

Una innovadora metodología para ejercitar la capacidad de visión espacial de los estudiantes de ingeniería

An innovative methodology to practice the three dimensional viewing capacity of engineering students

Diego Vergara Rodríguez
Manuel Pablo Rubio Cavero

Universidad de Salamanca, España

Resumen

Los estudiantes de ingeniería tienen que tener una buena capacidad de visión espacial para enfrentarse a las tareas cotidianas de su titulación. En este sentido, teniendo en cuenta que esta capacidad se puede mejorar mediante un entrenamiento adecuado, en este artículo se plantea una innovadora metodología basada en la existencia de vínculos interdisciplinarios entre el dibujo técnico y otras materias de carácter más práctico que, además, ayuda a reforzar la visión espacial de los estudiantes mediante unos ejercicios totalmente originales. Concretamente, este artículo trata el vínculo existente entre la asignatura Dibujo Técnico y la radiología industrial, obteniendo las vistas de una pieza (planta, alzado y perfil) como si fueran radiografías. Para ello, es necesario aplicar los conceptos propios de la radiología industrial, que definen de manera cuantitativa la coloración de las distintas zonas de una radiografía, en función del tipo de material y del espesor que tiene la pieza representada. La metodología activa que se plantea en este artículo ayuda: (i) a mejorar las habilidades espaciales del alumnado y (ii) a hacer más entretenido el estudio del dibujo técnico al acercar al estudiante al mundo profesional del ingeniero.

Palabras clave: visión espacial; radiología industrial; expresión gráfica; dibujo técnico; metodologías activas; TIC.

Abstract

Engineering students must have a good capacity of spatial visualization to face up the tasks of their studies. In this sense, taking into account that it is possible to improve this capacity by means of an adequate training, an innovative methodology is proposed in this paper, which is based on establishing interdisciplinary links between technical drawing and other more practical issues and, which also helps students to reinforce their spatial abilities through original exercises. Specifically, this paper deals with the link between the Technical Drawing subject and the industrial radiology, obtaining the views of a part (plan, elevation and profile) as radiographs. It is necessary to apply the fundamental concepts of radiology, which define the color of the different radiograph zones in a quantitative way, according to both the type of material and the thickness of the represented part. The active methodology proposed

in this paper helps: (i) to improve the spatial abilities of students and (ii) to make the study of technical drawing more enjoyable, bringing students closer to the professional life of an engineer.

Key words: three-dimensional viewing; industrial radiology; graphic expression; technical drawing; active methodologies; ICT.

Introducción

Un porcentaje considerable de los estudiantes que se matriculan en titulaciones de ingeniería en las universidades españolas no cursó previamente en bachillerato la asignatura Dibujo Técnico (Hernández et al, 2008). Este hecho favorece que, durante sus estudios universitarios, estos alumnos tengan serias dificultades con las asignaturas vinculadas con el dibujo o con temas relacionados con la visión espacial y, por ello, las asignaturas relacionadas con el área de Expresión Gráfica sean de las últimas que aprueban. De hecho parece estar aceptado que, de manera general, superar la asignatura Dibujo Técnico en una titulación de ingeniería presenta una mayor dificultad al alumnado que otras materias de la titulación (Garmendia et al, 2007; Hernández et al, 2008). En relación a esto, la *visualización espacial* –definida como la habilidad para gestionar mentalmente formas complejas– es otro aspecto que presenta serias dificultades al enfrentarse a esta asignatura (Garmendia et al, 2007), a pesar de la importancia que, según estudios previos (Hsi et al, 1997), tiene la capacidad de visión espacial en la futura vida profesional de un ingeniero o arquitecto.

En el sector educativo de la enseñanza universitaria en España, el proceso de adaptación de las diferentes titulaciones de ingeniería al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) aconseja que se dote a los estudiantes de “capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica” (BOE 20 de Febrero – Orden CIN/351/2009, de 9 de Febrero). En este sentido, según estudios previos (Baenninger & Newcombe, 1989; Sorby & Baartmans, 2000; Crown, 2001; Leopold et al, 2001; Prieto & Velasco, 2002; Alias et al, 2002; Rafi et al, 2005; Rafi et al, 2006; Prieto & Velasco, 2010), la visualización espacial se puede mejorar mediante entrenamiento y, por ello, los docentes están desarrollando continuamente metodologías que favorezcan las habilidades espaciales de los estudiantes, siendo mejor aceptadas por parte del alumnado las que se basan en las nuevas tecnologías de la información y del conocimiento (TIC) y crean una independencia del profesorado (Carrasco et al, 2008; Martín et al, 2009; Velasco, 2010). De hecho, aunque en algunos casos existen datos del poco uso de las TIC en la docencia universitaria (Gromaz et al, 2007), se puede afirmar que, de manera general, casi todas las ramas del conocimiento intentan modificar sus metodologías tradicionales tendiendo a usar las TIC en la docencia (Barragán et al, 2009; Mancho et al, 2009; Cárdenas & Paz, 2011). De todos modos, hay que establecer que lo realmente importante del uso de las TIC no es sólo innovar técnicamente para crear entornos de aprendizaje basados en la tecnología, sino conseguir una fundamentación metodológica centrada en el alumno (Salinas, 2004; Rodríguez, 2011).

Por este motivo, teniendo en cuenta que la asignatura Dibujo Técnico suele generar en los alumnos universitarios de ingenierías ciertas dudas acerca de la utilidad

real de esta materia en su futura vida profesional –desmotivando con ello al alumno en el estudio y aprendizaje–, los autores de este artículo han diseñado una *innovadora metodología activa* que (i) sirva para entrenar la capacidad de visión espacial de una forma autónoma –sin requerir la ayuda del profesor– y (ii) que establezca vínculos didácticos interdisciplinarios con otras materias que tengan un carácter más práctico y puedan motivar al alumnado. El aprendizaje activo se relaciona con metodologías que favorecen la participación del estudiante en el proceso de aprendizaje y, por lo tanto, contribuyen a que éste piense acerca de lo que hace o dice (Prince, 2004; Goodhew, 2007). Las metodologías activas, a pesar de suponer un mayor esfuerzo de trabajo comparadas con las metodologías tradicionales pasivas, suelen ser valoradas positivamente tanto por el profesorado como por el alumnado implicado (Courcel et al, 2009; León & Crisol, 2011; Lopes et al, 2011). De hecho, algunos estudios aseguran que este método puede favorecer que el alumno no sólo asimile mejor los conceptos complicados de un asignatura sino que también los retenga mejor a lo largo del tiempo (Lacuesta et al, 2009).

La metodología activa que se plantea en el presente artículo está basada en vínculos didácticos interdisciplinarios entre la rama del conocimiento del dibujo técnico y la ingeniería de materiales. En cualquier titulación de carácter ingenieril, dentro de la asignatura relacionada con el dibujo técnico existen ejercicios que se basan en obtener las vistas de una pieza (planta, alzado y perfil). Por otro lado, en asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales, dentro del campo de la radiología industrial, se establecen las diferentes coloraciones de una radiografía –gradientes de grises– en base a conceptos matemáticos que establecen una dependencia del color con el tipo de material y con el espesor de cada parte de la pieza radiografiada. De esta manera, se pueden plantear ejercicios que se basen en obtener el aspecto de las radiografías hechas a piezas industriales desde las posiciones que definen su planta, alzado y perfil, estableciendo así un vínculo didáctico entre ambas materias.

En publicaciones recientes ha quedado constancia de la utilidad que supone a nivel docente aprovechar vínculos interdisciplinarios entre el dibujo técnico y otras asignaturas, e.g. matemáticas (Aguirre et al, 2008), CAD (Carrasco et al, 2008), cartografía (Gonzato & Godino, 2010), materiales (Vergara & Rubio, 2012a), mecánica técnica (Vergara et al, 2012). De igual forma, en este artículo se presenta una metodología activa cuya finalidad es favorecer la capacidad de visión espacial de los estudiantes de ingeniería a partir del planteamiento de ejercicios que establecen vínculos didácticos entre el dibujo técnico y otras asignaturas de carácter más práctico. Este hecho ayuda a que el alumno esté más motivado por el dibujo técnico y vea una aplicación práctica de lo que está estudiando. La existencia de un vínculo didáctico entre la radiología industrial y el dibujo técnico ha sido recientemente analizada (Vergara & Rubio, 2012b), pero aplicándola desde un punto de vista centrado en la ciencia de materiales. En cambio, en el presente artículo se expone un innovador *planteamiento metodológico* enfocado desde la asignatura Dibujo Técnico y con un objetivo claramente diferente: la mejora de la capacidad de la visión espacial. Al final del artículo se ha incluido también la opinión del alumnado en relación a esta metodología, avalándola como motivadora y didáctica a la vez.

Planteamiento teórico

Base teórica del dibujo técnico

Desde sus orígenes, el hombre ha tratado de comunicarse mediante grafismos. De hecho, las primeras representaciones que se conocen son las pinturas rupestres, donde el ser humano no sólo intentaba plasmar la realidad que le rodeaba (animales, utensilios, personas, astros, etc.), sino que también trataba de expresar emociones y sensaciones, e.g. la alegría de las danzas o la tensión de las cacerías. Esta ambición de poderse comunicar mediante dibujos ha ido evolucionado con la historia, dando lugar por un lado al *dibujo artístico* y por otro al *dibujo técnico*. El primero, basándose en la sugerencia y estimulando la imaginación del espectador, intenta comunicar ideas y sensaciones, mientras que, por otro lado, el dibujo técnico tiene como fin la representación de los objetos lo más ajustada a la realidad, tanto en forma como en dimensiones. La tendencia actual de los objetivos del dibujo artístico y el técnico tiende a confluir. Esto es consecuencia del uso de las TIC en el dibujo técnico, que permiten obtener recreaciones virtuales en tres dimensiones (3D) y, si bien representan los objetos en verdadera magnitud y forma, también conllevan una fuerte carga de sugerencia para el espectador (Company *et al*, 2007). La expresión gráfica es el medio de enlace entre los conocimientos teóricos del técnico y la realidad que le rodea (en 3D). Por lo tanto un objetivo primordial en la formación del ingeniero es el desarrollo de sus habilidades espaciales, correspondiendo a la asignatura Dibujo Técnico la misión de incitarle a discurrir en 3D hasta hacerle conseguir un dominio suficiente del espacio (Gomis, 1990; Preciado & Moral, 2004).

El dibujo técnico, como medio de expresión gráfica, cumple dos misiones fundamentales en el trabajo cotidiano de un ingeniero. En primer lugar, teniendo en cuenta que el ingeniero puede actuar como emisor o como receptor en función de la situación y momento, el dibujo técnico actúa como vehículo de transmisión entre el ingeniero y terceras personas. En segundo lugar, el dibujo técnico puede actuar también como medio de comunicación del ingeniero consigo mismo, siendo su aportación imprescindible en el desarrollo de la actividad creadora de éste. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la principal aplicación del *dibujo técnico* es la transmisión de diseños y de ideas entre diferentes personas (Giesecke *et al*, 2006), y que el fin de una *radiografía industrial* es transmitir conocimientos a partir de imágenes plasmadas en un soporte físico (Askeland, 2001), los autores de este artículo han considerado útil analizar y aprovechar el vínculo interdisciplinar existente entre ambas materias para diseñar un recurso didáctico que favorezca la *capacidad de visión espacial* del alumnado, acercando además al estudiante a casos prácticos que pueden motivarle y hacerle tener un mayor interés por la asignatura Dibujo Técnico. Por otro lado, esta metodología puede favorecer la colaboración docente entre las áreas implicadas, lo cual es un aspecto conveniente para adecuar las competencias a desarrollar (Velasco *et al*, 2012).

Base teórica de los rayos X

Dentro del ámbito de la ingeniería, una de las técnicas más usadas en el examen y control de productos metálicos está basada en la *radiología industrial* (Rockley, 1977;

Vavrik *et al*, 2011). Concretamente, la mayor aplicación de esta técnica es el examen de uniones soldadas y de piezas moldeadas (Nacereddine & Tridi, 2005), especialmente cuando por condiciones de servicio es imprescindible asegurar que no existen defectos internos que puedan afectar a su comportamiento en uso. En los *productos soldados*, este procedimiento permite detectar imperfecciones típicas en las soldaduras, e.g. exceso o falta de penetración, falta de fusión, inclusiones no metálicas, grietas, porosidad gaseosa y rechupes. En las *uniones moldeados* pueden detectarse otra tipología de defectos, como por ejemplo los debidos a grietas, uniones frías, desgarre en caliente, segregación e inclusiones no metálicas, rechupes de contracción, porosidad gaseosa y sopladuras. La inspección radiográfica se basa en la propiedad de los rayos X –o los rayos gamma en casos especiales (Susiapan *et al*, 2009)– de atravesar los materiales ópticamente opacos. En el campo de la radiología convencional cuando un haz de rayos X o de rayos gamma incide sobre un objeto, la radiación no absorbida por el material se recoge sobre una película sensible, especial para detectar la radiación transmitida a través del material.

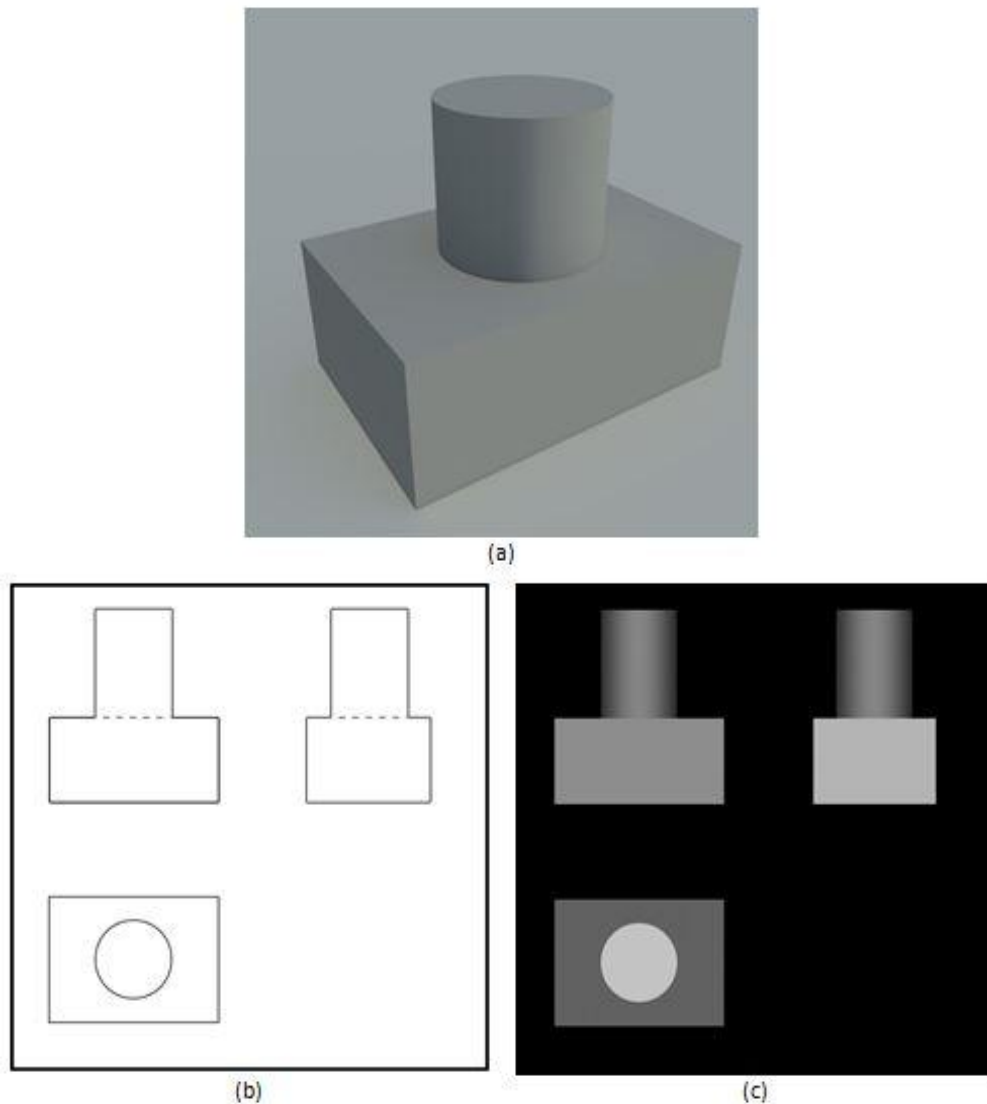
Otros posibles detectores pueden ser el papel fotosensible, las pantallas fluorescentes, los contadores Geiger y las xerografías (Askeland, 2001). El haz que atraviesa el objeto, o pieza, proyecta sobre la película una imagen potencial de éste que, si el tiempo de exposición es suficiente, llegará a ser una imagen latente susceptible de ser transformada, por un proceso químico adecuado, en la imagen real observable que se conoce como radiografía del objeto. Las variaciones de densidad, espesor y composición química en el objeto inspeccionado generarán variaciones de la intensidad de la radiación transmitida, manifestándose como variaciones de densidad fotográfica (tonos de gris) en la película revelada. De esta manera, es posible utilizar esta técnica de ensayo para detectar heterogeneidades o defectos internos en los materiales. En una radiografía, las partes más oscuras corresponden a las zonas en las que el flujo de la radiación que atraviesa el objeto ha sido más intenso, y las partes más claras corresponden a las zonas de la pieza en las que la radiación sufrió una mayor absorción. Por lo tanto, los defectos como grietas, rechupes, sopladuras o cavidades internas, i.e., defectos en los que hay menor densidad de material, se manifiestan en la radiografía como áreas más oscuras. Por otro lado, las inclusiones refractarias aparecen como áreas más claras debido a que absorben una mayor cantidad de radiación. Matemáticamente la intensidad (I) del haz de rayos X que alcanza la película sensible viene dada por la ecuación de Beer-Lambert:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) = I_0 \exp(-\mu_m \rho x) \quad (1)$$

donde I_0 es la intensidad del haz de rayos que incide sobre el material o pieza a ensayar, μ es el coeficiente de absorción lineal (cm^{-1}), μ_m es el coeficiente de absorción de masa (cm^2/g), ρ es la densidad del material (g/cm^3) y x es el espesor del material (cm) que el rayo ha atravesado. Teniendo en cuenta que el valor de μ varía con el tipo de material, la intensidad del rayo emergente (I) será distinta si en el trayecto de la radiación ésta se encuentra o no algún tipo de defecto, ya que éste tendrá un coeficiente de absorción distinto al del material que le rodea. La dificultad que plantea el gradiente de grises de una radiografía, fruto de las heterogeneidades existentes en cualquier material, ha favorecido la creación de nuevos planteamientos metodológicos basados en las TIC para explicar las radiografías (Pascual *et al*, 2011; Lodeiro, 2012).

Vínculo didáctico interdisciplinar

La metodología aquí presentada se basa en el vínculo didáctico existente entre el dibujo técnico y la radiología industrial: la obtención de las vistas de una pieza (planta, alzado y perfil). A modo de ejemplo, en la Figura n. 1 se muestra tanto el aspecto de una pieza a partir de su planta, alzado y perfil (Figura n. 1b) –enfoque desde el dibujo técnico–, como la apariencia que tomaría esa misma pieza después de ser radiografiada desde los mismos puntos de vista (Figura n. 1c) –enfoque desde la radiología–. La Figura n. 1a, realizada con el programa 3DStudio®, muestra la pieza en perspectiva para comprender que las diferencias de espesor en cada una de las posibles direcciones da lugar a una distinta coloración de grises en las vistas radiografiadas (Figura n. 1c), acorde a la ecuación (1). Así, la zona cilíndrica, debido a la variación de espesor que presenta por su superficie curva, manifiesta un claro gradiente de grises en las vistas radiografiadas (Figura n. 1c). Este efecto, al igual que el resto de las imágenes de las Figuras n. 1b y n. 1c, se ha realizado con la aplicación de dibujo de Word®.

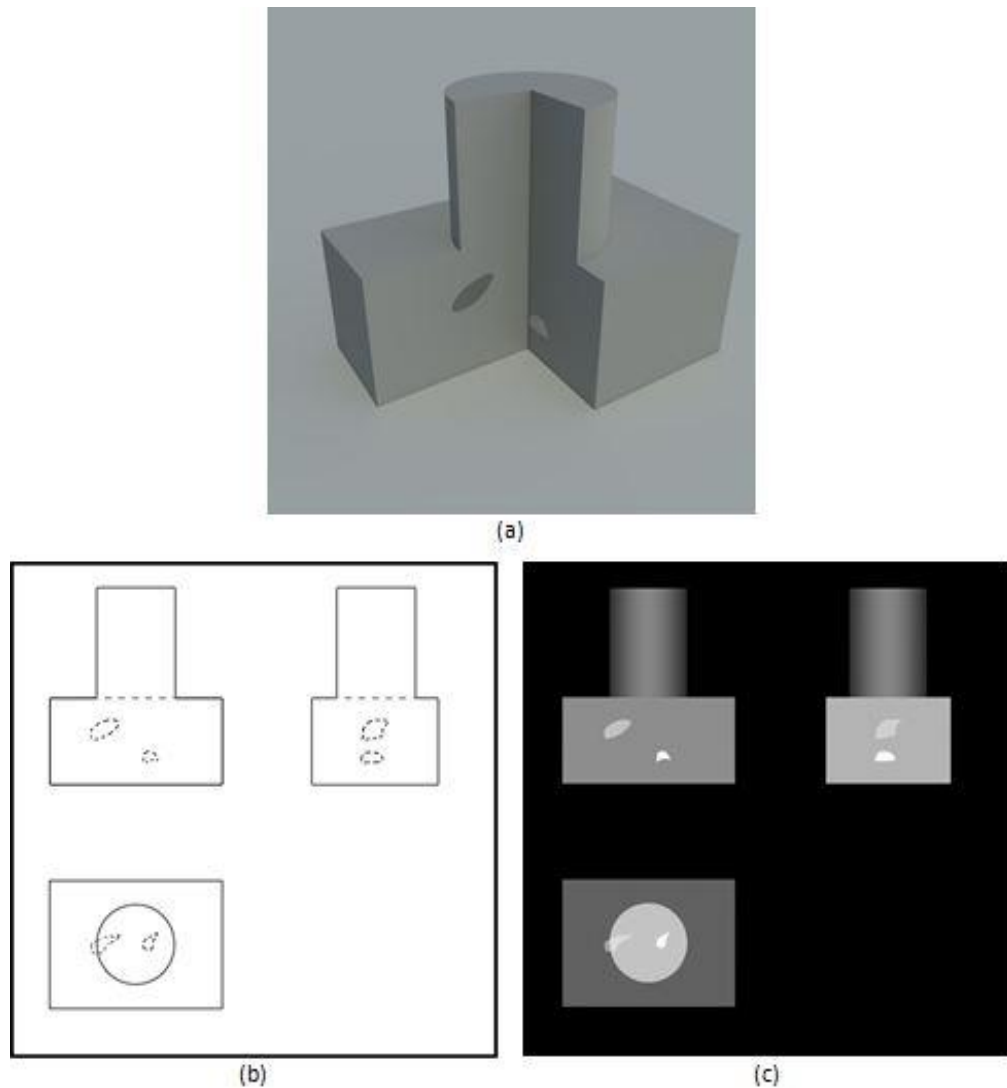


Fuente: elaboración propia

Figura n. 1. Relación entre el dibujo técnico y la radiología industrial: a) vista tridimensional de la pieza; b) planta, alzado y perfil de dicha pieza; c) vistas radiografiadas.

En la Figura n. 1c se puede ver que en las radiografías los límites entre zonas con distintos grosores están claramente definidos, i.e., se ha considerado que la pieza es perfectamente homogénea y, entonces, no se ha tenido en cuenta el gradiente de grises que existe en las radiografías reales que, acorde a publicaciones anteriores (Vergara et al, 2007), podría dificultar la comprensión de una radiografía. Por otro lado, con el fin de ejercitar aún más las habilidades espaciales del alumnado en la Figura n. 2 se ha expuesto la misma idea que en la Figura n. 1 pero incluyendo algunos defectos de fabricación en el interior de la pieza. Esto supone un estadio de dificultad superior pero acerca al alumno a casos reales, ya que las piezas industriales debido a su proceso de fabricación mecánica suelen presentar defectos en su interior (Groover, 1997; Rodríguez, 2012). Esto puede motivar al alumnado al estudio, ya que éste siente que puede tener una aplicación directa en su futura vida profesional. En este caso concreto se han representado varias inclusiones con formas arbitrarias (Figura n. 2).

El color que toma la imagen de una inclusión en una radiografía depende de su coeficiente de absorción másico μ (Rodríguez, 1982). En la Figura n. 2c, es necesario recurrir a la ecuación (1) para justificar las dos coloraciones que muestra una misma inclusión en la vista de la planta. Así, la ecuación (1) indica que la causa es el espesor del material base (x) que ha tenido que atravesar el haz de rayos X hasta llegar al papel radiográfico. De esta manera, acorde a la Figura n. 2a, el espesor del material base atravesado es superior en un lado del defecto que en el otro (en una parte atraviesa sólo la geometría paralelepípedica y, en la otra, tanto ésta como la cilíndrica), y este hecho se manifiesta en la radiografía con dos coloraciones diferentes. En cambio, en el alzado o en el perfil la inclusión se aprecia con un único color en la radiografía, debido a que el espesor atravesado por el haz de rayos X es idéntico a lo largo de toda la inclusión.

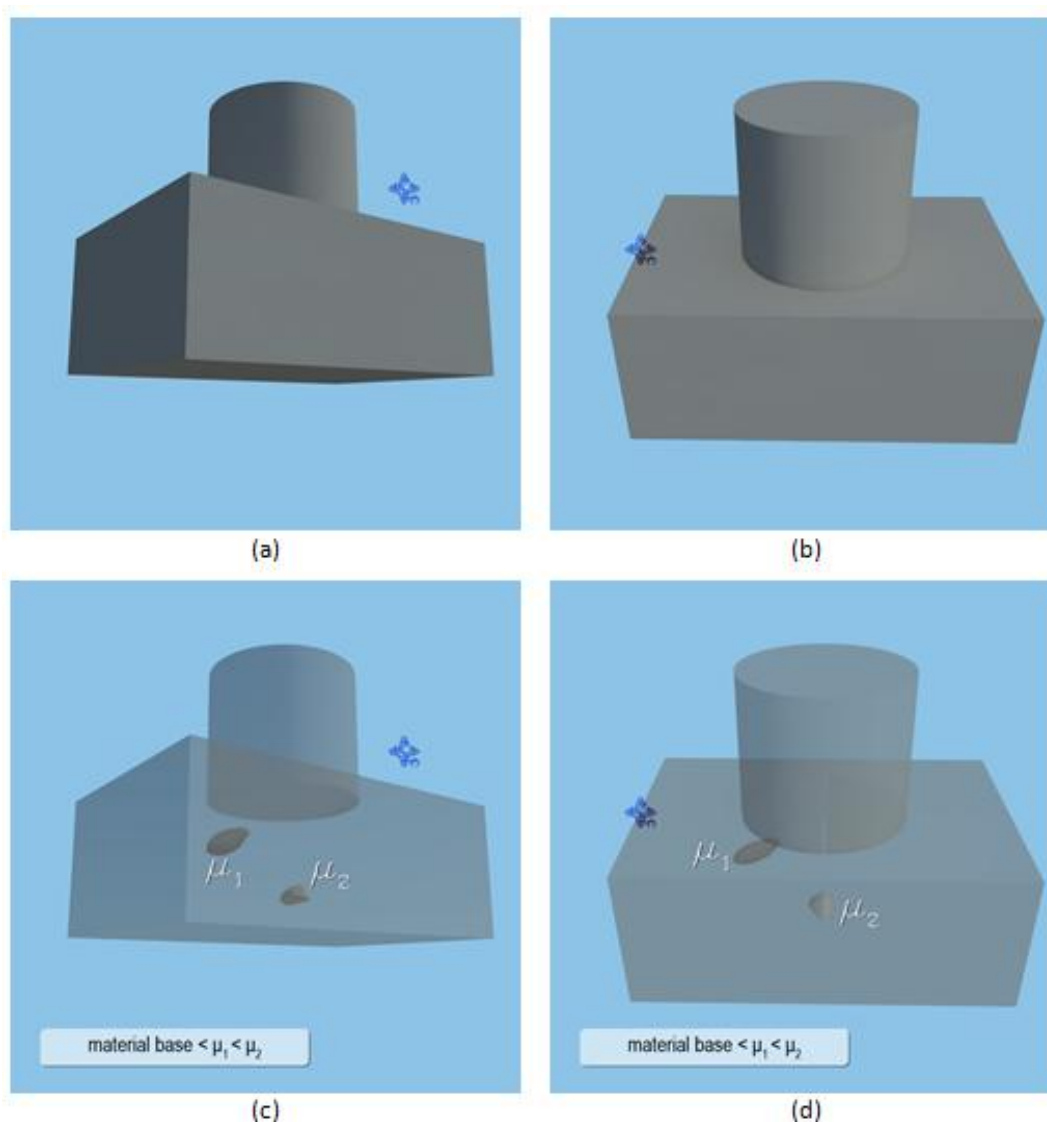


Fuente: elaboración propia

Figura n. 2. Relación entre dibujo técnico y radiología industrial: a) vista tridimensional de una pieza con defectos de fabricación (seccionada a un cuarto); b) planta, alzado y perfil de la misma pieza; c) vistas radiografiadas.

Se puede comprobar con este ejemplo que la simulación de defectos internos en las radiografías puede resultar bastante útil a nivel docente debido a la dificultad que presenta comprenderlos espacialmente, ya que para apreciar su verdadera posición, geometría y magnitud es necesario visualizarlos desde distintos puntos de vista. Para favorecer este proceso mental y lograr cumplir el objetivo de potenciar la visión espacial del alumnado, se han desarrollado varios ejemplos tridimensionales (3D) de diferentes piezas con defectos. Así en la Figura n. 3 se puede observar la pieza en 3D de la Figura n. 2 dentro de un entorno virtual que permite interactuar libremente con ella para poder llegar a comprenderla espacialmente. Según investigaciones anteriores (Rancan & Giraffa, 2012) los recursos virtuales en 3D facilitan la comprensión espacial de las piezas, ayudando así a desarrollar la capacidad de visión espacial del alumnado. De esta forma, con la plataforma virtual mostrada en la Figura n. 3, desarrollada con el programa 3D Studio Max®, se puede observar de dos formas diferentes una pieza u objeto: (i) de manera opaca (Figuras n. 3a y n. 3b), y (ii) de manera transparente

(Figuras n. 3c y n. 3d), diferenciando así las inclusiones interiores.



Fuente: elaboración propia

Figura n. 3. Entorno virtual interactivo para favorecer la comprensión espacial de una pieza con defectos internos en su interior: a) y b) vistas opacas; c) y d) vistas semitransparentes.

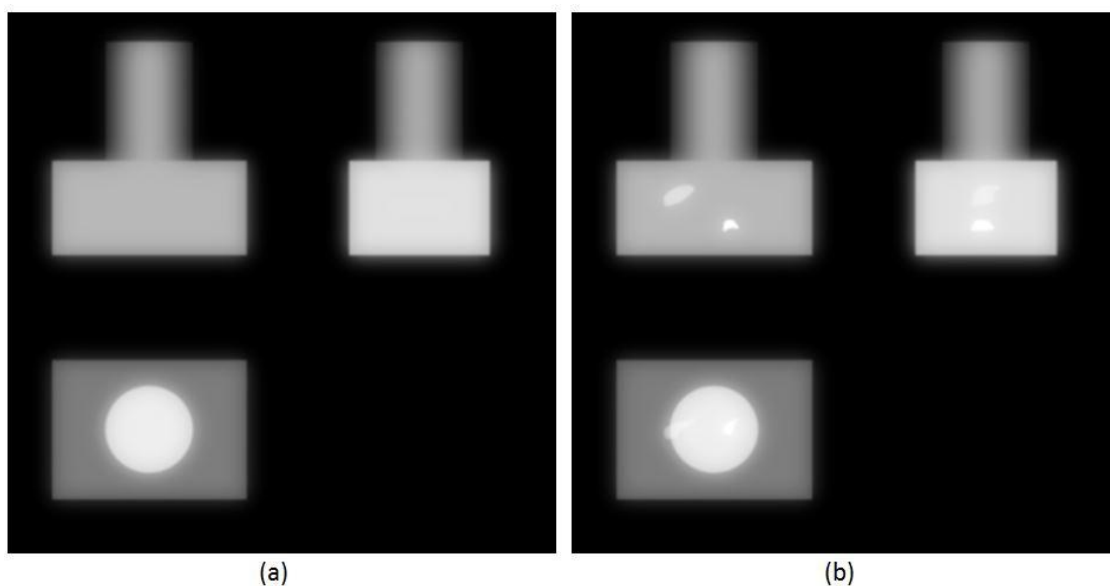
Esta plataforma virtual permite *interactuar* libremente con la pieza en tiempo real, rotándola, girándola, haciendo semitransparentes sus paredes, etc... con lo que el alumno puede mejorar la comprensión espacial de la pieza de estudio y ejercitar su capacidad de visión espacial. Además, este recurso virtual permite detectar de manera cualitativa el orden creciente de los coeficientes de absorción másica (μ), de tal forma que ayuda al estudiante a entender el gradiente de grises que aparece en las vistas radiografiadas (Fig. n. 2c). Por otro lado, el programa 3D Studio Max® facilita también las vistas de la pieza en la pantalla del ordenador en tiempo real, ayudando también al estudiante a comprender espacialmente la ubicación y geometría de las inclusiones.

El hecho de emplear como recurso didáctico estos defectos de fabricación en las piezas desarrolla varios aspectos docentes: (i) la evidente implicación de la capacidad

de visión espacial desde el punto de vista gráfico, (ii) la relación entre ésta y la base matemática de la radiología industrial, que implica deducir la distribución del gradiente de grises propios de una radiografía, desarrollando así un *aprendizaje de tipo productivo*, i.e. fomenta el hábito de pensar, razonar y relacionar o explicar la información recibida (Hernández, 1995), y (iii) el acercamiento a casos prácticos de la vida profesional del ingeniero, favoreciendo así, de manera colateral, un mayor grado de motivación por la asignatura.

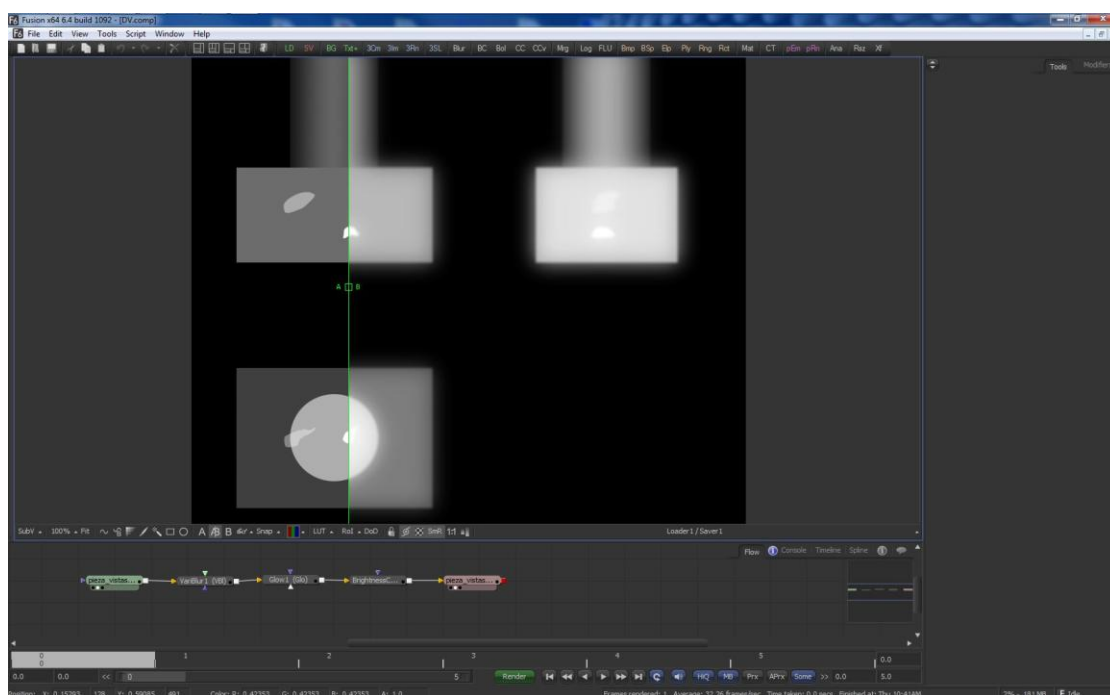
Propuesta metodológica

El planteamiento metodológico expuesto en este artículo se puede dividir en varias etapas. En primer lugar el estudiante tiene que comprender la base de esta metodología, que es precisamente el vínculo que existe entre el dibujo técnico y la radiología industrial. Para ello el profesor debe exponer en una clase magistral de aproximadamente una hora, varios ejemplos similares a los de la Figura n. 1 y posteriormente de la Figura n. 2, transmitiendo a su vez la idea conceptual de la ecuación (1) que justifica los gradientes de grises existentes en las radiografías. Como punto final a esta clase magistral, conviene acercar al estudiante a casos lo más reales posibles y, por ello, los autores han simulado el aspecto real que tendrían las radiografías de las piezas. A modo de ejemplo en las Figuras n. 4a y n. 4b se puede observar una percepción visual más realista de lo que podrían ser las Figuras n. 1c y n. 2c respectivamente. Es interesante enfatizar con estas simulaciones la complejidad de comprensión espacial a la que tiene que enfrentarse un ingeniero en su vida profesional cuando tiene que trabajar con radiografías de piezas con defectos de fabricación en su interior (Figura 4-b). Esta apariencia más realista de las Figuras n. 4a y n. 4b respecto a las originales (Figuras n. 1c y n. 2c) se han obtenido mediante diferentes recursos del programa Fusion Six® (Figura n. 5). Este programa informático permite crear un aspecto de la radiografía más aproximado a la realidad que Photoshop®, que es otro programa que también se podría usar para similares aplicaciones docentes vinculadas con la radiología industrial (Vergara & Rubio, 2012). Así, en relación a la aplicación concreta de simulación real de radiografías, la principal ventaja que presenta esta nueva versión de Digital Fusion (Fusion Six®) frente a Photosop® es que permite un mayor control tanto (i) del desenfoque de borde de las regiones de distinto color como (ii) del halo que rodea a dichas regiones en el interior y en el exterior de la pieza, especialmente en el caso de zonas claras.



Fuente: elaboración propia

Figura n. 4. Simulación más realista de las radiografías: a) Figura n. 1c; b) Figura n. 2c.



Fuente: elaboración propia

Figura n. 5. Uso de Fusion Six® para hacer más realistas las radiografías

Posteriormente se pueden plantear varias tipologías de ejercicios (Tabla n. 1) a desarrollar por los alumnos. Para ello, el profesor puede explicar en una clase de una hora lectiva las diferentes modalidades de ejercicios, desarrollando varios ejemplos significativos que puedan ayudar a los estudiantes a resolver la colección de ejercicios que le serán entregados posteriormente. De las tres tipologías de ejercicios planteadas en la Tabla n. 1, la metodología A consistiría en la obtención de las vistas (planta,

alzado y perfil) de piezas seccionadas a un cuarto, tanto desde el punto de vista del dibujo técnico como desde el punto de vista de la radiología industrial (e.g. Figuras n. 1 y n. 2). Por otro lado, otro tipo de ejercicios sería el inverso a este anterior, es decir, pedir al alumno que dibuje en 3D una pieza a partir de sus vistas radiografiadas (metodología B, Tabla n. 1). Por último, otra tipología de ejercicios consistiría en dejar al estudiante interactuar con la plataforma virtual en 3D comentada previamente (Figura n. 3) y pedirle que obtenga las vistas de una pieza (metodología C, Tabla n. 1). Usando esta plataforma virtual el alumno podrá “auto-ayudarse” a comprender espacialmente la pieza antes de realizar sus vistas, potenciando así su capacidad de visión espacial. Con todos estos planteamientos se pueden establecer *dos estadios de dificultad*, dependiendo si las piezas seccionadas a un cuarto tienen o no defectos de fabricación en su interior. El hecho de tener que razonar el gradiente de grises de las vistas radiografiadas tiene un claro vínculo con la visión espacial. Esto es así porque dicha coloración está directamente relacionada con el espesor (ecuación 1) y éste depende a su vez del punto de vista desde el que se observe la pieza. Por lo tanto, estos innovadores ejercicios para la asignatura Dibujo Técnico potencian *doblemente* la comprensión espacial de las piezas y sus inclusiones, por un lado debido a la geometría de éstas, y por otro lado debido al gradiente de grises de las radiografías (que es nuevamente función directa de la geometría).

TIPOLOGÍA	EJERCICIO	DATOS	OTROS RECURSOS
A	Obtención Vistas (Dibujo y Rayos X)	* Pieza a un cuarto * Ecuación (1)	Plataforma Virtual (comprobación final)
B	Dibujar pieza en 3D	* Vistas Pieza Rayos X * Ecuación (1)	Plataforma Virtual (comprobación final)
C	Obtención Vistas (Dibujo y Rayos X)	* Plataforma Virtual * Ecuación (1)	

Fuente: elaboración propia

Tabla n. 1. Tipologías de ejercicios

El planteamiento de estos ejercicios se puede hacer tanto a nivel individual, ejercitando así el autoaprendizaje (Núñez et al, 2007), como en grupos de trabajo, ejercitando un aprendizaje cooperativo y un aprendizaje entre iguales (Rodríguez & Escudero, 2000; Ferreiro, 2007; Vergara, 2012). Ambos métodos son efectivos, pero la idea fundamental de este artículo no es establecer cómo aplicar esta metodología sino mostrar la idea de cómo establecer vínculos didácticos interdisciplinarios que sirvan para motivar al alumnado en la asignatura de dibujo técnico, ayudándole a su vez a ejercitar su capacidad de visión espacial. De esta manera, la metodología planteada en este artículo se puede encuadrar dentro de la *pedagogía activa*, que tiene como precursor a John Dewey (Gilda, 2006). Este planteamiento defiende que la educación es un proceso de vida y no una preparación para la vida futura o profesional. Así, el profesor debe crear situaciones y generar herramientas o nuevos planteamientos metodológicos que despierten en el alumnado la curiosidad, la participación y la colaboración. De este modo, los estudiantes dejan de ser pasivos y comparten con el profesor la participación y la responsabilidad de los procesos y actividades, generando

así una interacción continua entre ambas partes que favorece la filosofía de Jolibert (2000): aprender a actuar actuando y reflexionando sobre ese actuar.

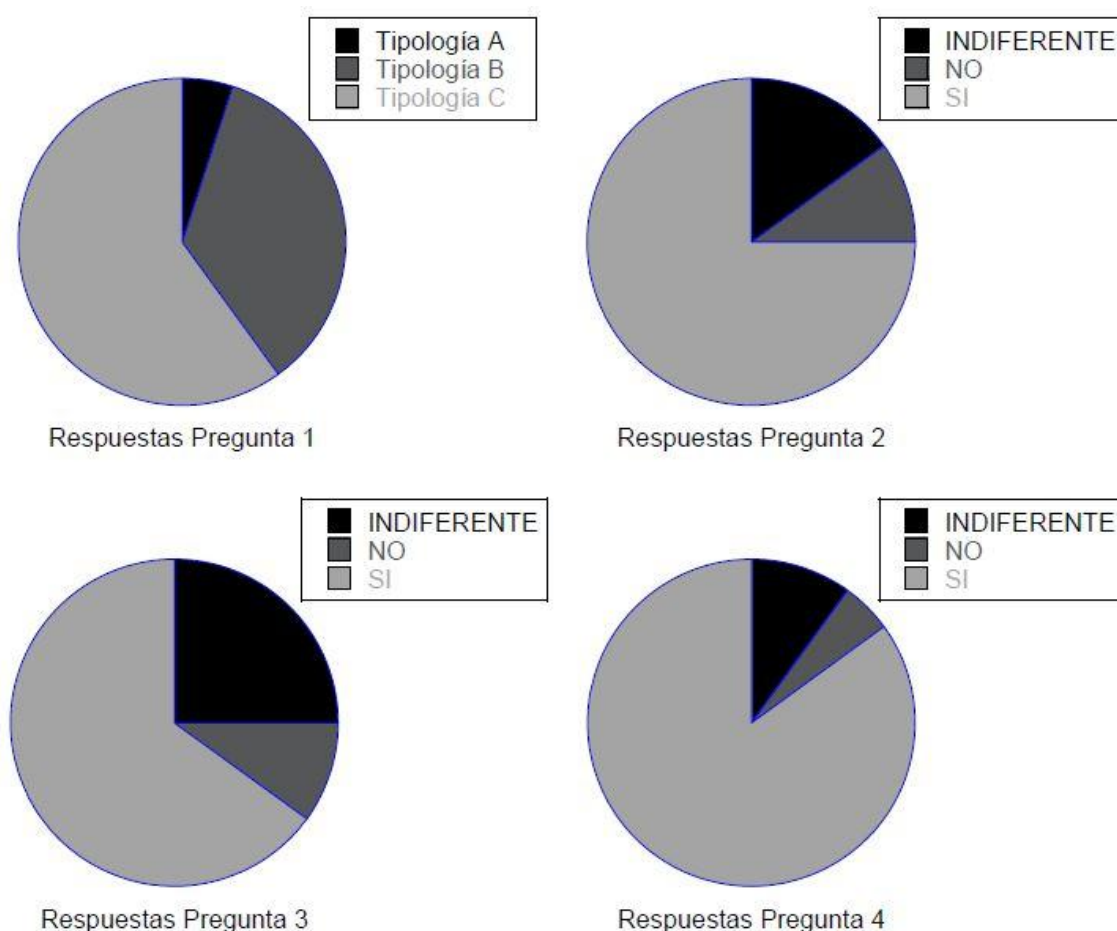
Opinión del alumnado

En relación con la opinión del alumnado, en este artículo se presenta algunas de las ideas más significativas e interesantes desde el punto de vista de la aplicación de la metodología didáctica planteada. Así, las contestaciones a las preguntas expuestas en la Tabla n. 2 se han presentado en la Fig. n. 6.

NÚMERO	PREGUNTA
1	De las tres tipologías de ejercicios planteados, ¿Cuál te ha gustado más?
2	¿Consideras esta metodología eficaz para ejercitar tu capacidad de visión espacial?
3	Dentro de esta metodología, ¿consideras que el uso de defectos en las piezas industriales te ha ayudado a ejercitar tu capacidad de visión espacial?
4	¿Te ha ayudado esta metodología a entender la utilidad del dibujo técnico dentro del sector profesional de la ingeniería?

Fuente: elaboración propia

Tabla n. 2. Preguntas planteadas a los estudiantes



Fuente: elaboración propia

Figura n. 6. Opinión del alumnado de la metodología interdisciplinar planteada en este artículo. Respuestas a las preguntas de la Tabla n. 2.

Los resultados mostrados refuerzan la idea de que el alumnado aprecia de manera positiva el uso de recursos virtuales en la docencia, ya que la tipología C (Tabla n. 1) es la más valorada de las tres planteadas y sólo se diferencia de la tipología A (la menos valorada) en el uso inicial de un entorno virtual interactivo, ya que en la tipología A el uso de este recurso sólo es usado a modo de comprobación final. Por otro lado, las diferencias encontradas entre las respuestas a las preguntas 2 y 3 indican que la mayoría de los estudiantes consideran que el uso de defectos de piezas industriales en el marco de esta metodología puede ayudar a desarrollar o mejorar sus habilidades espaciales, aunque una minoría no apoya esta idea. Por último, a pesar de la relevante utilidad de estas habilidades de orientación espacial en la vida profesional de un ingeniero o arquitecto (Gonzato & Godino, 2010), muchos alumnos de ingeniería no comprenden la utilidad de la asignatura Dibujo Técnico y se preguntan para qué puede servirles en su futura profesión. En este sentido, teniendo en cuenta las respuestas a la pregunta 4 (Fig. n. 6), la metodología expuesta en este artículo ayuda al alumnado a ver alguna de las posibles aplicaciones prácticas que puede tener el dibujo técnico y a hacerles entender que sí les puede resultar útil en su futuro profesional.

Conclusiones

En este artículo se ha planteado un aprendizaje de tipo productivo basado en la deducción del aspecto que presentaría la radiografía de una pieza industrial con defectos de fabricación interna. Esto establece claramente un vínculo didáctico interdisciplinar entre la expresión gráfica y la base matemática de la radiología industrial. La metodología planteada propone tres tipologías diferentes de ejercicios que desarrollan este vínculo didáctico y que fomentan el desarrollo de la capacidad de visión espacial del estudiante de ingeniería, acercándolo a su vez a casos prácticos que le pueden resultar más atractivos que los tradicionales ejercicios de dibujo técnico. Estos innovadores ejercicios planteados para la asignatura Dibujo Técnico potencian *doblemente* la comprensión espacial de las piezas: (i) debido a la propia geometría de la pieza y (ii) debido al gradiente de grises, que es nuevamente función del aspecto geométrico de la pieza. Además, la creación de una plataforma virtual interactiva de la pieza industrial (diseñada en 3D con el programa 3D Studio Max®), puede potenciar que el alumno mejore sus habilidades espaciales mediante un proceso de autoaprendizaje. A modo de resumen se pueden señalar los siguientes aspectos docentes que se consiguen con el innovador planteamiento metodológico expuesto en el presente artículo: (i) enseñanza interdisciplinar entre el dibujo técnico y la ciencia e ingeniería de materiales, (ii) organización docente entre las distintas áreas involucradas, (iii) acercamiento directo a casos prácticos que favorecen el interés del alumnado por las distintas materias y (iv) desarrollo y mejora de la capacidad de visión espacial del alumnado mediante entrenamiento con ejercicios prácticos y plataformas virtuales interactivas.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, J.; Artamendi, E.; García, I.; García, A.; Nevot, A.; Peralta, J.; Rodríguez, R.; Santa, J. & Valero, F. (2008). *Dibujo técnico y matemáticas: una consideración interdisciplinar*. Secretaría General Técnica, Ministerio de Educación y Ciencia, Spain.
- Alias, M.; Black, T. & Gray, D. (2002). Effect of instructions on spatial visualisation ability in civil engineering students. *International Education Journal*, 3 (1), 1-12.
- Askeland, D.R. (2001). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Madrid: Ediciones Thomson Paraninfo.
- Baenninger, M. & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: a meta-analysis. *Sex Roles*, 20 (5/6), 327-344.
- Barragán, R.; García, R.; Buzón, O.; Rebollo, M.A. & Vega, L. (2009). E-Portfolios en procesos Blended-Learning: Innovaciones en la evaluación de los Créditos Europeos. *REDU - Revista de Docencia Universitaria*. Portafolios electrónicos y educación superior en España (en coedición con RED), Número monográfico III, 1-16.
- Cardenas, R.R. & Paz, O. (2011). Enseñanza de la expresión gráfica en la ingeniería con tecnologías de la información y comunicación. *Educação Gráfica*, 15 (2), 97-106.
- Carrasco, B.; Casas, G.; Díaz, M.; Mula, I.; Sanz, M.I. & Villanueva, F. (2008). Trabajo colaborativo como propuesta de formación interdisciplinar del dibujo industrial en I.T.I. en Química Industrial. *Iniciación a la Investigación, Revista Electrónica*, 3, 1-4.
- Company, P.; Vergara, M. & Mondragón, S. (2007). *Dibujo industrial*. Castellón: Ediciones Universitat Jaume I.
- Courcel, M.J.; García, A.; Rodríguez, A. & Romero, M.A. (2009). ¿Qué opinan los alumnos universitarios sobre las nuevas metodologías activas de enseñanza? *Revista de Curriculum y Formación del Profesorado*, 13 (1), 305-319.
- Crown, S.W. (2001). Improving visualization skills of engineering graphics students using simple JavaScript web based games. *Journal of Engineering Education*, 9 (3), 347-355.
- Ferreiro, R. (2007). Una visión de conjunto a una de las alternativas educativas más impactante de los últimos años: aprendizaje cooperativo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 9 (2), 1-9.
- Garmendia, M.; Guisasola, J. & Sierra, E. (2007). First-year engineering students' difficulties in visualization and drawing tasks. *European Journal of Engineering Education*, 32 (3), 315-323.
- Gilda, M. (2006). El papel del académico en la construcción de la democracia. Reflexiones a partir del pensamiento de John Dewey. *Reencuentro – Análisis de Problemas Universitarios*, 45, 1-17.
- Gomis, J.M. (1990). *Dibujo técnico I: primera parte*. Valencia: Ediciones Universidad Politécnica de Valencia.

- Gonzato, M.; Godino, J.D. (2010). Aspectos históricos, sociales y educativos de la orientación espacial. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 23, 45-58.
- Goodhew, P.J. (2007). Active learning of materials science. *Journal of Materials Education*, 29 (1-2), 43-54.
- Gromaz, M.; Rodríguez, M.J.; Bermejo, M.; Cebreiro, B.; Doval, M.I.; Fernández, C.; Fernández, M. & García, J. (2007). La utilización de las TIC en las universidades gallegas por el personal docente e investigador. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 11 (1), 1-16.
- Groover, M.P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Madrid: Editorial Prentice Hall.
- Giesecke, F.E.; Mitchel, A. & Spencer, H.C. (2006). *Dibujo y comunicación gráfica. 3ª ed.* México: Pearson Educación.
- Hernández, J.M.; García, M.J.; Caballero, B.M.; Garitaonandia, I.; Albizuri, J.; Fernandes, M.H.; Eguía, M.I.; Aranguiz, I. & Larrauri, M. (2008). Influencia de las materias cursadas en Bachillerato en el rendimiento del alumnado y en la duración de sus estudios universitarios. *Proceedings: XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (XVI CUIEET)*, Cádiz, Spain.
- Hernández, P. (1995). *Diseñar y enseñar. Teoría y técnicas de la programación y del proyecto docente*. Madrid: Editorial Narcea.
- Hsi, S.; Linn, M.C. & Bell, J.E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education*, 86, 151-158.
- Jolibert, J. (2000). ¿Mejorar o transformar “de veras” la formación docente? Aspectos críticos y ejes clave. *Revista Latinoamericana de Lectura: Lectura y Vida*, 21 (3), 1-11.
- Lacuesta, R.; Palacios, G. & Fernández, L. (2009). Active learning through problem based learning methodology in engineering education. *Proceedings: 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Antonio, Texas.
- León, M.J. & Crisol, E. (2011). 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 Currículum y Formación del Profesorado*, 13 (1), 305-319.
- Leopold, C.; Górska, R.A. & Sorby, S.A. (2001). International experiences in developing the spatial visualization abilities of engineering students. *Journal of Geometry and Graphics*, 5 (1), 81-91.
- Lodeiro, L. (2012). Aplicaciones docentes de las TIC para el desarrollo de recursos didácticos en Radiología: una trayectoria de trabajos en equipo en la universidad. *REDU - Revista de Docencia Universitaria*, 10, Nº especial, 359-382.
- Lopes, C.S.; Caritá, E. & Afonso, M.M. (2011). Uso da tecnologia de informação e comunicação em disciplinas de cursos de engenharia química e engenharia de computação. *Revista de Ensino de Engenharia*, 30 (1), 15-23.

- Mancho, G.; Porto M.D. & Valero, C. (2009). Wikis e Innovación Docente. *REDU Revista de Docencia Universitaria*. Número monográfico IV. Nº especial dedicado a Wiki y educación superior en España (en coedición con Revista de Educación a Distancia –RED), 1-17.
- Martín, J.; Martín, N.; Saorín, J.L.; Contero, M. & Navarro, N. (2009). La capacidad de visión espacial en el contexto del espacio europeo de educación superior. *Proceedings: XXI INGEGRAF*, Lugo, Spain.
- Nacereddine, N. & Tridi, M. (2005). Computer-aided shape analysis and classification of weld defects in industrial radiography based invariant attributes and neural networks. *Proceedings: 4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, 88-93.
- Núñez A.; Buill F. & Rodríguez J.J. (2007). Recursos para autoaprendizaje en la titulación de Ingeniería Técnica en Topografía. *REDU Revista de Docencia Universitaria*, 3, 1-6.
- Pascual, T.; Chemb, R.; Wangc, S.Ch & Vujnovicd, S. (2011). Undergraduate radiology education in the era of dynamism in medical curriculum: An educational perspective. *European Journal of Radiology*, 78, 319-325.
- Preciado, C. & Moral, F.J. (2004). *Normalización del dibujo técnico*. San Sebastián: Editorial Donostiarra.
- Prieto, G. & Velasco, A. (2002). Predicting academic success of engineering students in technical drawing from visualization test scores. *Journal of Geometry and Graphics*, 6 (1), 99-109.
- Prieto, G. & Velasco, A. (2010). Does spatial visualization ability improve after studying technical drawing? *Quality & Quantity*, 44 (5), 1015-1024.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93 (3), 223-231.
- Rafi, A.; Khairul, A.; Samad, A.; Maizatul, H. & Mahadzir, M. (2005). Improving spatial ability using a web-based virtual environment (WbVE). *Automation in Construction*, 14, 707-715.
- Rafi, A.; Samsudin, K.A. & Ismail, A. (2006). On improving spatial ability through computer-mediated engineering drawing instruction. *Educational Technology & Society*, 9 (3), 149-159.
- Rancan, G. & Giraffa, L.M. (2012). Utilizando manipulação, visualização e tecnologia como suporte ao ensino de geometria. *Revista de ensino de ciências e matemática*, 3 (1), 15-27.
- Rockley, J.C. (1977). Industrial Radiography. *Electronics & Power*, 23 (4), 321-332.
- Rodríguez, L.M. & Escudero, T. (2000). Interacción entre iguales y aprendizaje de conceptos científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 255-274.
- Rodríguez, C. (2012). *Sistema automatizado de detección de defectos en piezas metálicas mediante ensayos no destructivos con ultrasonidos*. Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria.

- Rodríguez, M. (1982). *La difracción de los Rayos X*. Madrid: Editorial Alhambra.
- Rodríguez, R. (2011). Repensar la relación entre las TIC y la enseñanza universitaria: problemas y soluciones. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 15 (1), 9-22.
- Salinas, J. (2004). Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria. *Revista Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 1 (1), 1-16.
- Sorby, S.A. & Baartmans, B.J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first year engineering students. *Journal of Engineering Education*, 89 (3), 301-307.
- Susiapan, Y.; Rahim, R.; Pusppanathan, J. & Zain, R. (2009). Portable gamma-ray tomography instrumentation for investigating corrosion under insulation of pipelines. *Proceedings: 13th WSEAS International Conference on CIRCUITS*, Wisconsin, USA, 168-171.
- Vavrik, D.; Dammera, J.; Jakubek, J.; Jeon, I.; Jirousek, O.; Kroupa, M. & Zlamal, P. (2011). Advanced X-ray radiography and tomography in several engineering applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A633, pp. S152–S155.
- Velasco, A. (2010). Um ambiente multimídia na área de expressão gráfica básica para engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, 29 (1), 51-64.
- Velasco, P.J.; Rodríguez, R.M.; Terrón, M.J. & García, M.J. (2012). La coordinación del profesorado universitario: un elemento clave para la evaluación por competencias. *REDU- Revista de Docencia Universitaria*, 10 (3), 265-284.
- Vergara, D. (2012). Una experiencia educativa de aprendizaje cooperativo en la universidad. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 16 (2), 387-402.
- Vergara, D. & Rubio, M.P. (2012a). Aplicaciones del diseño gráfico en ingeniería: diagramas de equilibrio ternarios. *Educação Gráfica*, 16 (1), 44-58.
- Vergara, D. & Rubio, M.P. (2012b). Active methodologies through interdisciplinary teaching links: industrial radiography and technical drawing. *Journal of Materials Education*, 34 (5-6), 175-186.
- Vergara, D.; Rubio, M.P. & Lorenzo, M. (2007). Aplicación de las nuevas tecnologías en la innovación docente de la detección de defectos en piezas mediante radiología industrial. *Proceedings: II Jornadas de Innovación Educativa*, Zamora, España, 776-782.
- Vergara, D.; Rubio, M.P. & Lorenzo, M. (2012). New computer teaching tool for improving students' spatial abilities in continuum mechanics. *IEEE Technology and Engineering Education*, 7 (4), 44-48.

Artículo concluido el 30 de Julio de 2013

Cita del artículo:

Vergara Rodríguez, D., Rubio Cavero, M.P. (2013). Una innovadora metodología para ejercitar la capacidad de visión espacial de los estudiantes de ingeniería. *REDU - Revista de Docencia Universitaria*, Vol. 11, Número especial dedicado a *Engineering Education*, pp. 329-347. Publicado en <http://red-u.net>

Acerca de los autores

Diego Vergara Rodríguez

Universidad de Salamanca

Departamento de Ingeniería Cartográfica y del Terreno

Escuela Politécnica Superior de Ávila

Mail: dvergara@usal.es

Doctor por la Universidad de Salamanca, en el programa de doctorado de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Ingeniero de Materiales e Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Su campo de investigación en innovación docente está relacionado con el desarrollo de recursos virtuales con aplicación directa en la docencia de diversas asignaturas de ingeniería.

Manuel Pablo Rubio Cavero

Universidad de Salamanca

Departamento de Construcción y Agronomía

Escuela Politécnica Superior de Zamora

Mail: mprc@usal.es

Postgrado en Sistemas Inteligentes, Ingeniero de Materiales e Ingeniero Técnico Industrial. Actualmente Profesor Colaborador de la Universidad de Salamanca, en el Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Su campo de investigación en innovación docente está relacionado con el desarrollo de recursos virtuales con aplicación directa en la docencia de diversas asignaturas de ingeniería.

