

MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO DE LAS HABILIDADES ESPACIALES DE LOS ESTUDIANTES DE TITULACIONES TÉCNICAS

METHODS FOR TRAINING THE SPATIAL SKILLS OF STUDENTS PURSUING TECHNICAL CAREERS

Jesús Mataix Sanjuán, Carlos León Robles, Juan Francisco Reinoso Gordo

doi: 10.4995/ega.2015.3324

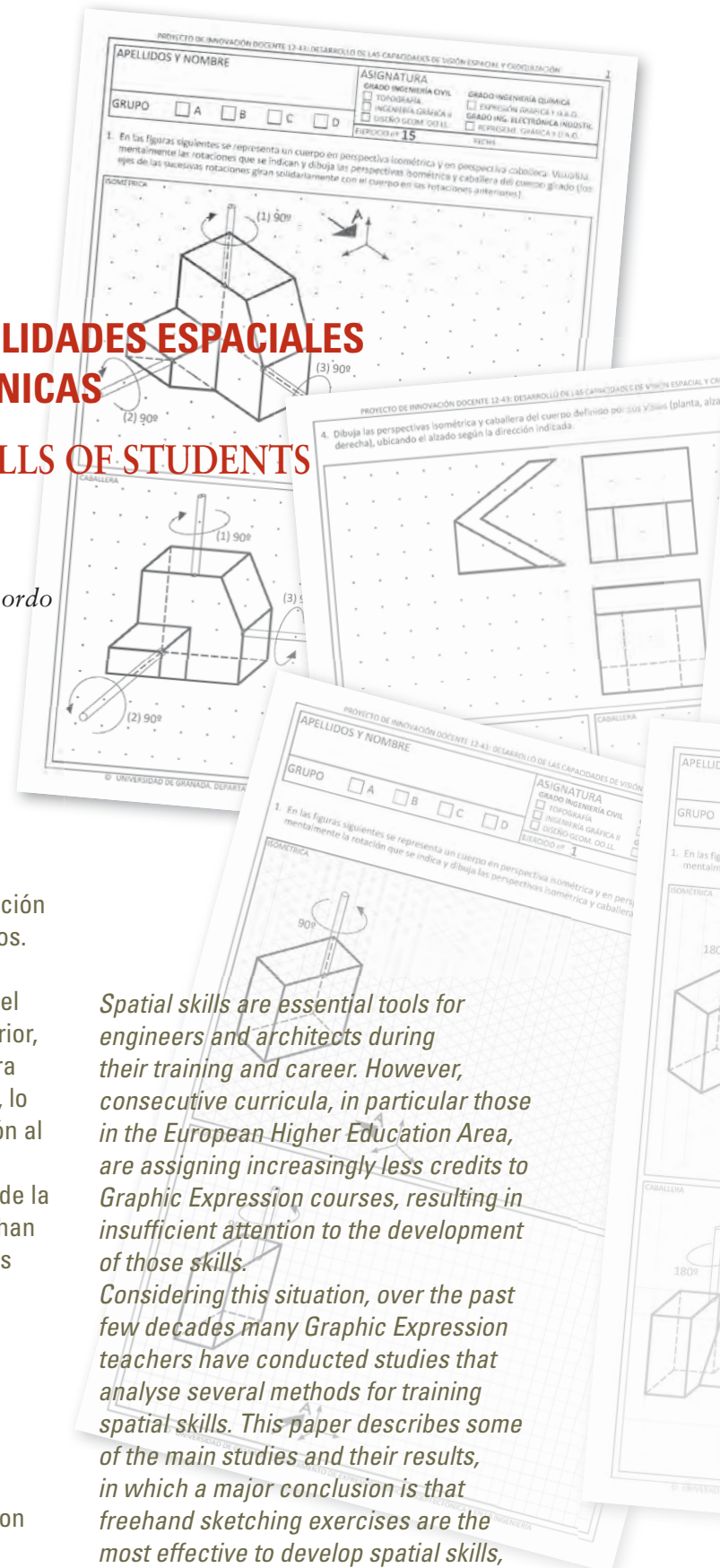
Las habilidades espaciales son herramientas fundamentales en el desempeño profesional y en la formación académica de ingenieros y arquitectos. Sin embargo los sucesivos planes de estudio, en particular los derivados del Espacio Europeo de Educación Superior, asignan cada vez menos créditos para las asignaturas de Expresión Gráfica, lo que conlleva una insuficiente atención al desarrollo de estas habilidades. Ante esta situación, desde el ámbito de la docencia de la Expresión Gráfica se han llevado a cabo en las últimas décadas numerosos estudios que analizan varios métodos entrenamiento de las habilidades espaciales. Este artículo describe algunos de los principales estudios y sus resultados, de los que se desprende que son los ejercicios de bocetado a mano alzada los más eficaces, por encima del modelado con aplicaciones CAD y de herramientas innovadoras y software específicamente diseñado para ello.

PALABRAS CLAVE: HABILIDADES ESPACIALES. BOCETADO. EXPRESIÓN GRÁFICA. TITULACIONES TÉCNICAS. ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Spatial skills are essential tools for engineers and architects during their training and career. However, consecutive curricula, in particular those in the European Higher Education Area, are assigning increasingly less credits to Graphic Expression courses, resulting in insufficient attention to the development of those skills.

Considering this situation, over the past few decades many Graphic Expression teachers have conducted studies that analyse several methods for training spatial skills. This paper describes some of the main studies and their results, in which a major conclusion is that freehand sketching exercises are the most effective to develop spatial skills, more than modelling with CAD software or using innovative tools and specific applications.

KEYWORDS: SPATIAL SKILLS. SKETCHING. GRAPHIC EXPRESSION. TECHNICAL DEGREES. EUROPEAN HIGHER EDUCATION AREA





Las habilidades espaciales de los estudiantes de carreras técnicas. Importancia y estado actual

La Expresión Gráfica y las habilidades espaciales son herramientas fundamentales para el desempeño profesional de ingenieros y arquitectos. Son imprescindibles para todo diseñador, y posibilitan la transmisión por medios gráficos del diseño entre todos los agentes intervinientes en el proceso de proyecto y construcción o fabricación del edificio, estructura, máquina, etc. También es crucial el papel de estas habilidades en su formación académica, pues son imprescindibles para el aprendizaje de la Expresión Gráfica, facilitan la resolución de problemas y la comprensión de conceptos científicos, e influyen en el nivel de confianza de los estudiantes y en su permanencia en la carrera (Sorby 2007).

Pero la realidad es que las habilidades espaciales de los estudiantes son cada vez más pobres. La progresiva reducción del número de créditos asignados a las asignaturas de Expresión Gráfica, en particular en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior, ha obligado a condensar tanto los temarios que ya apenas se presta atención a los clásicos ejercicios consistentes en dibujar la perspectiva axonométrica de un cuerpo a partir de sus vistas normalizadas y viceversa, que constituyen la vía tradicional de entrenamiento de las habilidades espaciales (Mataix et al. 2014; Sorby y Baartmans 2000). Y esta situación se agrava además porque actualmente es posible acceder a cualquier grado de ingeniería y arquitectura sin haber cursado Dibujo Técnico en el Bachillerato.

Métodos de entrenamiento de las habilidades espaciales

Ante esta situación, desde el ámbito de la docencia de la Expresión Gráfica se han llevado a cabo en las últimas décadas numerosas iniciativas encaminadas a la mejora de las habilidades espaciales de los estudiantes de carreras técnicas, empleando diversos métodos con distinto grado de éxito, siendo los más representativos los basados en actividades tradicionales de lápiz y papel, en software específico o herramientas informáticas innovadoras, y en aplicaciones CAD.

Para la evaluación de sus resultados, los diferentes estudios han usado uno o varios test de medida de las habilidades espaciales, administrados a los participantes antes y después de las actividades de entrenamiento. Los más usados son *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations* (PSVT:R) (Guay 1977), *Mental Rotations Test* (MRT) (Vandenberg & Kuse 1978) y *Differential Aptitude Test: Spatial Relations* (DAT:SR) (Bennett et al. 1973).

La comparación entre las diferentes metodologías se realizará mediante dos parámetros calculados a partir de los resultados reportados por los estudios descritos a continuación: la *mejora absoluta media*, o porcentaje que supone la diferencia entre las puntuaciones medias de los test inicial y final respecto de la puntuación máxima del test; y la *mejora relativa media*, o el porcentaje que supone la misma diferencia respecto de la puntuación media del test inicial.

Actividades tradicionales de lápiz y papel

Consisten en la resolución mediante dibujos a mano alzada de ejercicios en los que se deben obtener las vistas

The spatial abilities of students of technical studies. Importance and current state

Graphic expression and spatial abilities are fundamental tools to pursue a profession in Engineering and Architecture. These are indispensable for any designer and enable the graphic transmission of the design among all the agents involved in the design, construction or manufacture of a building, structure, or machine, etc. Also, these abilities are crucial in academic training, as they are vital for learning graphic expression, facilitate problem solving, aid in understanding scientific concepts, and increase the confidence level of students and their success in their studies (Sorby 2007).

However, the fact is that the spatial abilities of students is steadily declining. The progressive reduction in the number of credits assigned to courses in graphic expression, particularly within the framework of the European Higher Learning Area has forced the curricula to be condensed to the point of hardly paying attention to classical exercises of drawing an axonometric perspective of an object from its normalized views and vice versa, which constitute the traditional path of training spatial abilities (Mataix et al. 2014; Sorby and Baartmans 2000). This situation is becoming more acute because it is currently possible to enter any level of Engineering and Architecture without having studied technical drawing in secondary school.

Methods of training spatial abilities

Due to this situation, within the sphere of teaching graphic expression, numerous initiatives using diverse methods have been proposed in the last few decades to improve the spatial abilities of students in technical studies. Different degrees of success have been achieved, the most representative approaches being based on traditional pencil and paper activities, specific software, innovative computer tools, or CAD applications.

To assess the results, different studies have used one or several tests to measure spatial abilities, administered to the participants before and after training activities. The most widely used are the *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations* (PSVT:R) (Guay 1977), *Mental Rotation Test* (MRT)



(Vandenberg & Kuse 1978), and *Differential Aptitude Test: Spatial Relations* (DAT:SR) (Bennett et al. 1973).

The different methodologies were compared by two parameters calculated from the results reported by the studies described below: *average absolute improvement*, or percentage given by the difference between the average scores of the initial test and the final one with respect to the highest test score; and the *average relative improvement*, or the percentage given by the same difference with respect to the average score of the initial test.

Traditional pencil and paper exercises

These consist of resolving exercises by the freehand sketching of a normalized view of a figure from a perspective, including rotations, developments, sections, symmetry, etc..

Notable in this category is the work of Sorby at Michigan Technological University (USA), responsible for the class entitled *Introduction to Spatial Visualization*, which since 1993 admits new Engineering students who did not surpass a 60% score on the PSVT:R test, administered to all students entering the university. This course, in its initial version (Sorby and Baartmans 2000), was 3 credits, trimestral, and lasted 10 weeks with 2 h of theory and several more of weekly practice. In the year 2000, this course was revised (Sorby 2007), becoming only 1 credit, semestral, lasting 15 weeks of 2 h of practice per week. On average, about 30 students enrolled in this class per year.

The class consists of: isometric and orthographic sketching, development of figures, rotation, reflexion, sections, surfaces, and solids of revolution and intersection of solids. In its current version, the course is given through a handbook prepared by Sorby et al. (2003) "*Introduction to 3D Spatial Visualization*", which describes 523 activities for pencil and paper (Fig. 1) and a CD with new multimedia modules.

The pencil and paper activities that appear in this handbook are of two types: those that require freehand sketching (Fig. 1, left column), and those requiring the choice of the correct solution among several options depicted (Fig. 1, right column). The second type includes almost all the activities that appear in the CD that accompanies the book. Sorby (2007) confirmed that these multimedia exercises alone hardly developed the

normalizadas de un cuerpo a partir de una perspectiva y viceversa, giros, desarrollos, secciones, simetrías, etc.

En esta categoría destaca el trabajo de Sorby en la *Michigan Technological University*, responsable de la asignatura *Introduction to Spatial Visualization*, que desde 1993 se oferta a los nuevos estudiantes de ingeniería que no superan la puntuación del 60% en el test PSVT:R, administrado al conjunto de los estudiantes a su ingreso en la universidad. Esta asignatura, en su versión inicial (Sorby y Baartmans 2000), era de 3 créditos, trimestral, de 10 semanas de duración y con dos horas de teoría y otras tantas de prácticas a la semana. En el año 2000 fue revisada (Sorby 2007), pasando a ser de sólo 1 crédito, semestral, de 15 semanas de duración y con dos horas prácticas a la semana. Por término medio se matriculan en esta asignatura unos 30 estudiantes por curso.

Sus contenidos principales son: bocetado isométrico y ortográfico, desarrollo de cuerpos, rotación, reflexión, secciones, superficies y sólidos de revolución e intersección de sólidos. En su versión actual, la asignatura se desarrolla en torno al cuaderno de trabajo confeccionado por Sorby et al. (2003) "*Introduction to 3D Spatial Visualization*", que cuenta con 523 actividades de lápiz y papel (Fig. 1) y un CD con nueve módulos multimedia.

Las actividades de lápiz y papel que figuran en este libro son de dos tipos: las que requieren bocetar a mano alzada (Fig. 1, columna izquierda), y las que consisten en elegir la solución correcta entre varias opciones dadas (Fig. 1, columna derecha). Del segundo tipo son casi todas las actividades que figuran en el CD que acompaña al libro. Sorby (2007) comprobó que estos recursos multimedia, por sí solos,

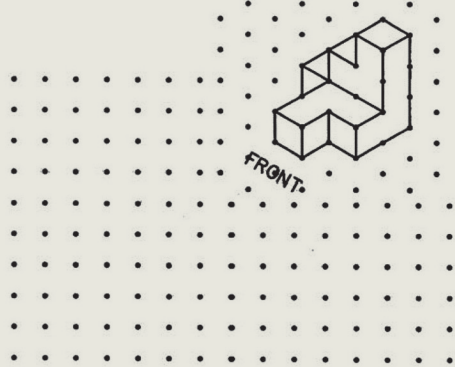
apenas desarrollan las habilidades espaciales, por lo que los buenos resultados obtenidos por esta metodología se deben casi por completo a las actividades de bocetado a mano alzada.

Las mejoras medias absolutas y relativas logradas por los estudiantes de esta asignatura son del 26,1% y 52,4% en el PSVT:R, 14,0% y 25,1% en el MRT, y 17,4% y 29,0% en el DAT:SR, respectivamente.

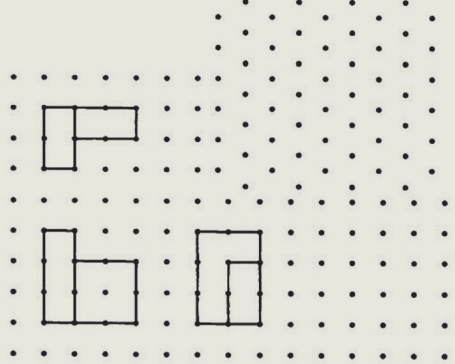
Otra metodología interesante, basada en el trabajo con lápiz y papel, es el "bocetado mentorizado" de Mohler y Miller (2008), ensayada en 2006 con 24 estudiantes de la asignatura *Introduction to Graphics for Manufacturing* de la *Purdue University*. Consiste básicamente en que el estudiante dibuja en clase la solución de un problema en tiempo real junto al profesor, que expone el procedimiento mediante el que ha de resolverse dicho problema y realiza con ellos las mismas tareas. Esta metodología logró muy buenos resultados en los estudiantes con peor puntuación en el test MRT al comienzo del estudio, con una mejora media absoluta del 15,6% y relativa del 28,3%.

En el curso 2012-2013 se llevó a cabo en la Universidad de Granada un programa de mejora de las habilidades espaciales y de bocetado de los estudiantes de varias titulaciones técnicas (Mataix 2014; Mataix et al. 2014), cuya metodología fue el resultado de conjugar y optimizar las anteriormente descritas. A grandes rasgos, este programa consistió en la realización de varios seminarios destinados a los estudiantes que peores resultados obtuvieron en los test PSVT:R y MRT administrados al comienzo del curso, y en la puesta a disposición del conjunto de estudiantes de una colección de 25 actividades de lápiz y papel, ba-

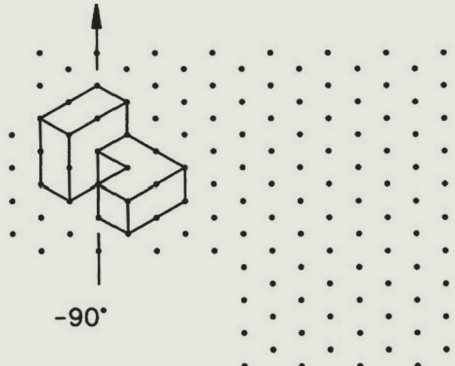
Dada la perspectiva isométrica del objeto de la figura, representar su planta, alzado y vista lateral derecha:



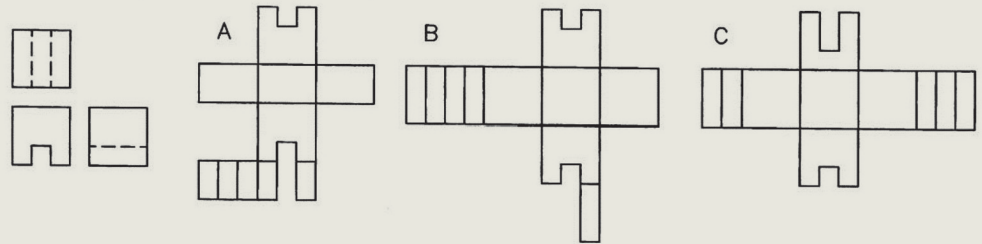
Dada la planta, alzado y vista lateral derecha del cuerpo de la figura, representar su perspectiva isométrica:



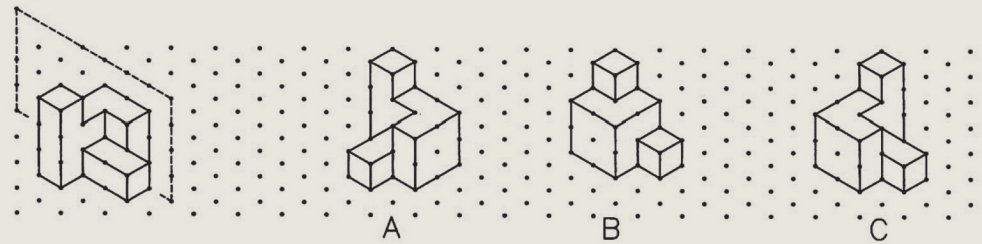
Representar la perspectiva isométrica del cuerpo dado girado según el eje y ángulo indicados:



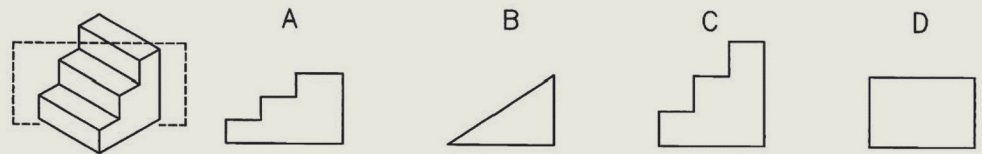
Dadas las vistas normalizadas del cuerpo de la figura, indicar cuál de los tres desarrollos propuestos (A, B o C) le corresponde:



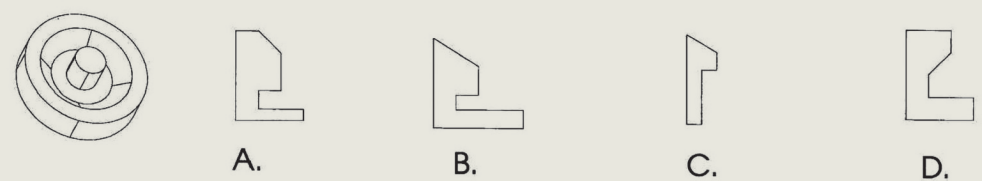
Determinar cuál de las figuras propuestas (A, B o C) es el reflejo del objeto de la izquierda según el plano representado:



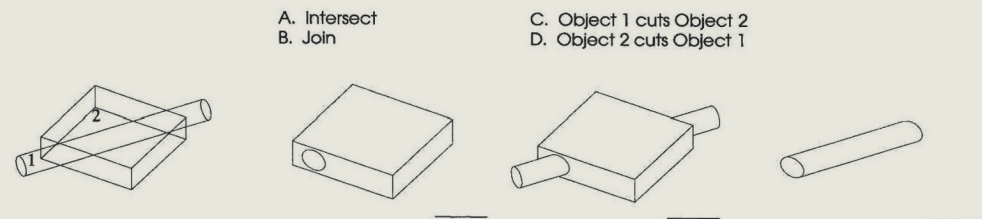
Determinar cuál de las figuras propuestas (A, B, C o D) es la sección que produce el plano dado sobre el cuerpo representado:



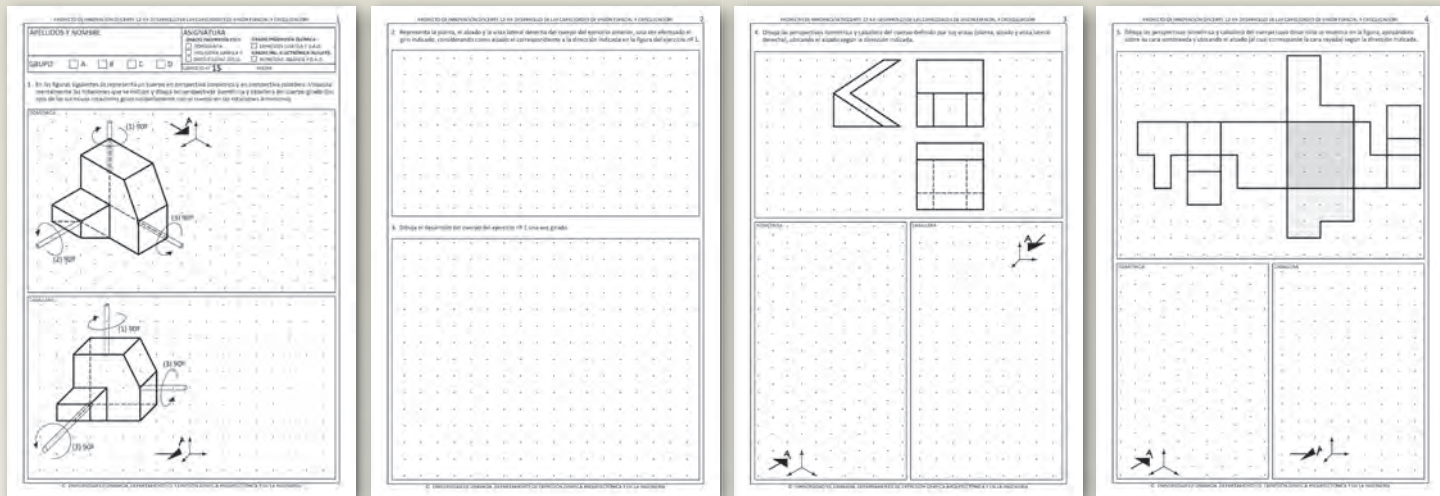
Indicar a partir de qué figura (A, B, C o D) se ha obtenido por revolución el objeto de la izquierda:



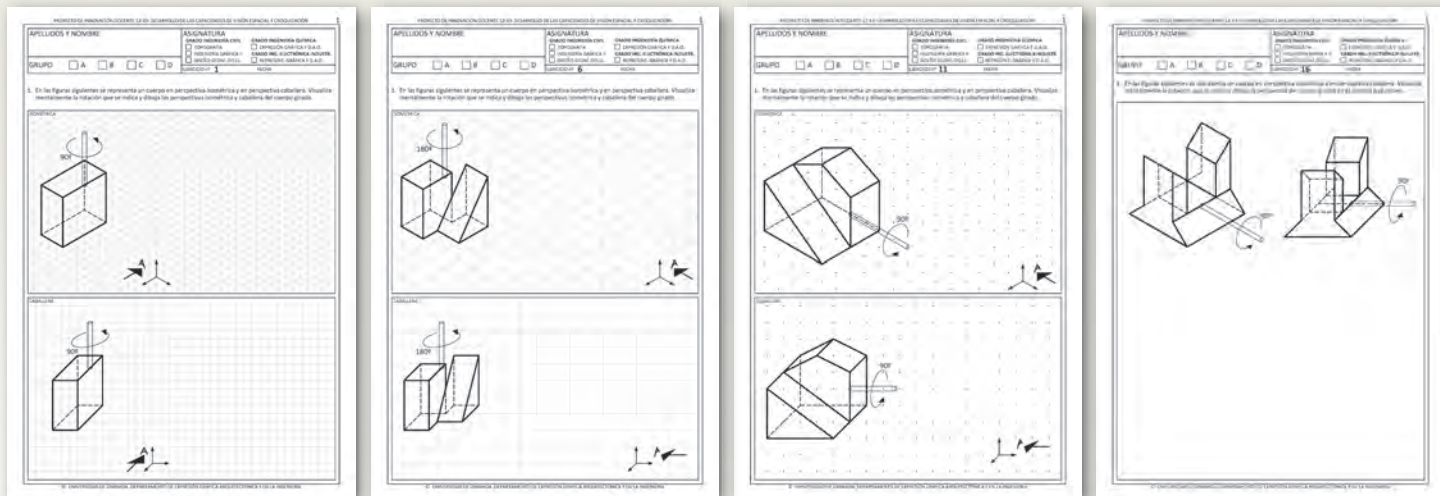
Indicar qué operación (A, B, C o D) se ha realizado entre los cuerpos 1 y 2, representados a la izquierda, para obtener cada una de las tres figuras de la derecha:



- A. Intersect
- B. Join
- C. Object 1 cuts Object 2
- D. Object 2 cuts Object 1



2



3

spatial abilities of the students, and therefore the good results reached with this methodology are owed almost completely to the freehand-sketching activities.

The average absolute and relative improvements achieved by the students in this course were, respectively: 26.1% and 52.4% on the PSVT:R; 14.0% and 25.1% on the MRT; and 17.4% and 29.0% on the DAT:SR.

Another useful methodology, based on pencil and paper work is the "mentored sketching" of Mohler and Miller (2008), tested in 2006 with 24 students in the course *Introduction to Graphics for Manufacturing at Purdue University*. This consisted basically of asking the student in class to draw the solution to a problem in real time together with the professor, who explained the procedure by which this problem was to be solved and performed the same tasks with the students. This approach achieved very good results in the students scoring the poorest on the

sadas en las del libro "*Introduction to 3D Spatial Visualization*" (Sorby et al. 2003) pero con varias modificaciones encaminadas a optimizar su eficacia (Figs. 2 y 3). Todas estas actividades, en las que participaron voluntariamente más de 200 estudiantes, se inscribían en las propias de las asignaturas de Expresión Gráfica de las titulaciones destinatarias del programa, por lo que el tiempo invertido por los estudiantes fue considerablemente inferior al requerido por la asignatura específica conducida por Sorby en la *Michigan Technological University*.

El conjunto de los participantes en estas actividades obtuvo unas mejoras medias absolutas y relativas del 15,9% y 26,7% en el PSVT:R, y del

7,4% y 9,6% en el MRT, respectivamente. Sin embargo, las mejoras logradas por los estudiantes con peor nivel inicial de habilidades espaciales (puntuación en el PSVT:R inicial igual o inferior al 60%), fueron del 22,5% y 51,6% en PSVT:R, y del 13,1% y 20,7% en MRT, respectivamente.

Contero et al. (2005) realizaron un estudio en la Universidad de La Laguna con el objetivo de analizar la eficacia de varios métodos para el entrenamiento de las habilidades espaciales. Para ello diseñaron tres cursos de 6 horas de duración (tres sesiones de dos horas) denominados A, B y C, a los que se asignaron 17, 15 y 20 alumnos respectivamente con bajo nivel inicial de habilidades espaciales. El curso A



2. Ejemplo de actividad de entrenamiento de las habilidades espaciales

3. Ayudas al dibujo en las actividades de entrenamiento. En las cinco primeras se proporciona una cuadrícula fina. En las cinco siguientes, una cuadrícula más gruesa. A continuación, una malla de puntos. Y en las diez últimas, ninguna en absoluto. Con ello se pretende estimular el desarrollo de la habilidad de bocetado a mano alzada

2. Example of training activity for spatial abilities

3. Drawing aids in training activities. In the first five, a fine grid is provided. In the following five, a thicker grid appears. Next is a grid of dots. And in the last ten, no grid at all is provided. This is intended to stimulate the development of the ability to sketch freehand

se basó exclusivamente en actividades de lápiz y papel similares a las descritas anteriormente. Los cursos B y C se estructuraron alrededor de herramientas innovadoras o software específico y se describen más adelante. Tras ese corto período de entrenamiento los estudiantes del curso A lograron unas mejoras medias absolutas y relativas impresionantes, del 26,8% y 65,4% en MRT y del 21,8% y 38,2% en DAT:SR, respectivamente.

Software específico

Existen en internet numerosas aplicaciones de mejora de las habilidades espaciales, entre las que cabe destacar las disponibles en la web del Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, y la del Departamento de Expresión Gráfica de la Universidad de Burgos. Todas estas aplicaciones tienen en común que casi todas sus actividades consisten en la selección de la solución entre varias alternativas, lo que las hace susceptibles de ser resueltas por métodos analíticos.

El curso B del estudio de Contero et al. (2005) se ciñó al empleo de aplicaciones web existentes, con idéntica duración del entrenamiento, tres sesiones de dos horas. Las

mejoras medias absolutas y relativas logradas por los estudiantes de este grupo fueron del 18,4% y 38,2% en MRT y del 10,3% y 16,8% en DAT:SR, respectivamente.

Martín-Dorta et al. (2011) efectuaron un estudio en la Universidad de La Laguna a comienzos del curso académico 2008-2009, en el que desarrollaron y evaluaron un curso rápido de mejora de las habilidades espaciales mediante una aplicación web construida sobre dispositivos táctiles portátiles. Este curso web tenía cinco módulos y varios niveles de dificultad basado en los materiales publicados por varios investigadores de este campo y en aplicaciones web existentes. Con una duración de una semana, los 38 estudiantes participantes en esta iniciativa obtuvieron en el test MRT una mejora media absoluta del 20,1% y relativa del 42,5%.

Herramientas innovadoras

El grupo de investigación Regeo 1 ha desarrollado la aplicación eCIGRO, que permite la generación de modelos tridimensionales a partir de bocetos a mano alzada sobre un dispositivo táctil (Fig. 4). Básicamente, esta aplicación construye sobre las líneas dibujadas a mano alzada por el usuario una malla de segmentos ortogonales, que define con cada vez más detalle la geometría del cuerpo a representar.

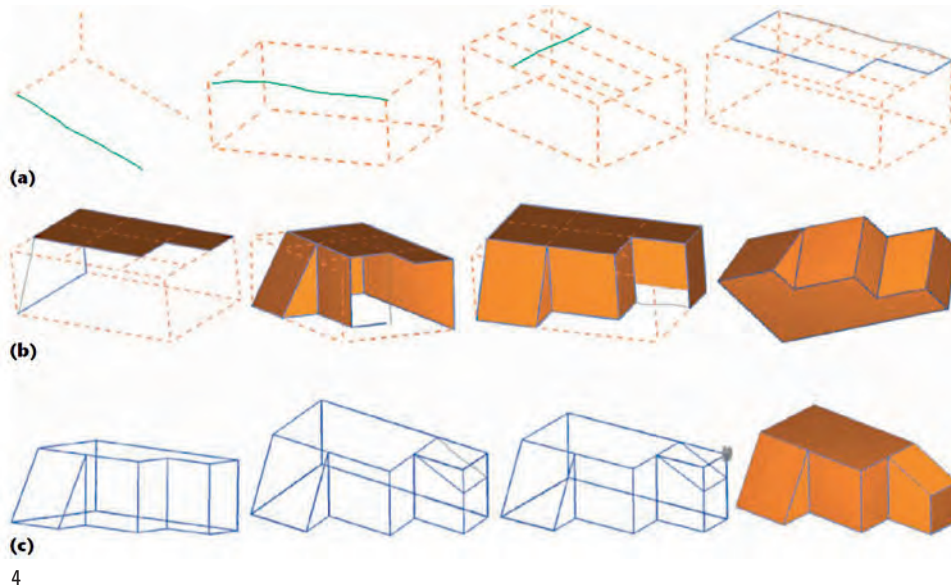
El curso C del estudio de Contero et al. (2005) consistió en otras tres sesiones de dos horas con la aplicación eCIGRO, logrando unas mejoras medias absolutas y relativas del 21,0% y 53,5% en MRT y del 14,8% y 22,4% en DAT:SR.

Por otro lado, Kinsey et al. (2008) (*University of New Hampshire*), estudiaron el efecto del entrenamiento con dos herramientas innovadoras

MRT test at the beginning of the course, with an average absolute improvement of 15.6% and relative of 28.3%.

In the 2012-2013 year, the University of Granada (Spain) conducted a programme to improve the spatial abilities and sketching skills of students of several technical majors (Mataix 2014; Mataix et al. 2014). The methodology was the result of combining and optimising previously described ones. In general, this programme consisted of presenting several seminars aimed at the students with the poorest results on the PSVT:R and MRT tests administered at the beginning of the year. In addition, all students were presented with a collection of 25 pencil and paper activities based on the book "Introduction to 3D Spatial Visualization" (Sorby et al. 2003) but with several modifications meant to optimise its effectiveness (Figs. 2 and 3). All these activities, in which more than 200 students participated voluntarily, were incorporated into the courses of Graphic Expression of the majors in the programme and therefore the time spent by the students was considerably less than required by the specific course conducted by Sorby at Michigan Technological University.

The group of participants in these activities improved their average absolute and relative scores by, respectively: 15.9% and 26.7% on the PSVT:R; and 7.4% and 9.6% on the MRT. However, the best achievements by the students with the lowest initial level of spatial abilities (initial score on the PSVT:R equal to or less than 60%), were 22.5% and 51.6% on the PSVT:R, and 13.1% and 20.7% on the MRT, respectively. Contero et al. (2005) carried out a study at the University of La Laguna (Canary Islands) with the aim of analysing the effectiveness of several methods to train spatial abilities. For this, these authors designed three courses of 6 h in duration (three sessions of 2 h) called A, B, and C, to which 17, 15, and 20 students with low initial spatial abilities were assigned, respectively. Course A was based exclusively on pencil and paper exercises similar to those described above. Courses B and C were structured around the innovative tools or specific software mentioned above. After this short training period, the students of course A achieved impressive average absolute and relative improvements, respectively: 26.8% and 65.4% on the MRT, and 21.8% and 38.2% on the DAT:SR.



Specific software

Internet offers numerous applications to improve spatial abilities, notably those available on the webpage of the Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, and that of the Departamento de Expresión Gráfica de la Universidad de Burgos. What all of these applications have in common is that all their activities consist of selecting the solution among several alternatives, an approach that tends to make the resolution of the problems analytical. Course B of the study by Contero et al. (2005) limits itself to existing web applications with the same training time (three 2-h sessions). The average absolute and relative improvements achieved by the students in this group were, respectively: 18.4% and 38.2% on the MRT, and 10.3% and 16.8% on the DAT:SR.

Martín-Dorta et al. (2011) made a study at the University of La Laguna at the beginning of the academic year of 2008-2009, in which they developed and evaluated a quick course in improving the spatial abilities by a web application constructed over portable touchscreen devices. This web course had five modules and several levels of difficulty based on the materials published by different researchers in this field and on existing web applications. With a duration of one week, the 38 students participating in this initiative averaged better on

(Fig. 5): *Alternative View Screen*, módulo de *SolidWorks* que permite visualizar simultáneamente dos representaciones de un objeto, una como modelo sólido y la otra sólo sus aristas, de manera que si el usuario gira el modelo sólido la representación alternativa se actualiza automáticamente; y *Physical Model Rotator*, dispositivo capaz de rotar un objeto físico en sincronía con el modelo del mismo objeto representado en *SolidWorks*. Para ello formaron un grupo de 11 estudiantes cuya puntuación en el PSVT:R inicial no superó el 60%. El entrenamiento consistió en dos sesiones semanales de una hora con cada herramienta durante cuatro semanas, logrando una mejora media absoluta del 25,0% y relativa del 52,2% en PSVT:R.

Aplicaciones CAD

Martín-Dorta et al. (2008) condujeron un estudio con 40 estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de La Laguna (curso 2006/07) con el

objetivo de analizar las aplicaciones CAD como vía de entrenamiento de las habilidades espaciales. Diseñaron un curso de 12 horas (3 semanas) de duración basado en la aplicación *SketchUp* de Google. Las actividades, de nivel creciente de dificultad, consistieron en el modelado de cuerpos a partir de objetos físicos, representaciones axonométricas o vistas normalizadas. Las mejoras medias absolutas y relativas logradas por el conjunto de los participantes fueron del 13,7% y 28,7% en el test MRT, y del 13,8% y 20,0% en DAT:SR respectivamente, y por los participantes con peor nivel inicial de habilidades espaciales, del 31,3% y 59,1% en MRT, y del 24,8% y 40,1% en DAT:SR, respectivamente.

Comparación de resultados

Existen dos factores que influyen sobre la puntuación en los test de medida y que no son homogéneos en los diferentes estudios analizados. El primero de ellos es el nivel previo de las habilidades espaciales de los participantes; el mismo entrenamiento produce mejores resultados en los sujetos con peores habilidades espaciales (Mataix 2014). Y el segundo factor es el tiempo transcurrido entre los test previo y posterior al entrenamiento. De acuerdo con Stanley y Hopkins (1972), en ausencia de entrenamiento específico suele lograrse en la segunda realización de un test un resultado superior al obtenido en su primera realización, debido al “efecto práctica”. Este efecto desaparece gradualmente, siendo despreciable a partir de los tres meses de la primera realización del test.

En la tabla 1 se recogen los resultados de los diferentes estudios ana-



5. *Alternative View Screen* (izquierda) y *Physical Model Rotator* (derecha) (Kinsey et al. 2008)

5. *Alternative View Screen* (left) and *Physical Model Rotator* (right) of Kinsey et al. (2008)

lizados. Con objeto de que la comparación sea consistente únicamente se muestran los resultados de los estudiantes con peor nivel inicial de habilidades espaciales. Es preciso tener en cuenta que en todos los estudios recogidos en esta tabla, excepto los de Sorby y Baartmans, Mohler y Miller, y Mataix et al., el tiempo transcurrido entre los test inicial y final es muy inferior a los tres meses, por lo que sus resultados están sobrestimados en mayor o menor grado por el “efecto práctica”. Si bien no es posible cuantificar este efecto, el hecho de que los mejores resultados correspondan al curso A del estudio de Contero et al., basado en actividades de lápiz y papel, con únicamente 6 horas de entrenamiento, permite afirmar que son las metodologías basadas en este tipo de actividades las que más eficazmente desarrollan las habilidades espaciales. La siguiente metodología en eficacia es la basada en las aplicaciones CAD, seguida de las herramientas innovadoras, y, en último lugar, las aplicaciones web.

Conclusiones

La conclusión más inmediata de todo lo anterior es que las actividades más eficaces para el entrenamiento de las habilidades espaciales son aquellas que requieren que el estudiante adopte un papel activo. Un ejercicio espacial consistente en elegir la solución correcta entre varias opciones dadas apenas mejora las habilidades espaciales, puesto que suele resolverse mediante estrategias analíticas.

Los resultados sugieren, y multitud de estudios lo corroboran, que son las actividades tradicionales de lápiz y papel como las descritas las que más eficazmente desarrollan las habilidades espaciales. En el marco de las actuales titulaciones técnicas derivadas del Espacio Europeo de Educación Superior, en las que cada vez se asignan menos créditos para la enseñanza de la Expresión Gráfica, es preciso que las actividades de entrenamiento de las habilidades espaciales se inscriban dentro de las asignaturas de esta materia, y que sean realmente eficaces para reducir al mínimo el tiempo que

the MRT by an absolute improvement of 20.2% and a relative improvement of 42.5%.

Innovative tools

The research group of Regeio **1** has developed a eCIGRO application that allows the generation of 3D models from freehand sketches over a touchscreen device (Fig. 4). Basically, this application constructs a network of orthogonal segments over lines drawn freehand by the user, defining with increasing detail the geometry of the figure to be represented.

Course C of Contero et al. (2005) has another three 2-hour sessions with the eCIGRO application, achieving average absolute and relative improvements, respectively, of 21.0% and 53.5% on the MRT, and 14.8% and 22.4% on the DAT:SR.

On the other hand, Kinsey et al. (2008), at the University of New Hampshire (USA), studied the effect of training with two innovative tools (Fig. 5): *Alternative View Screen*, a module of *SolidWorks* that permits simultaneous visualization of two representations of an object, one as a solid model and the other only lines, in such a way that if the user rotates the solid model, the alternative representation automatically changes accordingly; and *Physical Model Rotator*, a device capable of rotating a physical object in synchrony with the model of that object represented in *SolidWorks*. For this, they formed a group of 11 students whose initial

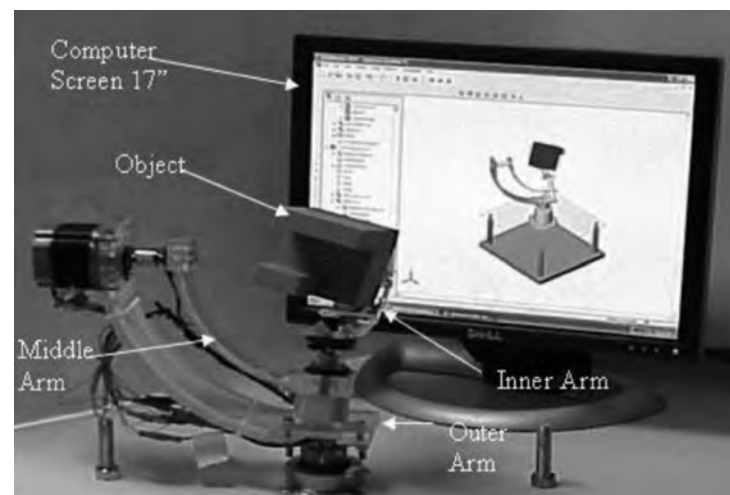
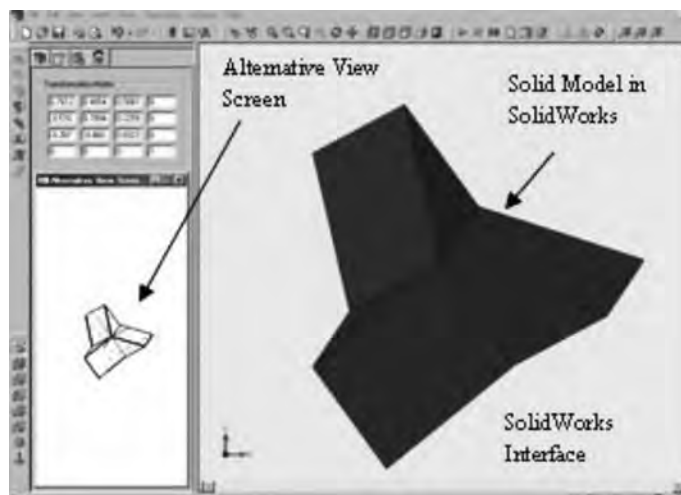




Tabla 1. Resultados de los diferentes métodos y estudios de entrenamiento de las habilidades espaciales

Table 1. Results of the different methods and studies on spatial-ability training

Métodos	Estudios	Test / Mejoras medias absolutas y relativas (%)					
		PSVT:R		MRT		DAT:SR	
		Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
Actividades tradicionales de lápiz y papel	Sorby y Baartmans	26,1	52,4	14,0	25,1	17,4	29,0
	Mohler y Miller			15,6	28,3		
	Mataix et al.	22,5	51,6	13,1	20,7		
	Contero et al.			26,8	65,4	21,8	38,2
Aplicaciones web	Contero et al.			18,4	38,2	10,3	16,8
	Martín-Dorta et al.			20,1	42,5		
Herramientas innovadoras	Contero et al.			21,0	53,5	14,8	22,4
	Kinsey et al.	25,0	52,2				
Aplicaciones CAD	Martín-Dorta et al.			31,3	59,1	24,8	40,1

Tabla 1

scores on the PSVT:R initially did not exceed 60%. The training, consisting of two weekly one-hour sessions with each tool for four weeks, registered average absolute and relative improvements, respectively, of 25.0% and 52.2% on the PSVT:R.

CAD applications

Martín-Dorta et al. (2008) conducted a study with 40 students in Civil Engineering at the University of La Laguna (2006/07 school year) with the aim of analysing CAD applications as a means of training spatial abilities. These researchers designed a course of 12 h (3 weeks) in duration based on the *SketchUp* application of Google. The activities, with ascending levels of difficulty, consisted of modelling figures from physical objects, axonometric representations or normal views. The absolute and relative improvement averaged, respectively: 13.7% and 28.7% on the MRT, and 13.8% and 20.0% on the DAT:SR for all the participants; and 31.3% and 59.1% on the MRT, and 24.8% and 40.1% on the DAT:SR, for the participants with the lowest initial scores.

Comparison of the results

Two factors influence test scores and are not uniform in the different studies made. The first is the prior level of spatial ability of the participant; the same training gives better results in the subjects with poorer spatial abilities (Mataix 2014). The second factor is the time between the initial test and the one following the training. According to Stanley and Hopkins (1972), even in the absence of specific training the subject usually does better in the second test due to the

han de dedicarles los estudiantes. Éste fue el principio con el que se diseñó el programa de mejora de las habilidades espaciales llevado a cabo en la Universidad de Granada el curso 2012/13, que como se ha visto obtuvo muy buenos resultados.

También resultan muy interesantes y eficaces las metodologías basadas en el trabajo con aplicaciones CAD, pero la realización de modelos tridimensionales requiere un gran dominio de estos programas, inalcanzable considerando el pequeño y menguante número de créditos de las asignaturas de Expresión Gráfica. ■

Notas

1/ <http://www.regeo.uji.es/>

Referencias

- BENNETT, G.K., SEASHORE, H.G. & WESMAN, A.G., 1973. *Differential aptitude tests, forms S and T*, New York: The Psychological Corporation.
- CONTERO, M. et al., 2005. Improving visualization skills in engineering education. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(5), pp.24-31. Doi: 10.1109/MCG.2005.107.
- GUAY, R.B., 1977. *Purdue Spatial Visualization Tests*, West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- KINSEY, B., TOWLE, E. & ONYANCHA, R.M., 2008. Improvement of Spatial Ability Using Innovative Tools: Alternative View Screen and Physical Model Rotator. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.1-8.

- MARTÍN-DORTA, N., SAORÍN, J.L. & CONTERO, M., 2008. Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education*, 97(4), pp.505-513.
- MARTÍN-DORTA, N., SAORÍN, J.L. & CONTERO, M., 2011. Web-based spatial training using handheld touch screen devices. *Educational Technology & Society*, 14(3), pp.163-177.
- MATAIX, J., 2014. *La habilidad espacial en los estudiantes de carreras técnicas. Desarrollo, medida y evaluación en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior*. Universidad de Córdoba.
- MATAIX, J., LEÓN, C. & MONTES, F., 2014. Las habilidades espaciales de los estudiantes de las nuevas titulaciones técnicas. Estudio en la Universidad de Granada. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 19(24), pp.264-271. Doi: 10.4995/ega.2014.1767.
- MOHLER, J.L. & MILLER, C.L., 2008. Improving Spatial Ability with Mentored Sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.19-27.
- SORBY, S.A., 2007. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education*, 13(1), pp.1-11.
- 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), pp.301-307.
- SORBY, S.A., WYSOCKI, A.F. & BAARTMANS, B.J., 2003. *Introduction to 3-D spatial visualization: an active approach*, Clifton Park, NY: Thomson.
- STANLEY, J.C. & HOPKINS, K.D., 1972. *Educational and Psychological Measurement*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- VANDENBERG, S.G. & KUSE, A.R., 1978. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), pp.599-604.



practice effect. This effect disappears gradually, becoming negligible after about three months after the first testing.

Table 1 presents the results of the different studies made. So that the comparison is consistent, the only results shown correspond to students with a lower level of spatial abilities. It should be taken into account that in all the studies presented in this table, except those of Sorby and Baartmans, Mohler and Miller, and Mataix et al., the time between the initial and final test was far less than three months, and thus the results are overestimated to a greater or lesser degree due to the practice effect. Although it is not possible to quantify this effect, the fact that the best results correspond to Course A of the study by Contero et al., using pencil and paper activities with only 6 h of training, leads to the conclusion that methodologies based on these types of activities most effectively develop spatial abilities. The methodology in effectiveness is based on CAD applications followed by innovative tools, and finally web applications.

Conclusions

The most immediate conclusion concerning the above is that the activities most effective for training spatial abilities are those that require the student to adopt an active role. A spatial exercise consisting of choosing the correct solution among several options hardly improved spatial abilities, given that it is usually resolved by analytical strategies.

The results suggest, as many studies corroborate, that the traditional pencil and paper activities such as those described above remain the most effective to develop spatial abilities. Within the framework of the current technical degrees of the European Higher Education Area, in which fewer credits are assigned to the teaching of graphic expression, the training activities of spatial abilities should be included within the course material for activities to be truly effective and to minimize the time the students need to dedicate to them. This was the premise upon which the programme to improve spatial abilities at the University of Granada in the 2012-13 school year was designed, and the results proved very good.

Also, the methodology based on the work with CAD applications proved highly pertinent and effective, but the construction of 3D models

requires advanced experience with these programs, which is untenable given the small and dwindling number of credits accorded to the courses in graphic expression. ■

Notes

1 / <http://www.regeo.uji.es/>

References

- BENNETT, G.K., SEASHORE, H.G. & WESMAN, A.G., 1973. *Differential aptitude tests, forms S and T*, New York: The Psychological Corporation.
- CONTERO, M. et al., 2005. Improving visualization skills in engineering education. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(5), pp.24–31. Doi: 10.1109/MCG.2005.107.
- GUAY, R.B., 1977. *Purdue Spatial Visualization Tests*, West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- KINSEY, B., TOWLE, E. & ONYANCHA, R.M., 2008. Improvement of Spatial Ability Using Innovative Tools: Alternative View Screen and Physical Model Rotator. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.1–8.
- MARTÍN-DORTA, N., SAORÍN, J.L. & CONTERO, M., 2008. Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education*, 97(4), pp.505–513.
- MARTÍN-DORTA, N., SAORÍN, J.L. & CONTERO, M., 2011. Web-based spatial training using handheld touch screen devices. *Educational Technology & Society*, 14(3), pp.163–177.
- MATAIX, J., 2014. *La habilidad espacial en los estudiantes de carreras técnicas. Desarrollo, medida y evaluación en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior*. Universidad de Córdoba.
- MATAIX, J., LEÓN, C. & MONTES, F., 2014. Las habilidades espaciales de los estudiantes de las nuevas titulaciones técnicas. Estudio en la Universidad de Granada. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 19(24), pp.264–271. Doi: 10.4995/ega.2014.1767.
- MOHLER, J.L. & MILLER, C.L., 2008. Improving Spatial Ability with Mentored Sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.19–27.
- SORBY, S.A., 2007. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education*, 13(1), pp.1–11.
- 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), pp.301–307.
- SORBY, S.A., WYSOCKI, A.F. & BAARTMANS, B.J., 2003. *Introduction to 3-D spatial visualization: an active approach*, Clifton Park, NY: Thomson.
- STANLEY, J.C. & HOPKINS, K.D., 1972. *Educational and Psychological Measurement*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- VANDENBERG, S.G. & KUSE, A.R., 1978. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), pp.599–604.