



## **LAS HABILIDADES ESPACIALES DE LOS ESTUDIANTES DE LAS NUEVAS TITULACIONES TÉCNICAS. ESTUDIO EN LA UNIVERSIDAD DE GRANADA**

### **SPATIAL SKILLS OF STUDENTS IN NEW TECHNICAL DEGREES. CASE STUDY AT THE UNIVERSITY OF GRANADA (SPAIN)**

*Jesús Mataix Sanjuán,  
Carlos León Robles,  
Francisco de Paula Montes Tubío*

doi: 10.4995/ega.2014.1767

La visión espacial y el bocetado a mano alzada son competencias fundamentales de todo ingeniero o arquitecto, tanto durante su formación como en el desempeño de su profesión. Sin embargo los sucesivos planes de estudio, en particular los derivados del Espacio Europeo de Educación Superior, han supuesto una importante merma en las habilidades espaciales de los estudiantes de las titulaciones técnicas.

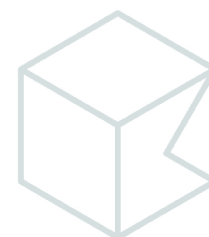
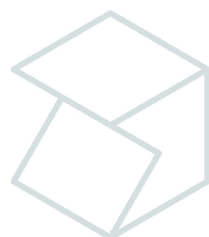
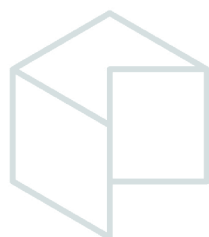
Este artículo describe la metodología implantada durante el curso académico 2012/2013 en varios grados técnicos de la Universidad de Granada, diseñada para mejorar las habilidades espaciales y de bocetado de sus estudiantes mediante una serie de actividades complementarias en las asignaturas de Expresión Gráfica. Los test estandarizados administrados a los estudiantes al principio y al final del período lectivo han puesto de manifiesto una importante mejora en aquéllos que han participado en estas actividades.

**Palabras clave:** Habilidades espaciales; Visión espacial; Expresión Gráfica; Titulaciones técnicas; Espacio Europeo de Educación Superior

*Spatial visualization and sketching are essential skills for engineers and architects during their training and career. However, successive curricula, in particular those resulting from the European Higher Education Area, have caused a marked decline in spatial skills of students pursuing technical degrees.*

*This paper describes the methodology introduced during the academic year 2012/2013 in several technical degrees at the University of Granada (Spain), designed to enhance the spatial and sketching skills of students by means of a series of complementary activities in Graphic Expression courses. The standardized tests administered to students at the beginning and at the end of the course revealed a major improvement in those who participated in these activities.*

**Keywords:** Spatial skills; Spatial visualization; Graphic Expression; Technical degrees; European Higher Education Area





## La habilidad espacial en las nuevas titulaciones técnicas

La visión espacial y el uso del boceto como medio de expresión gráfica son capacidades fundamentales de todo ingeniero o arquitecto en el desempeño de su actividad profesional. En el proceso de diseño, mediante el empleo de croquis y bocetos se realizan sucesivas aproximaciones a la solución, gracias a la capacidad de visión espacial que permite tanto la realización de los bocetos como el razonamiento sobre los mismos. *“Normalmente los alumnos de ingeniería quedan impactados al descubrir que sólo un pequeño porcentaje de las decisiones que toma un diseñador se basan en el tipo de cálculos que tanto tiempo ha pasado estudiando”* (Report on Engineering Design, 1961).

Diversos estudios corroboran que la adquisición de habilidades espaciales por parte de los alumnos de ingeniería y arquitectura está directamente relacionada con sus futuras posibilidades de éxito académico y profesional (Sorby & Baartmans, 1996; Ursyn, 1997).

En los últimos tiempos, la enseñanza de la Expresión Gráfica ha sufrido una paulatina devaluación, llegando incluso a ser eliminada de algunos planes de estudios (Pleck et al., 1990). Tradicionalmente los planes de estudio de las carreras técnicas incluían varias asignaturas relacionadas con la Expresión Gráfica, en las que durante uno o dos años el alumno adquiría, entre otras, las capacidades de visión espacial y bocetado. Si bien estos aspectos no solían formar parte del temario explícitamente, los problemas clásicos de perspectiva caballera o isométrica, consistentes en determinar la perspectiva de un cuerpo a partir

de sus vistas o viceversa, fomentaban estas capacidades de forma efectiva (Sorby, 1999). Los nuevos planes de estudio, derivados de la implementación del sistema ECTS y del Espacio Europeo de Educación Superior, reducen el aprendizaje de la Expresión Gráfica a uno o dos cuatrimestres en los que el alumno debe asimilar sus contenidos básicos de una forma mucho más acelerada.

Además, actualmente puede ingresarse en las carreras técnicas sin haber cursado en Bachillerato ninguna asignatura de Dibujo Técnico, lo que origina una gran heterogeneidad en el alumnado: conviven en un mismo grupo alumnos que no tienen ningún conocimiento previo de geometría, alumnos que aun habiendo cursado alguna asignatura de dibujo no han desarrollado apenas su capacidad de visión espacial, y alumnos con una formación previa adecuada (Sorby, 2006).

Como ya ha sido puesto de manifiesto en numerosos estudios (Bishop, 1978; Kyllonen et al., 1984; Lord, 1985; McArthur & Wellner, 1996), todas estas circunstancias están provocando un empobrecimiento de las habilidades espaciales y de bocetado de los alumnos en relación a los planes de estudio tradicionales, lo cual origina a corto plazo dificultades en el aprendizaje de las materias relacionadas con la Geometría y con la Expresión Gráfica, y a medio plazo una merma en la capacidad de diseño espacial en los alumnos próximos al egreso.

## La habilidad espacial. Concepto y medida

La primera identificación de la habilidad espacial como un factor importante de la inteligencia se debe a Thorndike (1921). Desde entonces

## Spatial ability in new technical degrees

Spatial vision and the use of sketching as a means of Graphic Expression are fundamental skills of any engineer or architect. In the design process, with sketches and preliminary drawings, successive approaches to the solution are tried, based on the capacity of spatial vision that enables both the sketching as well as the reasoning underlying the sketches. “Usually, engineering students are shocked to discover that only a small percentage of the decisions made by a designer are based on the type of calculations that they spent so much time studying” (Report on Engineering Design, 1961). Different studies corroborate that the acquisition of spatial abilities on the part of engineering and architecture students is directly related to their future possibilities of academic and professional success (Sorby & Baartmans, 1996). Lately, however, the teaching of Graphic Expression has undergone a gradual devaluation, even being eliminated from some study curricula (Pleck et al., 1990). Traditionally, curricula of technical studies included several courses related to Graphic Expression, in which, for one or two years, the student developed spatial-vision and sketching skills. Though these aspects do not usually form part of the course description explicitly, the classical problems of oblique or isometric perspective, consisting of determining the perspective of a body from its different views, or vice versa, fomented these abilities in an effective way. The new study plans, derived from the implementation of the European Higher Education Area (EHEA) reduce the learning of the Graphic Expression to one or two quarters in which the student must assimilate the basic subject matter in a far more accelerated way. Furthermore, students can now enrol in technical majors without having passed any technical-drawing class in high school, this resulting in a striking lack of uniformity in student skills. Consequently, students with no prior knowledge of geometry are mixed with those who, though having gone through some drawing course, have hardly developed their spatial vision, as well as with those who have appropriate preparation in technical drawing.

As pointed out in numerous studies (e.g. Bishop, 1978; Lord, 1985), all these circumstances are provoking an impoverishment of the spatial



abilities and sketching skills of students in relation to traditional education, which brings about short-term difficulties in learning of material related to geometry and to Graphic Expression, and over the middle term causes a decline in the spatial drawing capacity of students close to graduating.

### Spatial ability. Concept and measurement

The spatial ability as an important factor of intelligence was first identified by Thorndike (1921). Since then, many researchers have sought to define this ability, the definition of Lohman (1979) being the most widely accepted: "The ability to generate, retain, and manipulate abstract visual images."

Spatial ability is composed of several factors, in number and terminology, according to the different researchers involved, although they could be lumped into two basic categories:

- Spatial visualization: more commonly known as spatial vision, defined by McGee (1979) as the mental ability to manipulate, rotate, or invert objects from graphic representations.
- Spatial orientation: The ability not to become confused by varied orientations in which a spatial figure can be presented (French 1951).

Numerous tests have been devised since the beginning of the 20th century to measure spatial abilities, with research as well as commercial ends. The panorama was so extensive that Eliot and Smith (1983) compiled almost 400 tests in their work *An International Directory of Spatial Tests*. However, only a small number of these are repeatedly used in research on spatial abilities, notable cases being: *Mental Cutting Test (MCT)* (College Entrance Examination Board, 1939), conceived originally in the USA as an entrance exam for the university; *Differential Aptitude Test: Spatial Relations (DAT:SR)* (Bennett et al., 1973); *Mental Rotations Test (MRT)* (Vandenberg & Kuse, 1978) (Fig. 1); and *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R)* (Guay, 1977) (Fig. 2).

### Methods for improving spatial ability

In recent years, several experiments have been made to improve the spatial abilities of students

han sido muy numerosos los investigadores que han tratado de definirla, debiéndose a Lohman (1979) su definición más comúnmente aceptada: "la habilidad de generar, retener y manipular imágenes visuales abstractas".

La habilidad espacial se compone de varios factores, en número y denominación variable según los diferentes investigadores, aunque pueden englobarse en dos categorías fundamentales:

- Visualización espacial: más comúnmente conocida como visión espacial, fue definida por McGee (1979) como la habilidad de manipular, rotar o invertir mentalmente objetos a partir de representaciones gráficas.
- Orientación espacial: habilidad de no confundirse en las variadas orientaciones en que puede presentarse una figura espacial (French, 1951).

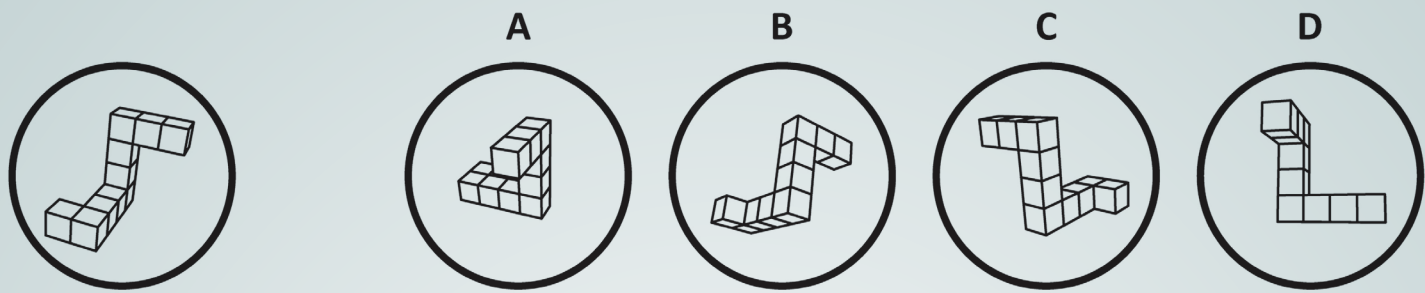
Son muy cuantiosos los test confeccionados desde principios del siglo xx para la medición de las habilidades espaciales con finalidades tanto investigadoras como comerciales. Tanto es así que Eliot y Smith (1983) compilaron casi 400 test en su obra *An International Directory of Spatial Tests*. Sin embargo sólo un pequeño número de ellos son los utilizados recurrentemente en la investigación sobre las habilidades espaciales, destacando los siguientes: *Mental Cutting Test (MCT)* (College Entrance Examination Board, 1939), concebido originalmente en EE.UU. como examen de ingreso en la universidad; *Differential Aptitude Test: Spatial Relations (DAT:SR)* (Bennett et al., 1973); *Mental Rotations Test (MRT)* (Vandenberg & Kuse, 1978) (Fig. 1); y *Purdue Spatial Visualization Test: Rotations (PSVT:R)* (Guay, 1977) (Fig. 2).

### Estrategias de mejora de la habilidad espacial

Durante los últimos años se han llevado a cabo varias experiencias encaminadas a la mejora de las habilidades espaciales de estudiantes de carreras técnicas. Éstas responden fundamentalmente a dos metodologías diferenciadas:

- Cursos basados en la realización de operaciones espaciales con cuerpos (perspectivas, vistas, rotaciones, secciones, simetrías, etc) mediante bocetos. La duración de estos cursos oscila entre un trimestre y semestre. Destacan los trabajos de Sorby y Baartmans (2000) en la Universidad Tecnológica de Michigan, Fleisig et al. (2004) en la Universidad McMaster y Mohler y Miller (2008) en la Universidad Purdue.
- Empleo de tecnologías multimedia, entre las que cabe destacar los trabajos de Martín-Dorta et al. (2011) y Martín-Gutiérrez et al. (2010), así como los recursos web del Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte).

Generalmente los recursos multimedia se basan en actividades en las que se debe elegir la solución correcta a un problema entre un grupo de posibles respuestas. Si bien esta metodología resulta más atractiva para los estudiantes que el empleo de lápiz y papel, su eficacia es menor ya que pueden resolverse por eliminación o empleando técnicas analíticas diferentes de la visión espacial. Numerosos estudios corroboran que el empleo del bocetado a mano alzada es el mejor medio para mejorar las habilidades espaciales (Mc Kim, 1980; Roorda, 1994; Sorby & Baartmans, 1996; Alias et al., 2002; Mohler & Miller, 2008).



1

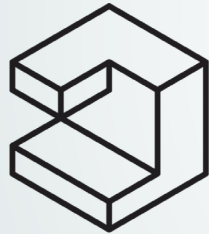
1. Primer ítem del test MRT (Vandenberg & Kuse 1978). En la primera columna se presenta el cuerpo modelo. Hay que determinar qué dos figuras de las cuatro posibles corresponden al cuerpo modelo visto desde diferentes perspectivas.

1. The first item of the MRT test (Vandenberg & Kuse 1978). In the first column appears the model figure. The problem is to determine which two figures of the four possible ones correspond to the model figure shown from different perspectives.

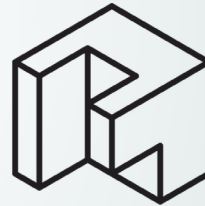
2. Primer ítem del test PSVT-R (Guay 1977). En la primera fila se muestran las perspectivas isométricas de un cuerpo antes y después de sufrir uno o varios giros. Debe elegirse cuál de las cinco opciones dadas corresponde al resultado de aplicar al cuerpo modelo la misma secuencia de rotaciones.

2. The first item of the PSVT-R test (Guay 1977). In the first column, isometric perspectives are shown of a figure before and after being turned once or more. The problem is to choose which options of the five given correspond to the result of applying the same type of rotation to the model figure.

GIRANDO



SE OBTIENE



COMO GIRANDO

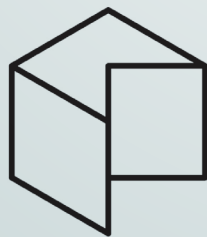


SE OBTIENE ...

A



B



C



D



E



2



of technical majors. These involve fundamentally two distinct methods:

- Courses based on spatial exercises with figures (perspectives, views, rotations, sections, symmetry, etc.) by sketching. The duration of these courses ranges from a quarter to a semester. Most notable are the works of Sorby and Baartmans (2000) at the Michigan Technological University, Fleisig et al. (2004) at McMaster University, and Mohler and Miller (2008) at the University of Purdue.
- Generally multimedia resources are based on activities in which the correct solution to a problem must be chosen from a group of possible answers. Though this methodology is more attractive for students that use a pencil and paper, its effectiveness is lower as it can be resolved by the elimination or by using different analytical techniques of spatial vision. Many studies corroborate that the use of freehand sketching is the best means to improve spatial abilities (Roorda, 1994; Sorby & Baartmans, 1996; Alias et al., 2002; Mohler & Miller, 2008).

## Study at the University of Granada (Spain)

During the academic course (2012/2013), a study was made of the undergraduate students of Civil Engineering, Chemical Engineering, and Industrial Electronic Engineering of the University of Granada with two fundamental aims: to evaluate their spatial abilities when confronted with courses in Graphic Expression, and to evaluate the effectiveness of a set of activities specifically designed to improve spatial abilities and sketching.

This study had the following phases:

- 1 Initial evaluation of the spatial abilities of the students by the administration at the beginning of the semester of the PSVT-R and MRT tests.
- 2 Identification of the students with less developed spatial abilities in relation to the mean values in the different classes, based on the results of the test. A group of 40 students volunteered to participate in a series of seminars in which the method followed was analogous to the mentored sketching of Mohler and Miller (2008), using the exercises described under point.

3. Ejemplo de ejercicio de mejora de las habilidades de visión espacial y bocetado. Consiste en la realización de varias operaciones espaciales con cuerpos que han de resolverse a mano alzada, con la ayuda en los primeros ejercicios de una cuadrícula, de una malla de puntos en los siguientes, y sin ayuda

ninguna en los últimos con objeto de que el alumno se acostumbre de forma gradual a bocetar a mano alzada.

3. Example of improvement in the spatial vision and sketching abilities.

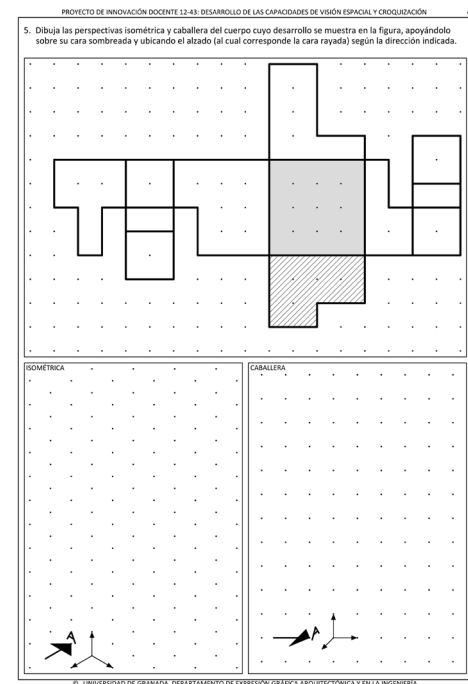
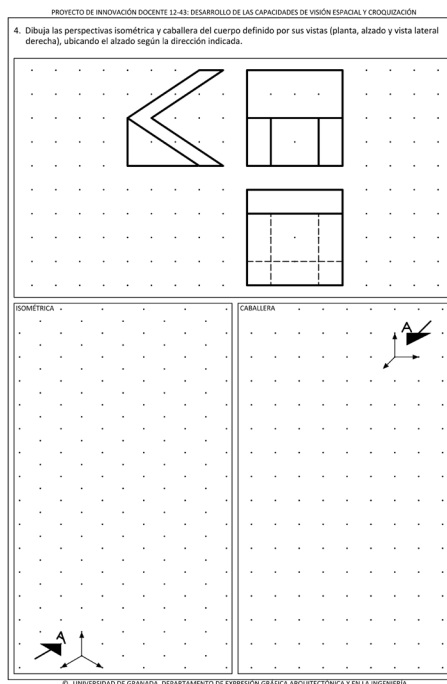
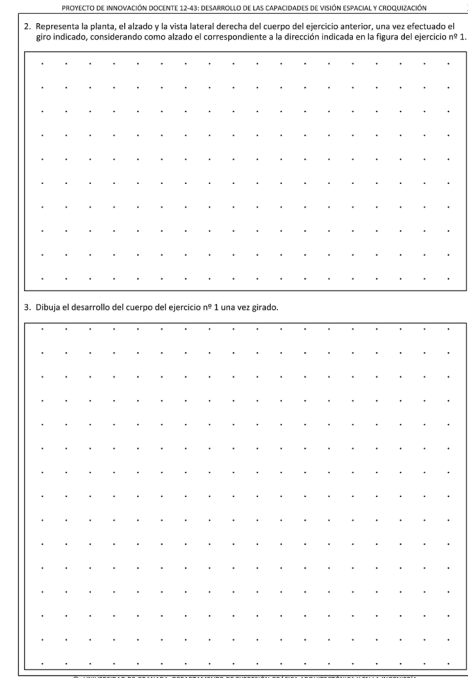
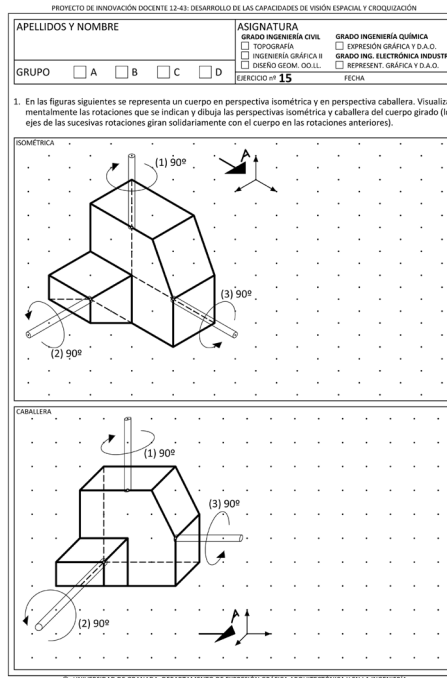




Tabla 1. Resultados del estudio llevado a cabo en la Universidad de Granada.

Table 1: results of the study conducted at the University of Granada.

GRUPO	1º I.C.	2º I.C.	1º I.Q.	1º I.E.I.	Global
Nº estudiantes matriculados	339	245	178	72	834
Nº estudiantes que realizaron los test iniciales	302	214	139	58	713
Nº estudiantes que realizaron los test finales	257	160	82	38	537
Nº estudiantes que realizaron los test iniciales y finales	256	153	79	35	523
<b>Conjunto de estudiantes que realizaron ambos test</b>					
Puntuación media test iniciales	15,10	15,85	12,41	14,76	14,89
Puntuación media test finales	16,89	17,04	14,82	16,94	16,62
Media de los incrementos individuales	15,11%	8,48%	28,25%	20,09%	15,49%
Estudiantes que participaron en seminarios o actividades	29	79	61	6	175
- Puntuación media test iniciales	11,57	15,66	11,96	12,50	13,58
- Puntuación media test finales	15,40	17,20	14,54	15,75	15,93
- Media de los incrementos individuales	42,20%	11,52%	31,71%	30,41%	24,29%
Estudiantes que no participaron en ninguna actividad	227	74	18	29	348
- Puntuación media test iniciales	15,55	16,06	13,94	15,22	15,55
- Puntuación media test finales	17,08	16,86	15,78	17,19	16,98
- Media de los incrementos individuales	11,65%	5,24%	16,51%	17,95%	11,06%

Notas:

- I.C.: Grado en Ingeniería Civil; I.Q.: Grado en Ingeniería Química; I.E.I.: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.
- La puntuación media de los test es la semisuma de los resultados de los test PSVT-R y MRT (ambos se miden sobre 20 ítems).
- El incremento individual de cada estudiante es la mejora obtenida en el test final respecto del inicial, expresada en %.

Tabla 1

## Estudio en la Universidad de Granada

Durante el curso académico 2012/2013 se llevó a cabo un estudio con alumnos de los Grados en Ingeniería Civil, Ingeniería Química e Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Granada, con dos objetivos fundamentales: evaluar sus habilidades espaciales al afrontar asignaturas de Expresión Gráfica, y evaluar la eficacia de un conjunto de actividades específicamente diseñadas para la mejora de las habilidades espaciales y de bocetado.

Este estudio se desarrolló en las siguientes fases:

- 1 Evaluación inicial de las habilidades espaciales de los estudiantes mediante la administración al principio del semestre de los test PSVT-R y MRT.
- 2 Identificación de los estudiantes con habilidades espaciales menos desarrolladas en relación a los valores medios en las distintas asignaturas, en virtud de los resultados de los test. Se seleccionó a un grupo de 40 alumnos que accedieron voluntariamente a participar en una serie de seminarios, en los que se siguió una metodología análoga al *bocetado mentorizado* de Mohler y Miller (2008).
- 3 Planificación, diseño y puesta a disposición de todos los estudiantes de una colección de ejercicios de mejora de las habilidades espaciales y de bocetado (Fig. 3), elaborados con la finalidad de que el alumnado

- 3 Planning, designing and placing at the disposal of all students a collection of 25 exercises for improving their spatial ability and sketching skills, formulated so that the student would achieve immediate results in the least time possible. These exercises consist of diverse freehand execution of different spatial exercises (Fig. 3): mentally turning a figure; providing the standard views (elevation, floor plan, and side view) and representation of the development of the sides of the previous figure; and drawing of the perspective of a figure defined by the shape of its sides.
- The collection of exercises are organized into five blocks that, in addition to the progressive complexity of the figures are differentiated in the assistance provided by freehand sketching. In the first two blocks this help consists of a grid, finer in the first one than in the second one; in the third block, the grid is replaced by a network of points; in the



last two, no help at all is provided. On the other hand, in the exercises of the first three blocks, work is done in oblique and isometric perspective, while in the two final blocks, the student is given the liberty to choose the perspective. This approach is meant to foment the gradual development of freehand sketching.

All these activities are included in a web page, where the students also have access to the theoretic bases necessary to perform the exercises, multimedia resources to help the students who have the most difficulties, and after the exercises are turned in, the students can make a self-evaluation.

- 4 Evaluation of the improvement in the spatial abilities by the administration at the end of the semester of the same test used at the beginning.

As opposed to the methodologies of Sorby and Baartmans (2000), Fleisig et al. (2004) and Mohler and Miller (2008) presented in the above section, the activities conducted at the University of Granada did not constitute a specific course; on the contrary, they were subsumed under the core subjects of Graphic Expression, with a weight in the final grading of between 5% and 10%, depending on the subject, which had as a consequence a very low investment of time by the students.

Table 1 presents the general results of the study. In overall terms, the improvement achieved in the final test with respect to the first one taken by the students who participated in any of the activities proposed was 24.3%, this being significantly higher than for students who did not participate in any activity (11.1%).

The improvement of 24.3% found for the students who participated in any of the activities is comparable to results reported by other researchers. Sorby and Baartmans (2000), in their 10-week course found mean overall improvement of 55.6% in the PSVT\_R test and 15-2% in the MRT, for an approximate mean of 35-4%. Meanwhile, Fleisig et al. (2004) found an average improvement in the PSVT-R of 7.1% in a 12-week course.

Apart from the above, it should be emphasized that there was the qualitative improvement in the sketches by the students who had participated in these activities, reflected on comparing the exercises of successive blocks.

obtenga resultados inmediatos empleando el menor tiempo posible. Los ejercicios se complementan con recursos multimedia de ayuda para los estudiantes con más dificultades.

- 4 Evaluación de la mejora obtenida en las habilidades espaciales mediante la administración al final del semestre de los mismos test empleados al principio.

A diferencia de las metodologías de Sorby y Baartmans (2000), Fleisig et al. (2004) y Mohler y Miller (2008) expuestas en el apartado anterior, las actividades llevadas a cabo en la Universidad de Granada no constituyen una asignatura específica; por el contrario, se inscriben dentro de las asignaturas troncales de Expresión Gráfica, lo que tiene como consecuencia una inversión de tiempo muy inferior por parte de los estudiantes.

En la Tabla 1 se recogen los resultados generales del estudio. En términos globales, cabe destacar que la mejora obtenida en el test final respecto del inicial por los estudiantes que participaron en alguna de las actividades planteadas es del 24,3%, significativamente superior al de los estudiantes que no participaron en ninguna actividad (11,1%).

La mejora del 24,3% observada en los estudiantes que han participado en alguna de estas actividades es comparable a las obtenidas por otros investigadores. Sorby y Baartmans (2000), en su curso de 10 semanas de duración, obtuvieron unas mejoras medias globales del 55,6% en el test PSVT-R y del 15,2% en el MRT, lo que arroja una media aproximada del 35,4%. Por su lado, Fleisig et al. (2004) observaron una mejora media en el test PSVT-R del 7,1%, en su curso de 12 semanas de duración.

## Conclusiones

Es tal la correlación entre las habilidades espaciales y el éxito académico y profesional dentro de la ingeniería y la arquitectura, que no se puede renunciar al desarrollo de las mismas en los estudiantes como consecuencia de las limitaciones de tiempo impuestas por los actuales planes de estudios.

El estudio realizado en la Universidad de Granada sobre un total de 834 alumnos de tres titulaciones, ha puesto de manifiesto que es posible detectar deficiencias en las habilidades espaciales de los estudiantes y mejorarlas con las actividades diseñadas, siendo la posibilidad de enmarcarlas dentro de una asignatura troncal la principal novedad con respecto a los estudios realizados en otras universidades, basados en asignaturas específicas de un trimestre o más de duración, y en los que el número de estudiantes involucrados ha sido muy inferior.

Habida cuenta de los resultados obtenidos, se ha optado por implementar el sistema definitivamente en las asignaturas de Expresión Gráfica objeto de este estudio, teniendo muy presente que es un proceso vivo que precisará futuras investigaciones que lo retroalimenten con la finalidad de mejorar progresivamente su eficacia. ■

## Referencias

- ALIAS, M., BLACK, T.R. & GRAY, D.E., 2002. Effect of instructions on spatial visualisation ability in civil engineering students. *International Education Journal*, 3(1), pp.1–12.
- BENNETT, G.K., SEASHORE, H.G. & WESMAN, A.G., 1973. *Differential aptitude tests, forms S and T*, New York: The Psychological Corporation.
- BISHOP, J.E., 1978. Developing students spatial ability. *Science Teacher*, 45, pp.20–23.
- College Entrance Examination Board, 1939. *CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations*, USA.
- ELIOT, J. & SMITH, I.M., 1983. *An international directory of spatial tests*, Windsor, Berkshire: NFER-Nelson.
- FLEISIG, R.V., ROBERTSON, A. & SPENCE, A.D., 2004. Improving the spatial visualization skills of first year engineering students. In *Proceedings of the Canadian Design Engineering Network (CDEN) Conference*. Canadian



Design Engineering Network (CDEN) Conference. McGill University, Montreal, Quebec.

- FRENCH, J.W., 1951. *The description of aptitude and achievement tests in terms of rotated factors*, Chicago: University of Chicago Press.
- GUAY, R.B., 1977. *Purdue Spatial Visualization Tests*, West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- KYLLONEN, P.C., LOHMAN, D.F. & SNOW, R.E., 1984. Effects of aptitudes, strategy training, and task facets on spatial task performance. *Journal of Educational Psychology*, 76(1), pp.130–145.
- LOHMAN, D.F., 1979. *Spatial ability: a review and reanalysis of the correlational literature*, Stanford, California: Stanford University Press.
- LORD, T.R., 1985. Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), pp.395–405.
- 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.
- MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. et al., 2010. Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), pp.77–91.
- Mc KIM, R.H., 1980. *Experiences in visual thinking*, Boston, MA: PWS Publishers.
- McARTHUR, J.M. & WELLNER, K.L., 1996. Reexamining spatial ability within a Piagetian framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), pp.1065–1082.
- McGEE, M.G., 1979. Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), pp.889–918.
- MOHLER, J.L. & MILLER, C.L., 2008. Improving Spatial Ability with Mentored Sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.19–27.
- PLECK, M.H. et al., 1990. Factors affecting the engineering design graphics curriculum: Past, present, future. In *Proceedings of the NSF Symposium on Modernization of the Engineering Design Graphics Curriculum*. Austin, Texas, pp. 43–52.
- Report on Engineering Design, 1961. *Journal of Engineering Education*, 51(8), pp.645–660.
- ROORDA, J., 1994. Visual perception, spatial visualization and engineering drawing. *Engineering Design Graphics Journal*, 58(2), pp.12–21.
- SORBY, S.A., 1999. Developing 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2), pp.21–32.
- SORBY, S.A., 2006. Developing 3D spatial skills for K-12 students. *Engineering Design Graphics Journal*, 70(3), pp.1–11.
- SORBY, S.A. & BAARTMANS, B.J., 1996. A course for the development of 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 60(1), pp.13–20.
- 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.
- THORNDIKE, E.L., 1921. On the organization of intellect. *Psychological Review*, 28(2), pp.141–151.
- URSYN, A., 1997. Computer art graphics integration of art and science. *Learning and Instruction*, 7(1), pp.65–86.
- 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.

## Conclusions

The correlation between spatial abilities and academic as well as professional success in Engineering and Architecture is so strong that students should not be obligated to forgo the development of these skills because of the time limitations imposed by current curricula.

The study made at the University of Granada on a total of 834 students in three majors has shown that it is possible to detect deficiencies in spatial abilities of students and improve these with the activities designed. The possibility of including these activities within the core subjects is the main novelty with respect to studies made in other universities, based on specific subjects of one quarter or more in duration and in subjects where the number of students involved was far smaller. In light of the results of the present study, the option was chosen to definitively implement the system studied here in classes on Graphic Expression, with careful consideration that this is a living process that requires future research to provide feedback for the progressive improvement of the effectiveness of this approach. ■

## References

- ALIAS, M., BLACK, T.R. & GRAY, D.E., 2002. Effect of instructions on spatial visualisation ability in civil engineering students. *International Education Journal*, 3(1), pp.1–12.
- BENNETT, G.K., SEASHORE, H.G. & WESMAN, A.G., 1973. *Differential aptitude tests, forms S and T*, New York: The Psychological Corporation.
- BISHOP, J.E., 1978. Developing students spatial ability. *Science Teacher*, 45, pp.20–23.
- College Entrance Examination Board, 1939. *CEEB Special Aptitude Test in Spatial Relations*, USA.
- ELIOT, J. & SMITH, I.M., 1983. *An international directory of spatial tests*, Windsor, Berkshire: NFER-Nelson.
- FLEISIG, R.V., ROBERTSON, A. & SPENCE, A.D., 2004. Improving the spatial visualization skills of first year engineering students. In *Proceedings of the Canadian*

*Design Engineering Network (CDEN) Conference*. Canadian Design Engineering Network (CDEN) Conference. McGill University, Montreal, Quebec.

- FRENCH, J.W., 1951. *The description of aptitude and achievement tests in terms of rotated factors*, Chicago: University of Chicago Press.
- GUAY, R.B., 1977. *Purdue Spatial Visualization Tests*, West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- LOHMAN, D.F., 1979. *Spatial ability: a review and reanalysis of the correlational literature*, Stanford, California: Stanford University Press.
- LORD, T.R., 1985. Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), pp.395–405.
- 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.
- MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. et al., 2010. Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), pp.77–91.
- McGEE, M.G., 1979. Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), pp.889–918.
- MOHLER, J.L. & MILLER, C.L., 2008. Improving Spatial Ability with Mentored Sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, 72(1), pp.19–27.
- PLECK, M.H. et al., 1990. Factors affecting the engineering design graphics curriculum: Past, present, future. In *Proceedings of the NSF Symposium on Modernization of the Engineering Design Graphics Curriculum*. Austin, Texas, pp. 43–52.
- Report on Engineering Design, 1961. *Journal of Engineering Education*, 51(8), pp.645–660.
- ROORDA, J., 1994. Visual perception, spatial visualization and engineering drawing. *Engineering Design Graphics Journal*, 58(2), pp.12–21.
- SORBY, S.A. & BAARTMANS, B.J., 1996. A course for the development of 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 60(1), pp.13–20.
- 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.
- THORNDIKE, E.L., 1921. On the organization of intellect. *Psychological Review*, 28(2), pp.141–151.
- 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.

