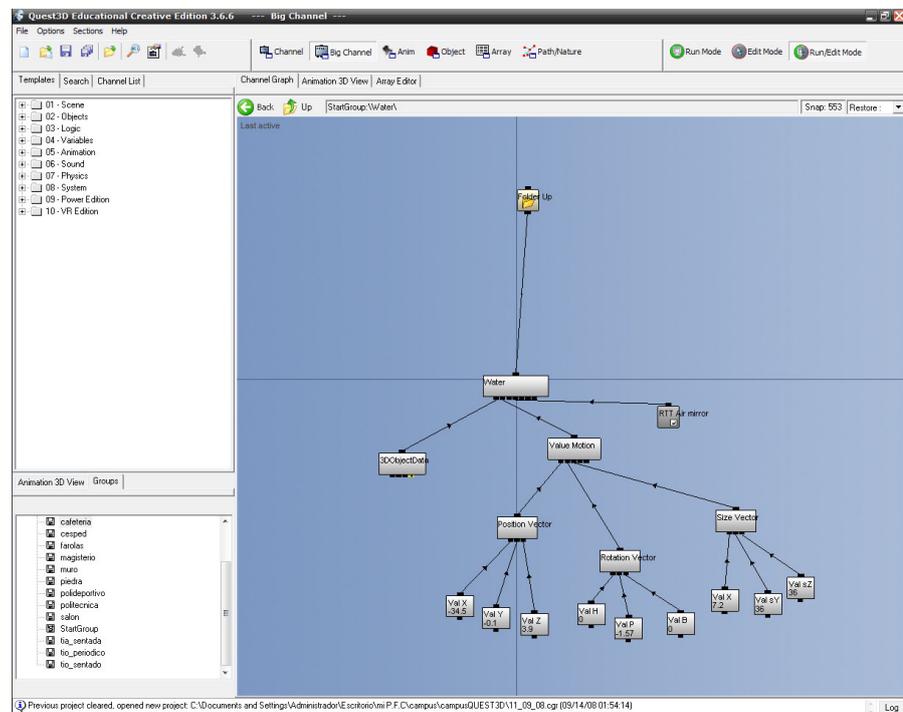
El programa 3DStudioMax® supone una aplicación informática de creación de gráficos y animaciones 3D. Es de propósito general y, además, es muy flexible ya que permite la exportación e importación de diferentes modelos y animaciones a otras plataformas tales como AutoCAD® o Quest3D®. Por consiguiente, el modelado de los diagramas de equilibrio ternarios aquí presentados se ha creado con esta aplicación. Para ello se ha requerido además el uso de curvas matemáticas con las que, mediante *NURBS* (non-uniform rational B-spline), se han podido generar las correspondientes superficies. Después se ha definido su apariencia visual aplicando diferentes materiales y, por último, se han animado las distintas fases con los movimientos necesarios para la finalidad didáctica que se pretende buscar.

Por otro lado, Quest3D® es la conjunción de un motor gráfico con una plataforma de desarrollo. Generalmente se usa en arquitectura, diseño de productos, videojuegos, software de entrenamiento y simuladores. Los modelos y animaciones son importados de paquetes de diseño asistido por ordenador, tales como Maya®, 3DStudioMax® y AutoCAD®. Una de las características más importantes de Quest3D® es la metodología de programación, totalmente diferente a la de los habituales lenguajes, e.g. C++. El entorno de desarrollo de Quest3D® es casi por completo visual. Las aplicaciones Quest3D® se desarrollan conectando componentes funcionales que se denominan "Channels". Si estos "Channels" se encuentran conectados o vinculados entre sí componen una estructura de árbol, que representa la estructura del programa que se implementa (Figura 1). Por cada fotograma representado en pantalla (frame) el árbol se ha tenido que ejecutar por completo una vez, invocando a cada channel".

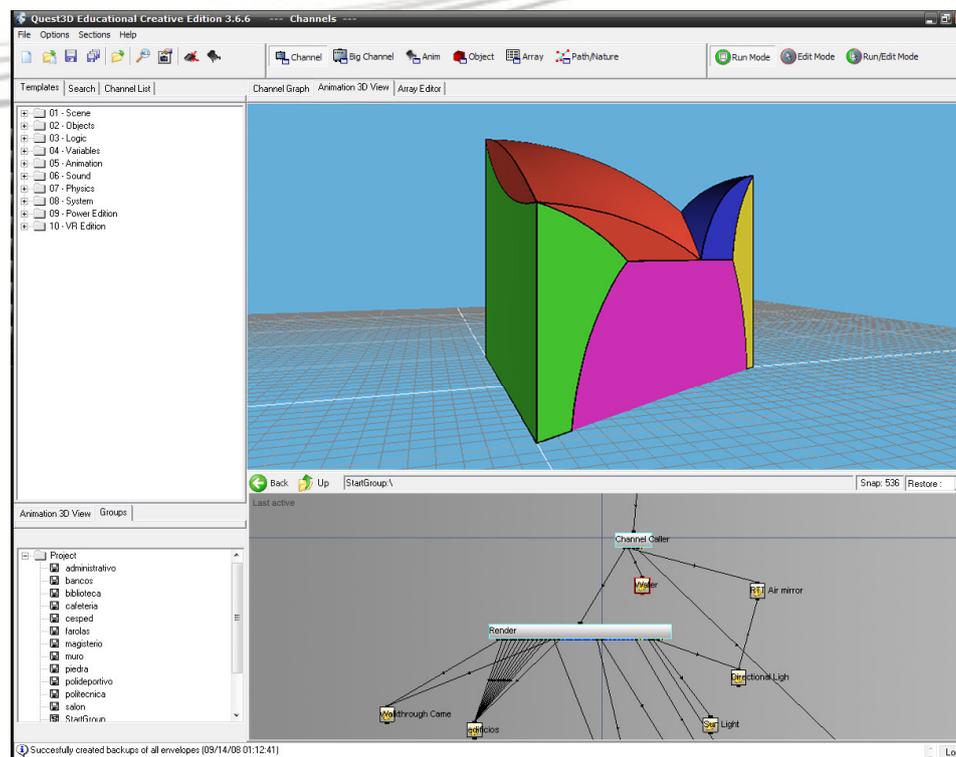
De esta manera, el resultado que se consigue es una aplicación 3D en *tiempo*

Aplicaciones del Diseño Gráfico en Ingeniería: Diagramas de Equilibrio Ternarios

*real*, algo verdaderamente útil desde el punto de vista didáctico, que es lo que se busca con este trabajo. Precisamente esta aplicación en tiempo real es lo que supone un avance frente al trabajo inicial desarrollado años atrás por los mismos autores (Vergara *et al*, 2007). De hecho, los autores están actualmente desarrollando otras herramientas con aplicación en tiempo real en otras asignaturas o materias de los estudios de ingeniería (Vergara *et al*, 2011a y 2011b), ya que hay una tendencia general al uso de *herramientas didácticas virtuales* en la docencia universitaria (Barrio *et al*, 2011; Heradio *et al*, 2011; Koretsky *et al*, 2011; Ruschel *et al*, 2011; Tori *et al*, 2011). Otra característica destacable del uso de Quest3D® es el hecho de que el programador puede modificar la aplicación mientras ésta se ejecuta, i.e., no existe compilación de código como en los entornos de programación habituales. Las aplicaciones finalizadas pueden ser publicadas en diferentes formatos, para permitir su visualización en diferentes medios: Fichero ejecutable “.exe” (plataforma Microsoft Windows) y visor WEB basado en un control ActiveX. Los navegadores soportados en la actualidad son Internet Explorer y FireFox.



(a)



(b)

Figura 1: Capturas de pantalla del entorno de programación del Quest3D®: a) árbol de funciones que define una parte del código del programa; b) vista en tiempo real de una aplicación 3D interactiva y de su árbol de funciones correspondiente.

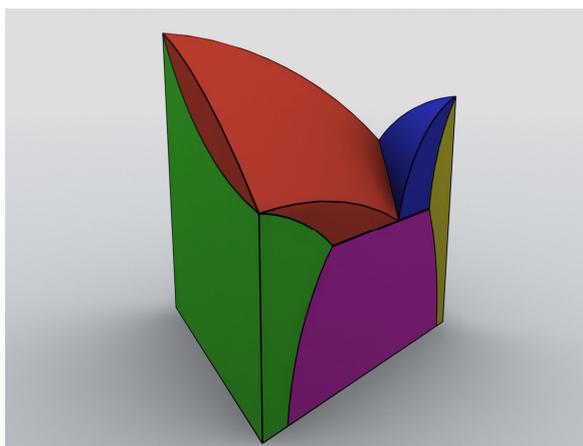
### 3. Aplicación

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de los diagramas ternarios diseñados para facilitar su comprensión. Se ha buscado en todo momento que, a simple vista, se alcance un entendimiento general de la disposición tridimensional de los distintos campos, tanto los monofásicos como los bifásicos o trifásicos, de esta manera se ha identificado cada campo con un color distinto. Respecto a los tres elementos del diagrama de fases simulado en la Figura 2, dos de ellos son totalmente miscibles entre sí en estado sólido (campo verde) y ambos son parcialmente miscibles con un tercero. Por lo tanto, este diagrama presenta una *línea eutéctica binaria*, que daría una colección de puntos de reacción eutéctica si se hiciesen cortes a composición constante (isopletras). La fase líquida virtual, que estaría por encima del diagrama representado en la Figura 2, no se ha simulado con esta herramienta para facilitar la comprensión al estudiante y porque desde el punto de vista de la ciencia de materiales no tiene aplicación industrial, i.e., se ha representado sólo hasta la superficie *liquidus*.

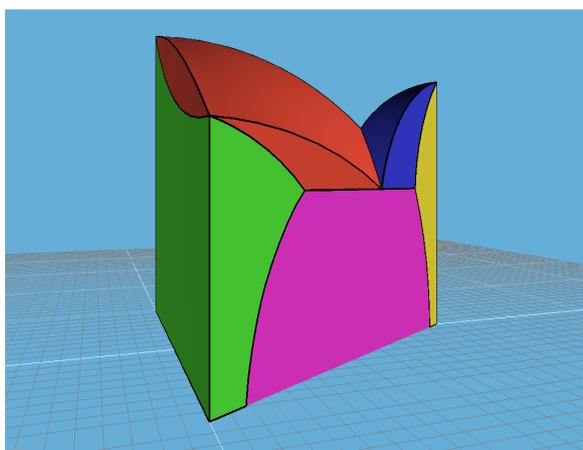
Además, 3DStudioMax® permite separar estos campos de tal manera que quien no haya conseguido visualizar la geometría de las diferentes zonas pueda alcanzar un mayor sentido visual del diagrama (*explosionado*). A modo de ejemplo, al representar en la Figura 3 la descomposición del diagrama expuesto en la Figura 2, se puede comprobar que existe un campo que queda oculto al representar el diagrama entero (zona de color marrón) y que puede dar lugar a confusiones a la hora de querer interpretar dicho

diagrama si no se ha tenido en cuenta. El explosionado es una de las propiedades didácticas que se le ha dado a la herramienta docente presentada en este artículo y con ella se pueden visualizar tanto las superficies *solvus* como las superficies *solidus*, que antes con el diagrama entero no eran visibles (cf. West, 1982).

Además, tal como viene representado en la Figura 4, se puede comprobar que otra posibilidad para comprender visualmente el diagrama es hacer transparentes ciertas zonas o fases de éste, pudiendo de esta manera observar las fases ocultas (aplicación de *transparencia*). Aun así, los autores de esta herramienta consideran que, desde el punto de vista didáctico, esta opción de observar zonas ocultas se puede realizar con mayor éxito con la aplicación de explosionado comentada previamente y representada en la Figura 3. Dicha aplicación permite separar todas las fases o simplemente una a una, favoreciendo así que el estudiante comprenda visualmente de manera autodidacta el diagrama de fases (*autoaprendizaje*). Además, con la aplicación de transparencia no se llega a comprender visualmente con igual precisión que con el explosionado las superficies *solvus* y *solidus*.



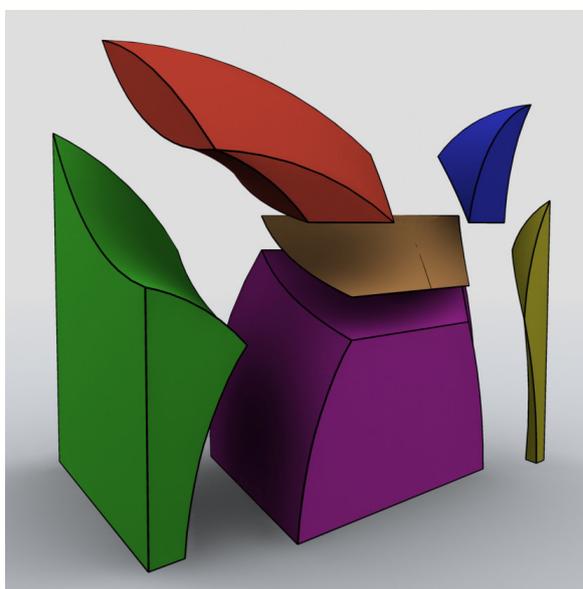
(a)



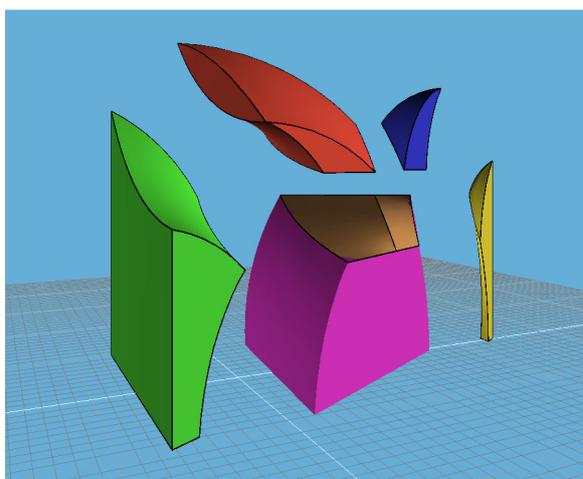
(b)

Figura 2: Diagrama ternario realizado con 3DStudioMax<sup>®</sup> con fines docentes: a) modelo creado; b) apariencia en la aplicación interactiva.

Otra aplicación del programa 3DStudioMax® muy útil desde el punto de vista del autoaprendizaje es la opción de rotación. En la Figura 5 se han representado diferentes puntos de vista del diagrama representado en la Figura 2. Con esta nueva posibilidad cualquier estudiante con dificultades de visión espacial puede llegar a comprender cualquier tipo de diagrama, simplemente rotándolo y fijándose en los cambios que van apareciendo con los distintos grados de giro. En esta Figura 5 se puede apreciar que desde determinados puntos de vista el diagrama ternario queda reducido a uno binario, comprobándose así que un diagrama ternario surge en realidad de la unión de tres diagramas binarios (en este caso se comprueba que el diagrama ternario representado procede de dos diagramas binarios con miscibilidad parcial en estado sólido y de otro con miscibilidad total en dicho estado).



(a)



(b)

Figura 3: Vista explosionada para facilitar la comprensión espacial 3D: a) obtenida del 3DstudioMax® ; b) apariencia en la aplicación interactiva.

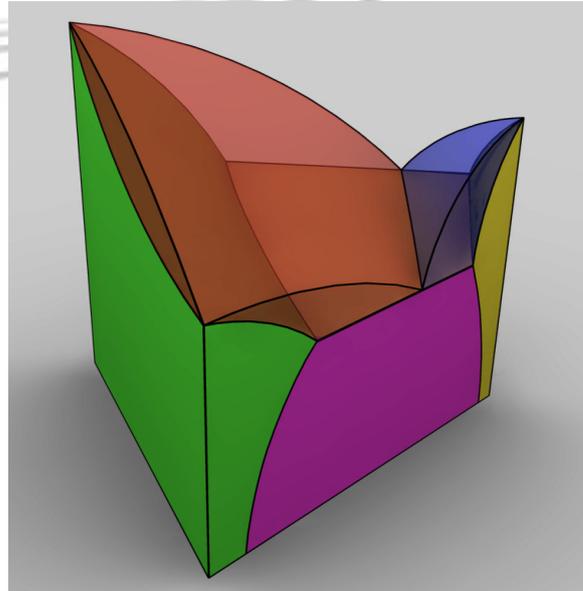


Figura 4: Diagrama con fases semitransparentes, realizado con 3DStudioMax<sup>®</sup>.

Como lo que se busca con esta aplicación es potenciar el *aprendizaje visual* de los diagramas ternarios, no es necesario poner escalas en los ejes de los modelos creados. Por otra parte, un aspecto que sí interesa destacar en estos modelos, desde un punto de vista didáctico, es que faciliten la visualización de las diferentes fases y los campos en los que éstas coexisten. Para poder identificar más fácilmente los campos monofásicos o bifásicos del diagrama se ha delimitado cada uno de ellos con un color. Según la opinión de los autores, no es necesario hablar de elementos químicos reales porque el objetivo de estos modelos didácticos es simplemente comprenderlos y visualizarlos espacialmente. Por ejemplo, a modo de explicación del diagrama ternario de la Figura 2 se puede indicar que en el campo bifásico de color morado coexisten las fases ficticias  $\alpha$  (representada con color verde) y  $\beta$  (representada con color amarillo). A pesar de ello, acorde a la opinión que manifestó el alumnado después de haberle realizado una encuesta acerca de la utilidad de esta herramienta, los autores han incluido una nueva aplicación que activa una leyenda aclaratoria del número de fases existentes (Figura 6) y que así favorece más aún un proceso de autoaprendizaje. Además, para un aprendizaje en mayor profundidad y sin dependencia del profesor, se les puede recomendar a los alumnos que consulten los diagramas simulados con los del libro especializado en el que se han basado los autores de este artículo para desarrollar esta herramienta didáctica (West, 1982).

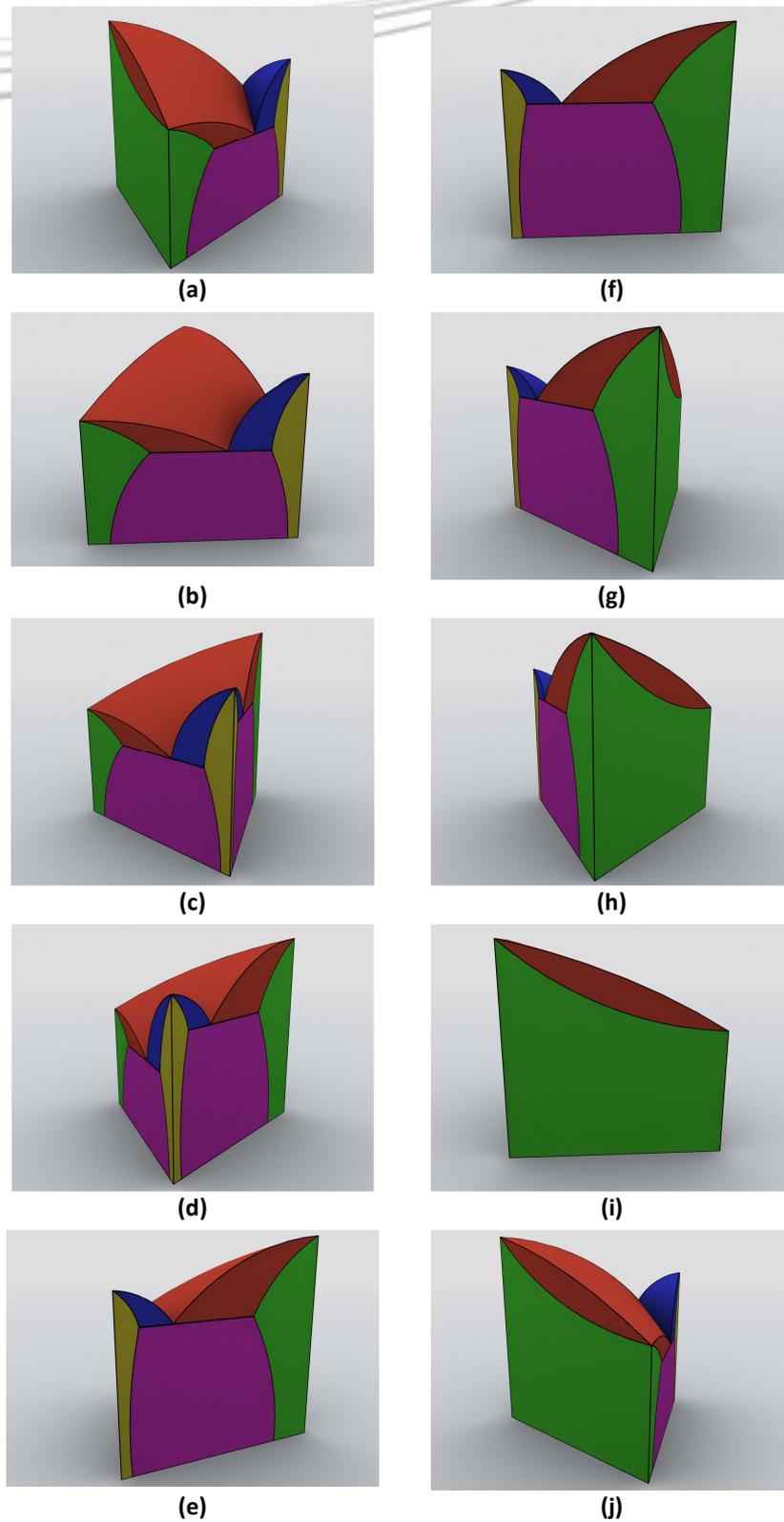


Figura 5: Diferentes puntos de vista de un diagrama ternario: (a) punto de vista inicial; (b) giro de 40°; (c) giro de 80°; (d) giro de 100°; (e) giro de 120°; (f) giro de 140°; (g) giro de 180°; (h) giro de 200°; (i) giro de 240°; (j) giro de 280°.

En resumen, la utilidad didáctica de esta herramienta queda abalada por la *opinión del alumnado* que considera que favorece claramente la comprensión espacial de los diagramas de equilibrio ternarios mediante el uso de aplicaciones interactivas. Además, el alumnado considera que esta interactividad colabora en que la herramienta resulte más amena y efectiva que una explicación magistral por parte del profesor.

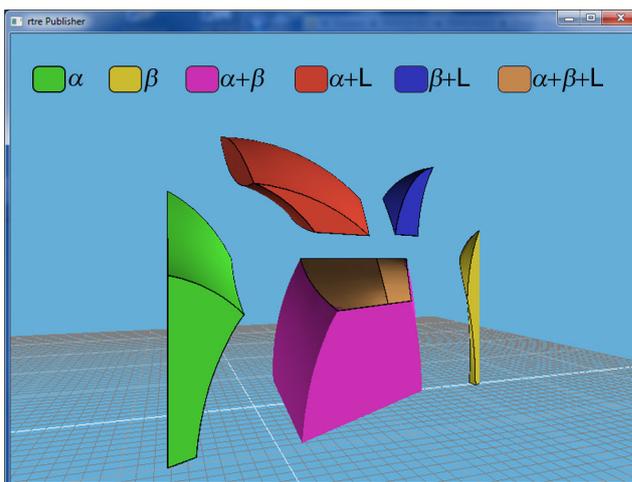


Figura 6: Leyenda explicativa de los campos monofásicos y bifásicos en el diagrama simulado.

Por otro lado, en la realidad los diagramas ternarios, debido a la dificultad de comprensión que presentan, suelen ser analizados realizando cortes isotérmicos a distintas temperaturas, de tal manera que el análisis se realiza sobre secciones triangulares representadas en un plano bidimensional (2D). La herramienta didáctica aquí presentada permite también realizar este tipo de cortes de manera automática, de tal manera que el estudiante puede ir desplazando la altura a la que quiere el corte del diagrama en una parte de la pantalla mientras, a su vez, visualiza en otra parte la sección triangular. Por lo tanto, se puede comprobar de nuevo que el uso de esta herramienta para el diseño de diagramas de equilibrio ternario facilita tanto la docencia al profesor como la comprensión a los alumnos, ya que aclara y mejora la visualización espacial de estos diagramas.

A modo de ejemplo, se han expuesto en la Figura 7 diferentes cortes realizados al diagrama de la Figura 2 mediante el programa 3DStudioMax®. Dichos cortes, que representan diferentes planos isotérmicos del diagrama, se han efectuado a diferentes alturas respecto a la línea eutéctica binaria, uno por encima, otro por debajo y otro justo cortando dicha línea. Aunque las secciones presentadas en las Figuras 7a y 7c parecen fáciles de entender a primera vista, la que corta justo por la línea eutéctica (Figura 7b) presenta un grado de dificultad superior. De esta manera se puede intuir la complejidad que los estudiantes pueden encontrarse a la hora de pretender visualizar mentalmente este tipo de secciones y el enorme potencial que esta herramienta representa desde el punto de vista pedagógico.

Por otro lado, en lugar de mantener zonas traslúcidas para visualizar los cortes isotérmicos, otra manera de facilitar la comprensión de éstos es teniendo en cuenta los

colores de las diferentes fases, e.g., si a partir de la Figura 2, que muestra un diagrama ternario coloreado, se hicieran los cortes isotérmicos mostrados en la Figura 7 se tendrían que ver las secciones isotérmicas tal como se muestran en la Figura 8. Esta aplicación es realmente útil desde el punto de vista pedagógico, ya que permite denotar fácilmente qué fase o fases existen en cada campo por identificación de colores.

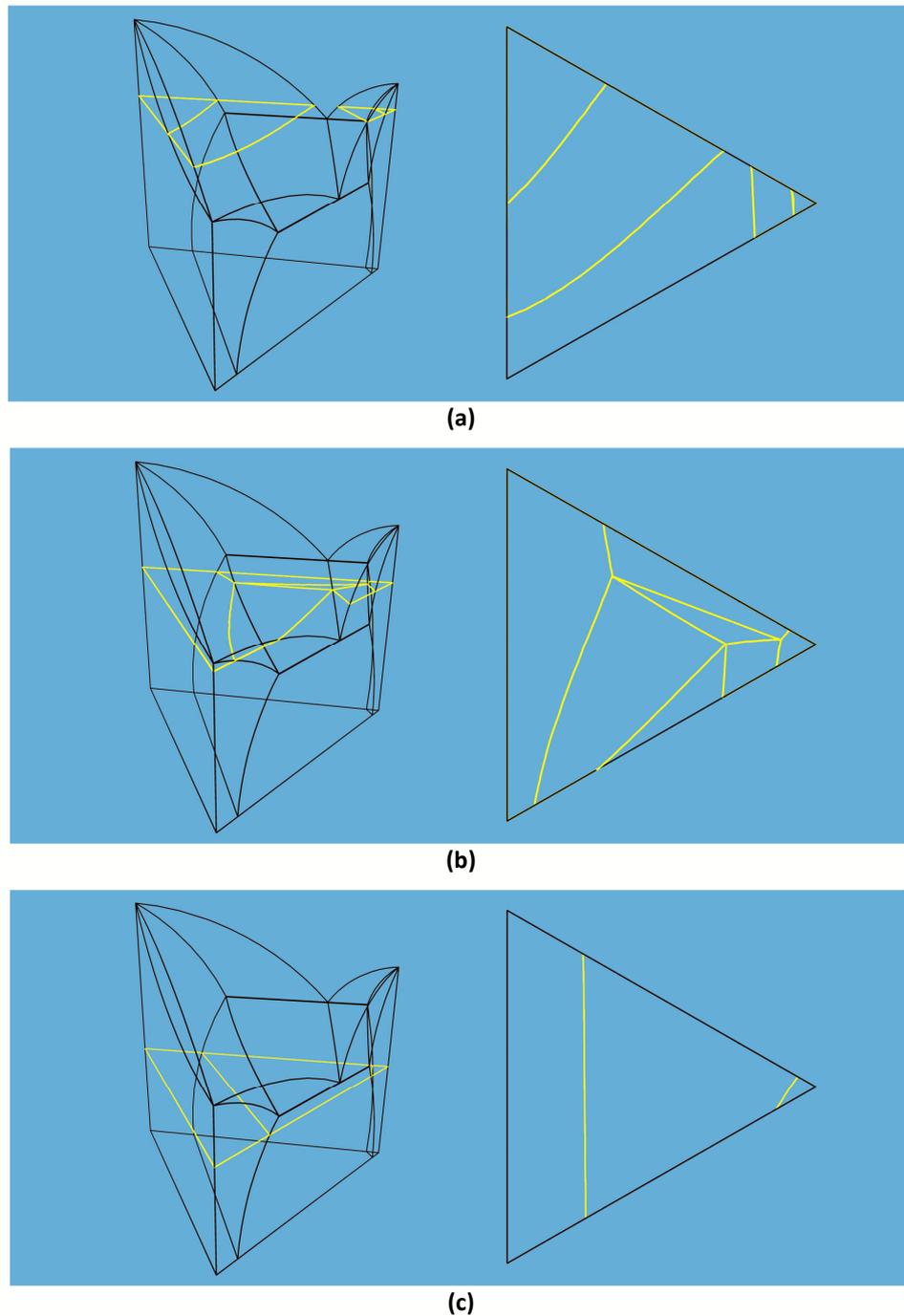
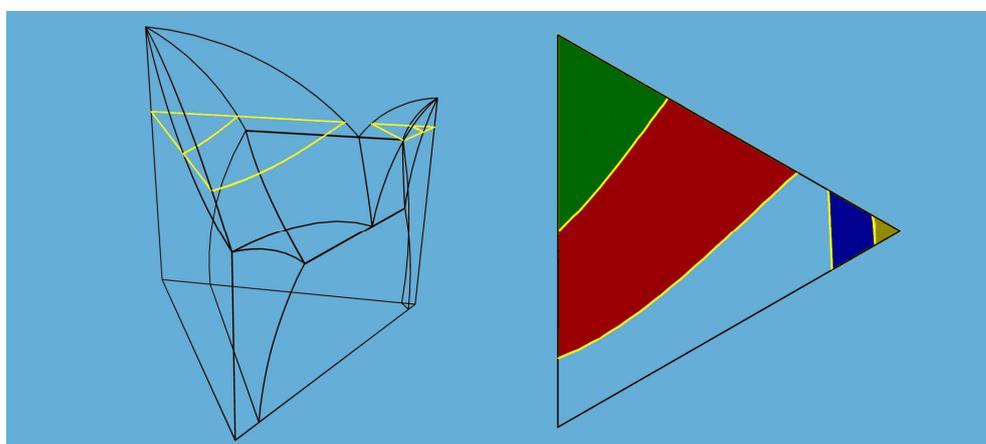
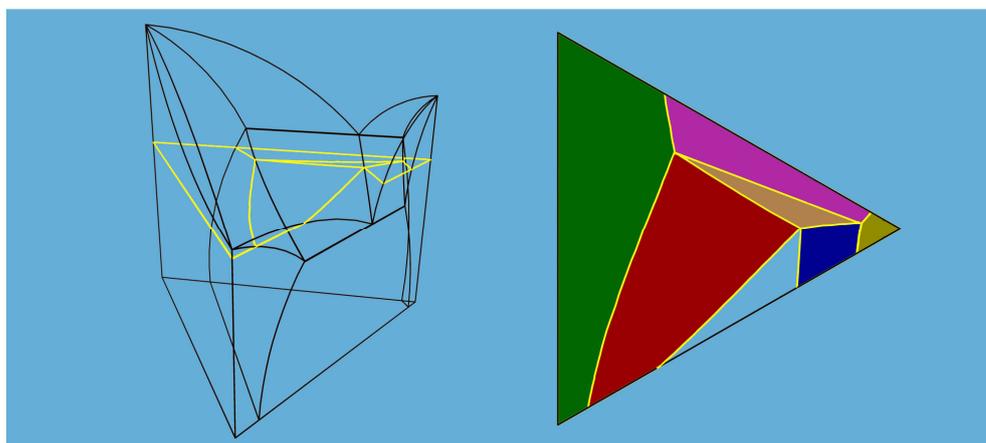


Figura 7: Secciones isotérmicas a diferentes alturas: (a) por encima de la línea eutéctica binaria, (b) cortando la línea eutéctica binaria, (c) por debajo de dicha línea.

En la Figura 8 los campos con color azul indican que no ha habido corte en la figura, i.e., indican una fase líquida. Esto se debe a que en el diseño del diagrama ternario de la Figura 2, para simplificar la tarea de visión espacial al alumnado, no se ha tenido en cuenta la fase líquida. Los contornos amarillos que se muestran en la Figura 8 se han creado simplemente para poder comparar los diferentes campos que aparecen en la Figura 7. Por otro lado, las aplicaciones didácticas de esta herramienta están claramente vinculadas con la rama de la Expresión Gráfica, e.g., la Figura 7 no se entendería si previamente no se hubiesen estudiado unas nociones mínimas de intersecciones de superficies en la asignatura de dibujo técnico.



(a)



(b)

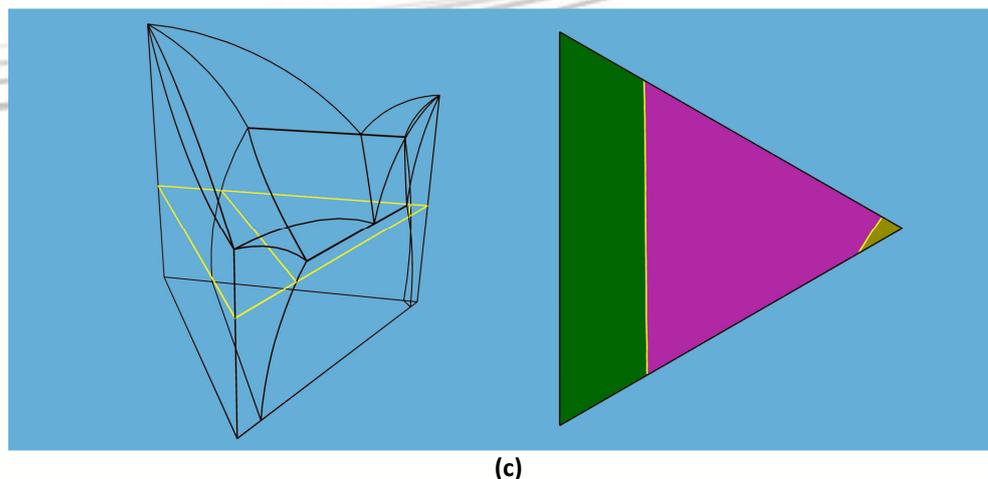


Figura 8: Secciones isotérmicas coloreadas, a diferentes alturas: (a) por encima de la línea eutéctica binaria, (b) cortando la línea eutéctica binaria

#### 4. Opinión de los estudiantes

Para comprobar la opinión de los estudiantes, que son los que en realidad deben valorar la competencia docente de esta herramienta, se realizó una encuesta a alumnos de diferentes ingenierías de la Universidad de Salamanca, tanto de la Escuela Politécnica Superior de Ávila como de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. La valoración media del alumnado alcanzó 8.5 puntos sobre diez cuando se realizó la encuesta correspondiente. Las propuestas de mejora que propusieron para esta herramienta didáctica se debían a que, acorde a los alumnos, los diagramas de equilibrio ternarios simulados con este recurso virtual se entendían perfectamente con la ayuda del profesor –lo cual indica que el alumnado valora el potencial docente de la herramienta– pero no eran totalmente intuitivos por sí mismos. El hecho de que la comprensión de los diagramas se pudiese realizar con esta herramienta sin una dependencia del profesor fue muy valorado por parte del alumnado y, por ello, la inclusión de una leyenda con las fases (Figura 6) ha sido fruto de las propuestas de mejora que plasmaron las encuestas de los estudiantes. Por otro lado, lo más valorado de esta herramienta didáctica en las encuestas fue que se pudiese manejar en *tiempo real* y de manera *interactiva*.

#### 5. Conclusiones

Se han diseñado varios modelos didácticos enfocados a facilitar la enseñanza de los diagramas de equilibrio ternarios con el objetivo de favorecer la comprensión espacial de éstos.

Al implementar los modelos diseñados con 3DStudioMax® en Quest3D® se consigue programar la aplicación en *tiempo real*, añadiendo interactividad para que la herramienta resulte útil, intuitiva y amena.

Estas herramientas didácticas permiten interactuar activamente con ellas, ayudando a solventar, mediante un proceso de autoaprendizaje, las dificultades de visualización espacial que presentan los diagramas de equilibrio ternarios.

Se han aplicado varias funciones didácticas interactivas a los modelos creados, que han sido valoradas positivamente por los estudiantes: explosionado, rotación,

transparencia, giro, cambio de coloración de las diferentes zonas, etc.

### 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.

BARRIO, R; LARRONDO, J; BLANCO, E; FERNÁNDEZ, J. Introducción de laboratorios virtuales en la enseñanza no presencial mediante entornos de trabajo propios. **Revista de formación e innovación educativa universitaria**, v. 4, n 1, p. 55-67, 2011.

CALLISTER, W.D. **Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales**. Editorial Reverté, 2003. ISBN: 84-291-7252-1.

COCA, P.; ROSIQUE, J. **Ciencia de Materiales, teoría, ensayos, tratamientos**. Ediciones Pirámide, 2003. ISBN: 94-368-0404-X.

WEST, D.R.F. **Ternary Phase Diagrams**. Editorial Chapman & Hall, 1982. ISBN: 9780412229701.

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

HERADIO, R.; TORRE, L.; SÁNCHEZ, J.; DORMIDO, S.; VARGAS, H. An architecture for virtual and remote laboratories to support distance learning. **Proceedings: Research in Engineering Education Symposium (REES)**, Madrid, España, 2011, p. 579-587. ISBN: 978-84-695-2615-6.

HERNÁNDEZ, P. **Diseñar y enseñar. Teoría y técnicas de la programación y del proyecto docente**. Editorial Narcea, 1995. ISBN: 84-277-0869-6.

KORETSKY, M.; KELLY, C.; GUMMER, E. Student perceptions of learning in the laboratory: comparison of industrially situated virtual laboratories to capstone physical laboratories. **Journal of engineering education**, v. 100, n. 3, p. 540-573, 2011.

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.

RUSCHEL, R.; HARRIS, A.L.; BERNARDI, N. Tecnologia e multidisciplinaridade, inovando o ensino de arquitetura e engenharia. **Revista FAAC**, v. 1, n. 1, p. 21-34, 2011.

SHACKELFORD, J.F. **Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros**. Ediciones Prentice Hall, 2005. ISBN: 84-205-4451-5.

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.

TORI, R.; NAKAMURA, R.; NUNES, F.L.S.; BERNARDES, J.L.; FERREIRA, M.A.G.V.; RANZINI, E. Interlab: interactive technologies laboratory. **SBC Journal on 3D interactive systems**, v. 2, n. 2, 94-97, 2011.

VERGARA, D.; RUBIO, M.P.; LORENZO, M. Aplicación de las nuevas tecnologías para facilitar la visualización de los diagramas de equilibrio ternarios. **Proceedings: II Jornadas de Innovación Educativa**, Zamora, España, 2007, p. 768-775. ISBN: 978-84-7800-369-3.

VERGARA, D.; RUBIO M.P.; LORENZO, M; RAMOS, A. Nuevas herramientas docentes interdisciplinares: mecánica de medios continuos y expresión grafica. **Proceedings: Third International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE)**, Lisboa, Portugal, 2011a, p. 143-150. ISBN: 978-989-8525-05-5

VERGARA, D.; RUBIO M.P.; FERRERO, R. Aplicación de plataformas virtuales interactivas en la docencia universitaria: materiales de construcción. **Proceedings: I Jornadas de Innovación Docente**, Universidad de Salamanca, España, 2011b, p. 310-315. ISBN: 978-84-615-6562-7