

La capacidad espacial y su relación con la ingeniería

Spatial skills and its relationship with the engineering studies

Jose Luis Saorín-Pérez
Rosa E. Navarro-Trujillo
Norena Martín-Dorta
Jorge Martín-Gutiérrez
Manuel Contero

Universidad de La Laguna
Universidad de La Laguna
Universidad de La Laguna
Universidad de La Laguna
Universidad Politécnica de Valencia

Recibido: 07/05/09 • Aceptado: 19/10/09

ABSTRACT

- Spatial skills, which have an impact on almost all scientific and technical careers, remain an active field of research, particularly in the engineering area. This work aims to clarify the state of current knowledge on spatial skills, within the intellectual capacities of individuals, developing the concept, the components and measurement techniques. It is a brief historical overview of the stages that are distinguished in research in this area and it justifies their relationship and its importance to the engineering, highlighting the findings from 1920 to present in this field. The tools and courses designed to improve space abilities are profuse; the Michigan Technological University (MTU) and Purdue University are active in this field. Furthermore, it highlights the work developed at the national level, especially that carried out by Dehaes (Spatial Skills' Research Group), made up of researchers of the Universidad de La Laguna and Universidad Politécnica de Valencia.
- **Keywords:** Spatial vision skills, Spatial abilities, European Higher Education Area.

RESUMEN

La capacidad espacial, que tiene repercusiones en casi todos los campos científicos y técnicos, sigue siendo un campo activo de investigación, especialmente en el ámbito de la ingeniería. Este trabajo pretende exponer el estado de los conocimientos actuales sobre la capacidad espacial, dentro de las capacidades intelectuales del individuo, desarrollando el concepto, las componentes que diferencian los distintos autores y las técnicas de medición. Se realiza una breve reseña histórica de las etapas que se distinguen en la investigación en este área y se justifica su relación y su importancia con la ingeniería, destacando los hallazgos desde 1920 hasta la actualidad en este campo. Las herramientas y los cursos intensivos desarrollados para mejorar la capacidad espacial son abundantes a nivel internacional; la *Universidad Tecnológica de Michigan* (MTU) o la *Universidad de Purdue* son muy activas en este campo. Además, se destaca el trabajo desarrollado en el ámbito nacional, especialmente el llevado a cabo por Dehaes, grupo de investigación en

Habilidades Espaciales, formado por investigadores de la *Universidad de La Laguna* y de la *Universidad Politécnica de Valencia*.

Palabras clave: Capacidad de Visión Espacial, Habilidades espaciales, Espacio Europeo de Educación Superior.

1. INTRODUCCIÓN

En el último medio siglo, la capacidad espacial ha recibido un reconocimiento creciente y, a pesar de que no se le haya prestado tanta atención como a las capacidades verbales y numéricas, la investigación acentúa su importancia en los campos tradicionales de la ingeniería, la tecnología y el arte, así como en prácticamente cualquier aspecto de la vida. Con repercusiones en casi todos los campos científicos y técnicos, la capacidad espacial sigue siendo un campo activo de investigación, especialmente en el ámbito de la ingeniería. Este trabajo pretende exponer el estado de los conocimientos actuales sobre esta capacidad, dentro

de las capacidades intelectuales del individuo. Al ser, dicha materia, competencia de los estudios de psicología, se ha procurado sintetizar la información más relevante sobre ese tema, sin tratar de profundizar ni de elegir entre las diversas escuelas de pensamiento que existen.

La capacidad espacial es aceptada por distintos autores a lo largo de la historia como una componente de la inteligencia. La definición de la inteligencia no es una tarea sencilla. En realidad no existe una definición única, ya que dependiendo del enfoque con el que se aborde, aparecen distintas facetas de la misma (Andrés Pueyo, 2001). Definida por Spearman (1927), fue considerada por este autor como “la capacidad de obtener y crear información nueva, útil y aplicable a partir de informaciones sensoriales ya existentes, que se manifiestan en el comportamiento o la actividad mental del sujeto”. Existen diversas ramas de la psicología que la estudian y distintos enfoques que abordan el concepto: la psicología cognitiva, la psicología diferencial, la psicología evolutiva, la psicología experimental, la antropología, etc. En función de estos enfoques aparecen distintos modelos de inteligencia: factorial, computacional, global, de desarrollo, culturales, etc. Nuestro trabajo se centra en el enfoque factorial, estudiado por la psicología psicométrica, que establece que las diferencias individuales en la cognición humana, pueden medirse a través del rendimiento en los test de inteligencia y que la inteligencia misma se puede definir, por tanto, por las variaciones de las puntuaciones en estos test, según las personas. El resultado de esos test es una medida, ampliamente utilizada y conocida como *Cociente Intelectual* (CI). El CI se obtiene a partir de la intersección de los resultados de una serie de subtest, que tratarán de medir diferentes aspectos de las capacidades de un individuo (Andrés Pueyo & Jayme Zaro, 1998).

Por otra parte, desde que los psicólogos han estudiado científicamente la inteligencia, se ha visto necesario distinguir entre *Rendimiento Mental o Cognitivo e Inteligencia* (Andrés Pueyo, Manual de psicología diferencial, 2001). *Rendimiento*, se refiere a la aplicación conjunta, por parte de una persona, de unos recursos, capacidades y disposiciones psicológicas para resolver un problema. En el rendimiento influyen variables como la motivación, el interés, la personalidad, las expectativas, la inteligencia, etc. Sin embargo, medir una capacidad (*Inteligencia*), significa medir la potencialidad de un individuo en un área dada. Por ejemplo, conociendo la capacidad numérica de una persona, podemos, quizás, predecir su rendimiento en actividades relacionadas con las matemáticas. Para medir el *Rendimiento* existen varios procedimientos, el examen es el más habitual. Los test de inteligencia nos sirven como herramienta de medida de la *Inteligencia* y existe un acuerdo sobre la validez de sus resultados que la experiencia ha demostrado acertado. Es importante señalar esta distinción entre *Rendimiento e Inteligencia*, porque habitualmente los únicos datos disponibles de los estudiantes de ingeniería son el resultado de los exámenes, o lo que es lo mismo, la evaluación del rendimiento académico. Aunque estos resultados dependen

en gran medida de los valores de inteligencia, no son el único parámetro del que dependen.

1. LA CAPACIDAD ESPACIAL

Con el objetivo de entender qué es la capacidad espacial, creemos necesario distinguir entre aptitud, habilidad y capacidad espacial, términos relacionados entre sí, pero que se vienen utilizando de forma indistinta y que pueden crear cierta confusión conceptual. La aptitud espacial es definida como el potencial innato que un individuo tiene para visualizar, previo a que pueda realizar cualquier tipo de entrenamiento o tarea que pueda afectarle. Sin embargo, la habilidad espacial puede ser adquirida a través del entrenamiento. Algunos individuos pueden disponer de un mayor grado de aptitud innata, pero la mayoría de la gente puede adiestrar esta habilidad a través de la práctica (Sorby, Wysocky, & Baartmans, 2003). La aptitud espacial contiene una carga mayoritariamente genética o hereditaria. Por ejemplo, todos los seres humanos nacemos con una cierta aptitud para hablar, pensar o caminar. La habilidad espacial, sin embargo, requiere del aprendizaje y del entrenamiento para poder concretarse. Por último, la capacidad espacial supone la integración de aptitudes, habilidades y/o destrezas (ver fig. 1) (Sánchez Carlessi & Reyes Romero, 2003).



Figura 1. Aptitud, Habilidad y Capacidad Espacial

La definición de capacidad espacial no es una tarea sencilla. En realidad no existe una definición única, puesto que dependiendo del enfoque con el que se aborde, aparecen distintas facetas de la misma. Podemos entender que es la habilidad de manipular mentalmente los objetos y sus partes en un espacio bidimensional y tridimensional.

Desde la perspectiva de su medición la podemos entender como la habilidad de realizar rotaciones y comparaciones de cubos bidimensionales y tridimensionales por un lado (Relaciones espaciales) y la habilidad de reconocer piezas tridimensionales mediante plegado y desplegado de sus caras (Visión Espacial) (Saorín, 2006).

1.1. COMPONENTES DE LA CAPACIDAD ESPACIAL

Todos los investigadores coinciden en considerar la capacidad espacial como un factor fundamental en los modelos de Inteligencia. No existe, sin embargo, el mismo acuerdo a la hora de determinar si esa capacidad está formada a su vez por varias subcapacidades. Al analizar la bibliografía existente se encuentran varias perspectivas para establecer su clasificación y varias pruebas dominantes para obtener resultados cuantitativos. Entre las clasificaciones más importantes se encuentra la realizada por **Linn y Petersen** entre 1974 y 1982, que llevaron a cabo un meta-análisis sobre todos los test dedicados a medir la visión espacial (Linn & Petersen, 1986) y los clasificaron en tres categorías:

- Percepción espacial: Habilidad de determinar relaciones espaciales a pesar de la existencia de otras informaciones que pueden distraer al sujeto.
- Visión Espacial: Habilidad de manipular información visual compleja, cuando para producir una solución correcta se necesitan varias etapas.
- Rotación Espacial: Habilidad de rotar en nuestra imaginación, rápida y acertadamente figuras de dos o tres dimensiones.

A pesar de esta división en tres categorías, en estos últimos años, una gran cantidad de autores simplifican esta clasificación usando sólo dos categorías (McGee, 1979; Burnet & Lane, 1980; Pellegrino, Alderton, & Shute, 1984; Clements & Battista, 1992; Olkun, 2003) (ver fig. 2):

- Relaciones espaciales: Habilidad de realizar rotaciones y comparaciones en cubos bidimensionales y tridimensionales. (Incluiría las rotaciones espaciales y la percepción espacial de la anterior clasificación).
- Visión Espacial: Habilidad de reconocer piezas tridimensionales mediante plegado y desplegado de sus caras.

1.2. MEDIDA DE LA CAPACIDAD ESPACIAL

Existen múltiples instrumentos de medida diseñados exclusivamente para medir las capacidades espaciales. Algunos autores como **Eliot y Smith** (1983) han llegado a recopilar más de 200 test diferentes. A la hora de seleccionar este instrumento es necesario tener en cuenta varios aspectos, sobre todo que debe ser una herramienta validada por trabajos de campo, diseñada para medir la componente de la inteligencia que deseamos y utilizada en estudios similares a los que pretendemos desarrollar, con el objetivo de que se puedan comparar los resultados. Teniendo en cuenta el contexto proporcionado por las experiencias previas (Devon, Engle, Foster, Sathianathan, & Turner, 1994; Sorby &

Baartmans, 2000; Gerson, Sheryl, Wisocki, & Baartmans, 2001; Saorín, 2006), nuestro grupo de investigación quiere destacar especialmente dos instrumentos que han sido ampliamente utilizados en las investigaciones en el ámbito de la ingeniería: el *Test de Rotación Mental* (MRT) (Albaret & Aubert, 1996), para medir el factor de Relaciones Espaciales, y el *Test Relaciones Espaciales* de la batería de *Test de Aptitudes Diferenciales* (DAT –SR) (Bennett, Seashore, & Wesman, 2000), para medir el factor de Visión Espacial (ver fig. 2).

El test DAT-SR pertenece a la batería DAT (Differential Attitude Test), creada por **George K. Bennet** y **Alexander G. Wesman** en el año 1947. En 1947, ediciones TEA llevó a cabo la adaptación española, bajo la dirección de Mariano Yela. Es usado en España para medir el CI, por lo que lleva muchos años en el mercado y se tienen muchos datos. Aparece en los últimos años una nueva versión denominada DAT-5, basada en la Forma C de la 5ª versión Americana. Existen dos formas (1 y 2) que corresponden a niveles de dificultad diferentes: la forma 1 es más sencilla y puede usarse para la evaluación de subalternos y operarios; la forma 2 es adecuada para evaluar a técnicos licenciados y mandos.

En 1978 **Vanderberg** y **Kuse**, se inspiraron en los trabajos de **Shepard** y **Matzler** sobre rotaciones mentales, para crear un test denominado *Mental Rotation Test* (M.R.T). Es interesante recalcar que los resultados obtenidos por Vanderberg y Kuse en 1978 al aplicar este test, indicaron claramente una diferencia entre hombres y mujeres, independientemente de su edad.

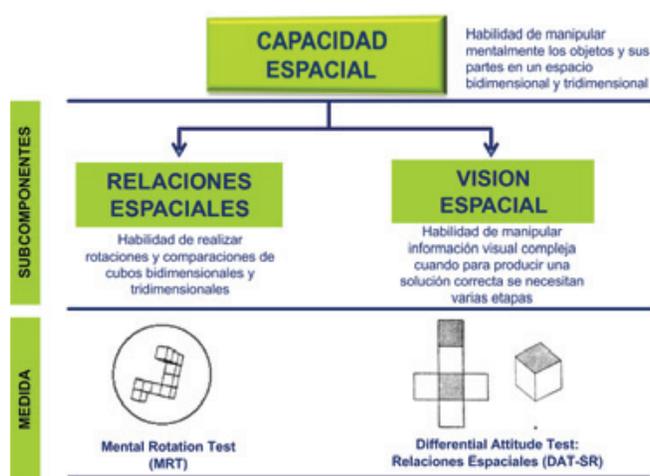


Figura 2. Subfactores y test de medida de la capacidad espacial

2. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA CAPACIDAD ESPACIAL

Ya por el año 1880, **Francis Galton** informa de los estudios que desarrolla sobre imágenes mentales. Desde entonces, los investigadores han intentado definir la capacidad espacial de muchas maneras y desde distintas perspectivas, discutiendo sobre los subfactores que la componen y sobre los métodos

para medirla. El *International Dictionary of Spatial Tests* (Eliot & Smith, 1983) y más recientemente el estudio de revisión de **James L. Mohler** (Mohler, 2008), identifican cuatro fases en la investigación sobre la capacidad espacial.

La primera fase abarca las contribuciones desde 1880 a 1940, donde los investigadores identifican la capacidad espacial como un factor independiente de la Inteligencia General. Aunque es **Galton** quien en 1880 inicia la investigación, no es hasta principios de 1920 cuando comienzan a aparecer las publicaciones que ponen su atención en la capacidad espacial. El trabajo de **Thorndike** (1921), **Kelly** (1928) y **Thurstone** (1938) es responsable de que sea considerada una capacidad independiente de la Inteligencia General.

En la segunda fase, desde los años 1940 hasta 1960, se centran en intentar definir la capacidad espacial e identificar los subfactores principales que la componen. Debido a las distintas técnicas utilizadas y al uso de diferentes test, se adoptaron nombres y definiciones contradictorias, y, además, se incluyeron en este conflicto el número de subfactores considerados (Hegarty & Waller, 2004); pero es a consecuencia de la evaluación a gran escala de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos (*United States Army Air Forces, USAAF*), realizada por L.G. **Humphreys**, cuando la capacidad espacial obtiene un importante respaldo (Guilford & Zimmerman, 1947). Al final de este periodo los investigadores estaban de acuerdo en que la capacidad espacial no era un sistema unitario y que existían diversos test para medirla (Eliot & Smith, 1983).

La tercera fase, entre 1960 y 1980, intentó determinar las relaciones que podían existir entre la capacidad espacial y variables como el sexo, el desarrollo cognitivo, la edad, las experiencias previas y los estilos de aprendizaje. Los estudios psicométricos de **Witkin** (1950) y **Gardner** (1957) pusieron su atención en cuestiones cognitivas como los estilos de aprendizaje. **Piaget** e **Inhelder** (1971) examinaron la forma en que la capacidad espacial se desarrolla desde la infancia hasta la edad adulta. El trabajo de **Maccoby** y **Jacklin** (1974) es una buena contribución de referencia en lo que a diferencias de género se refiere.

Desde 1980 hasta hoy, los investigadores se han centrado en el impacto de la tecnología en la medición, la evaluación y la mejora de la capacidad espacial. En este periodo también se han realizado diversos meta-análisis sobre los estudios anteriores, nuevas clasificaciones y agrupaciones de las componentes de la capacidad espacial. En 1983, **Eliot** y **Smith** recopilan más de 200 instrumentos de medida (test), utilizados en las investigaciones que abordaban este tema; ellos consideran tres categorías: la Percepción Espacial, la Rotación Mental y la Visualización Espacial. Otros autores (Pellegrino, Alderton, & Shute, 1984; Clements & Battista, 1992) consideraron dos categorías o factores que configuran la capacidad espacial: las Relaciones Espaciales y La Visión Espacial.

Como hemos visto, a lo largo del siglo XX ha existido un largo e intenso debate en torno a la inteligencia y a los

factores que la componen. Como resumen podemos decir, que se considera que la estructura de la Inteligencia incluye una componente denominada “capacidad espacial”, que dicha capacidad se puede dividir en varias subcomponentes (dos o tres dependiendo de los autores) y que la inteligencia y sus diferentes componentes se pueden medir mediante test, cuyos resultados deben ser comparables mediante una serie de escalas y coeficientes. De esta historia de 100 años de investigación, una cosa parece estar clara: la capacidad espacial es un conjunto de tareas y habilidades cognitivas complejas, acerca de las que todavía hay muchas preguntas.

3. LA RELACIÓN DE LAS HABILIDADES ESPACIALES CON LA INGENIERÍA

Al revisar la bibliografía, parece existir una referencia implícita al hecho de que los ingenieros necesitan capacidad espacial para su labor profesional (Ferguson, 1992); resulta interesante comprobar si esta intuición está avalada por algún estudio contrastado. Los ingenieros han investigado sobre la visión espacial casi desde los primeros momentos en los que se identificó como una componente de la inteligencia: los primeros estudios sobre esta relación aparecen a principios del siglo XX, en informes que correspondían a la *Armada Americana* o a las oficinas de empleo de Estados Unidos y Gran Bretaña. Utilizaron encuestas que relacionaban “visión espacial” y el correcto desempeño de la profesión de ingeniero. El uso de test de inteligencia con fines de selección se utilizó por primera vez en el año 1917 en Estados Unidos, con el objetivo de seleccionar a las personas que iban al ejército, además de para filtrar a los inmigrantes que acudían en masa al país (Miller, 1996). En esta época, antes de que apareciera el concepto de capacidad espacial, una de las componentes secundarias de la inteligencia era la denominada inteligencia mecánico-práctica. Los primeros trabajos que se realizaron para determinar la influencia de la inteligencia en el desempeño laboral, asociaron dicha componente con el trabajo en talleres; aunque no se refiere exactamente al trabajo en ingeniería podríamos considerar dicho estudio como el primero que asocia nuestra profesión con alguna habilidad relacionada con la inteligencia. La batería de test espaciales *Minnesota Paper Form Board, Spatial Relation* y *Packing Block Test* demostraron que existía correlación entre la visión espacial y el éxito laboral en profesiones asociadas a talleres. En 1928, la *Society for the Promotion of Engineering Education* (SPEE) crea la división de Dibujo en Ingeniería y en 1937 se empieza a publicar y a investigar sobre el área. Utilizaron el cuestionario, “*The Value to the Engineer of Power to Visualize*”, enviado a 200 Ingenieros de Diseño en Estados Unidos, con el que concluyeron que la habilidad para visualizar era indispensable para el trabajo del ingeniero.

Durante los años 40, a consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, la Armada norteamericana realizó importantes contribuciones en el campo de los test de inteligencia. En estos años, los mejores investigadores trabajaban para el ejército y

dispusieron de miles de reclutas para probar empíricamente sus teorías. En estos años se avanza decisivamente en la comprensión del factor espacial, concentrando los esfuerzos en el desarrollo de contenidos curriculares orientados a mejorar la capacidad espacial de los ingenieros.

En la década de los 50, la *Oficina de Empleo de los Estados Unidos* utilizó los test espaciales para clasificar las posibles ofertas que ofrecía a los demandantes de empleo. En un informe, dicha agencia, relaciona los buenos resultados en los test de habilidades espaciales con la conveniencia de asignar empleos en las ramas de Ingeniería, Ciencia, Dibujo y Diseño. En 1953, la *American Society for Engineering Education*¹ (ASEE) revisa el currículum de ingeniería, pidiendo que se enfatizara en el desarrollo de las habilidades de visión espacial, dirigidas a bocetado e interpretación de planos. Años después, otro autor americano escribe un artículo, que luego refleja en un libro, donde demostró correlación entre los test de habilidades espaciales y el éxito en las carreras técnicas y que se ha convertido en un manual de referencia en este tema (Smith, 1964).

Como vemos, en estos primeros estudios, los test espaciales eran considerados más útiles que los verbales para predecir el éxito en escuelas técnicas: esta es la razón por la que los test espaciales han sido utilizados durante mucho tiempo para este propósito. Todo este trabajo avala la tesis de la existencia de una relación entre el desempeño de la profesión de ingeniería y las capacidades espaciales. Los ingenieros, y en concreto aquellos vinculados a la Expresión Gráfica en la Ingeniería, han realizado desde principios de siglo múltiples investigaciones en el campo de la visión espacial.

4. LA IMPORTANCIA DE ESTA CAPACIDAD EN EL ÁMBITO DE LA INGENIERÍA

En el ámbito de la Ingeniería, los estudiantes necesitan imaginar objetos en diferentes orientaciones, manipular modelos tridimensionales, reconstruir mentalmente dibujos de dos a tres dimensiones, en papel o en programas de diseño asistido por ordenador. Por este motivo la capacidad espacial se revela como una habilidad necesaria para que los estudiantes aborden con éxito los contenidos docentes; distintos autores relacionan un alto nivel de estas capacidades con el éxito en carreras técnicas: el pensamiento espacial es esencial para el pensamiento científico y se utiliza para representar y manipular información en el aprendizaje y en la resolución de problemas (Smith, 1964; McGee, 1979; Clements & Battista, 1992). Parece evidente que estas habilidades se utilizan ampliamente en la Ingeniería, Arquitectura y Construcción; en determinadas profesiones, como por ejemplo para los controladores de tránsito

aéreo, esta capacidad es “especialmente relevante para un desempeño eficiente” y se utiliza además en las pruebas de selección de los aspirantes (Halpern, 1986; Contreras, Colom, Hernandez, & Santacreu, 2003).

4.1. LA CAPACIDAD ESPACIAL, EL GÉNERO Y LA EDAD

Desde la influyente publicación de **Maccoby y Jacklin** (1974), las diferencias de sexo en tareas espaciales, y concretamente en tareas de rotación mental, han sido extensamente debatidas. Las investigaciones avalan la existencia de diferencias de género en favor de los hombres en visión espacial, principalmente debida a los procesos relacionados con la subcomponente de rotación mental. El meta-análisis de **Linn and Petersen** (1986) sugiere que esto depende del tipo de tarea espacial: se encuentran pequeñas diferencias en percepción visual, mayores diferencias en tareas de rotación mental a favor de los hombres, y no se encuentran diferencias en tareas de visualización espacial. Esto provoca que muchas mujeres no accedan a titulaciones de ingeniería, que tengan mayor dificultad en afrontarlas o que las abandonen prematuramente; se observan estas mayores diferencias en tareas de rotación mental en la población adolescente y adulta, en contraste, a las pocas diferencias encontradas entre niños y niñas pre-adolescentes (Voyer, Voyer, & Bryden, 1995).

Relacionado con esto, la investigación ha encontrado que la capacidad espacial se ve afectada por la edad del individuo: mejora con la edad en la infancia, pero declina en los adultos (Pak, 2001). **Piaget e Inhelder** (1971) realizaron importantes aportaciones en su intento de explicar cómo y cuando se desarrolla en los sujetos los aspectos relacionados con la capacidad espacial. Las capacidades espaciales, en su contexto de habilidades que se pueden entrenar, alcanzan un máximo entre los 14 y 18 años para después ir bajando lentamente. Es por ello que, a partir de los 18 años, la edad juega en contra del nivel de habilidades espaciales y los ingenieros necesitarán ejercitarlas para mantenerlas en buen estado.

4.2. EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.

Muchos estudios indican la importancia de las habilidades espaciales para los ingenieros, sin embargo su desarrollo no parece estar presente en los programas formativos mediante un entrenamiento específico. La incorporación de España al *Espacio Europeo de Educación Superior* (EEES) propone un nuevo escenario, que promulga el aprendizaje basado en competencias, con el objetivo de que los estudiantes puedan adaptarse a los cambios sociales permanentes, y poder prepararse para el dinámico mercado de trabajo. En este nuevo marco, el objetivo principal del proceso de enseñanza-aprendizaje consiste no sólo en la adquisición de conocimientos por parte del estudiante, sino en el desarrollo de una serie de competencias (habilidades y destrezas), en función de los perfiles académicos y de los correspondientes

¹ <http://www.asee.org/>

perfiles profesionales. Las Órdenes publicadas en el *Boletín Oficial del Estado*, por las que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habilitan para el ejercicio de profesiones técnicas, disponen como competencia, dentro de la formación básica a adquirir para los títulos de Ingeniería, la “*Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador*”. La Capacidad de Visión Espacial está presente en la formación básica de un gran número de titulaciones de grado con competencias profesionales: Ingeniero Técnico Industrial en todas sus ramas (mecánica, electrónica, química, textil), Ingeniero Técnico de Telecomunicación, Ingeniero Aeronáutico, Ingeniero Técnico de Minas, Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Ingeniero Técnico Agrícola, Ingeniero Técnico Forestal, Ingeniero Técnico Naval, Ingeniero Técnico en Topografía, etc.

Por este motivo ha recobrado importancia la investigación en este campo, con la finalidad de elaborar estrategias de entrenamiento y evaluación, y de estudiar su incorporación al contenido docente de las materias que forman parte de los nuevos títulos de ingeniería.

5. LA CAPACIDAD ESPACIAL Y LAS HERRAMIENTAS DE MEJORA

Algunos autores han basado su trabajo en la hipótesis de que las habilidades espaciales se pueden mejorar si se utilizan herramientas adecuadas que faciliten la comprensión de los conceptos y de las relaciones entre las representaciones bidimensionales y las tridimensionales. La aparición de las nuevas tecnologías ha propiciado que, desde mediados de los años noventa, distintos grupos de investigación hayan propuesto herramientas novedosas para la mejora de las capacidades espaciales.

La mayoría de los estudios comenzaron en Estados Unidos, en universidades que ya trabajaron estos temas a principios de siglo XX, colaborando con la SPEE (*Society for the Promotion of Engineering Education*) o la ASEE. Sin embargo, por diversos motivos (guerras mundiales, falta de consenso en cuanto a las habilidades espaciales y su medición...) quedaron en suspenso hasta la década de los ochenta, fecha en la que empiezan a surgir muchos trabajos desde el ámbito de la ingeniería. Poco a poco, el interés del tema salta desde Estados Unidos a otros países, para encontrarnos actualmente en una situación en la que es fácil detectar trabajos en este ámbito de conocimiento en todo el mundo. En concreto en España, el primer trabajo referenciado del que tenemos constancia es la tesis doctoral de **José Domínguez de Posada** de la *Universidad Politécnica de Madrid* (1994).

Los trabajos realizados en los últimos años se han desarrollado en las direcciones principales que destacamos a continuación:

- La medición de la capacidad espacial de los estudiantes que entran a la universidad, estudiando los factores educativos previos que se pueden condicionar esos resultados: género, edad, experiencias previas, etc.
- La medición del efecto de las asignaturas de Expresión Gráfica en la población Universitaria.
- El desarrollo de herramientas multimedia o basadas en tecnologías web.
- Creación de cursos de intensificación, con el objeto de igualar el nivel de los alumnos que entran en la universidad; ya que se detecta que algunos estudiantes llegan con deficiencias en este apartado y que esto puede suponer un indicador de su posible fracaso en los estudios de ingeniería.

El espectro de trabajos y enfoques es amplio, sin embargo, por la amplitud de sus investigaciones y por la continuidad que han demostrado, es interesante resaltar los trabajos dirigidos por **Sheryl A. Sorby** de la *Universidad Tecnológica de Michigan* (MTU), quizás el grupo más activo en este campo. Sus primeros trabajos se remontan a principios de los noventa. También la *Universidad de Purdue* ha creado un test, desarrollado por **R.B. Guay** en 1976 y bastante utilizado por los investigadores americanos: el PSVT:R (*Purdue Spatial Visualization Test-Visualization of Rotation*). Destacaremos a continuación las que consideramos como algunas de las herramientas disponibles más interesantes relacionadas con la instrucción espacial.

Precisamente desde la *Universidad Tecnológica de Michigan* (MTU), Sheryl A. Sorby, como resultado de más de diez años de investigación, ha publicado un manual de diez módulos para la mejora de la visión espacial (Sorby, Wysocky, & Baartmans, 2003). Permite trabajar con ejercicios de isometrías a través de la construcción con bloques, las vistas ortogonales normalizadas, los cortes y las secciones, las rotaciones, etc. Además del libro de texto, la publicación viene acompañada de un CD-ROM, que basado en tecnología flash, complementa al soporte de papel. La aplicación usa formas coloreadas que simulan formas tridimensionales; también ofrece efectos interactivos, creando la experiencia de un juego de ordenador para los estudiantes (ver fig. 3a).

Desde la *Universidad de Pennsylvania*, **Katheryn Hollyday** et al crean el “*Visualization Assessment and Training Program*”², un programa de evaluación y entrenamiento de la visión espacial, accesible de momento sólo para los miembros de esta universidad (ver fig. 3b y 3c). Dispone de un sistema de evaluación de tres componentes de la habilidad espacial: la rotación mental, la visualización espacial y la percepción espacial. Una vez superada esta fase, se puede practicar con los juegos de rotación mental, visualización espacial y percepción espacial. Está en fase de desarrollo, pero parece un recurso interesante. Ahmad

² https://www.courses.psu.edu/metbd/metbd247b_dgb6/VIZ/

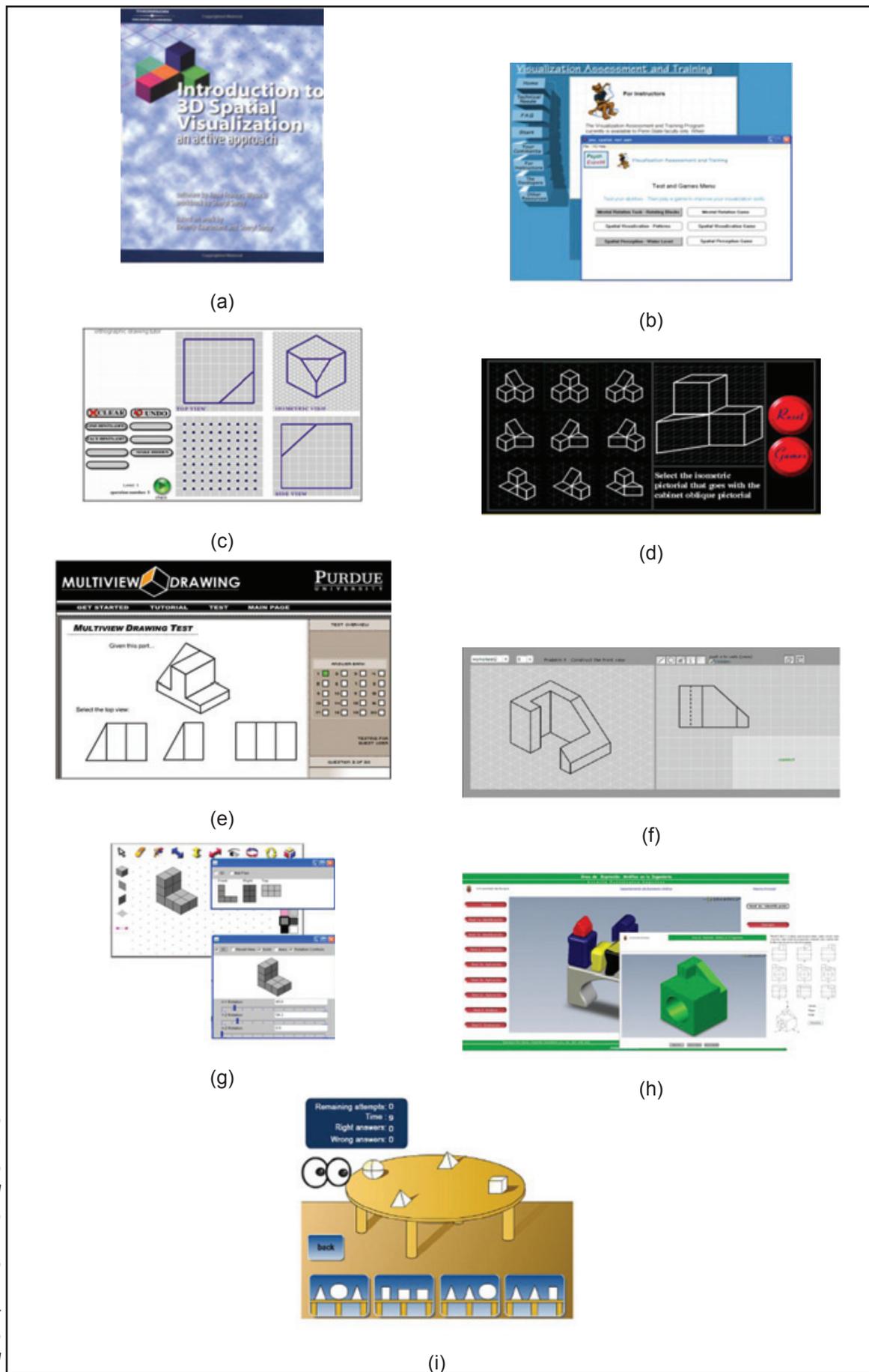


Figura 3. (a) Manual de entrenamiento de Sorby; (b) y (c) Programa de entrenamiento de la Universidad de Pennsylvania; (d) Juego interactivo de S. Crown; (e) y (f) Multiview Drawing de la Universidad de Purdue; (g) Isometric Drawing Tool; (h) Taller de Visión Espacial; (i) Mesa de visión espacial

Rafi y otros (Rafi, Samsudin, & Ismail, 2006) comprueban la eficacia de este material en un estudio comparativo en 2006.

El profesor **Stephen W. Crown**, de la *Universidad de Texas-Pan American*, alberga en su página institucional una web multimedia³, que comprende un conjunto de juegos interactivos, video tutoriales, lecciones teóricas que refuerzan importantes conceptos de ingeniería gráfica. Mediante pruebas y encuestas de satisfacción demuestra que el impacto de su herramienta ha sido positivo sobre los estudiantes (Crown, 2001) (ver fig. 3d).

Conolly y Maicher (Connolly & Maicher, 2005) desarrollan desde la *Universidad de Purdue* el “*Multiview Drawing*”, un tutorial interactivo para el entrenamiento del dibujo de vistas normalizadas y el desarrollo de la capacidad espacial. Dada una perspectiva isométrica de una pieza, el programa permite dibujar una vista y corrige automáticamente el resultado de la misma⁴ (ver fig. 3e y 3f).

Illuminations es un sitio web que nace de la asociación entre el *Consejo Nacional de Profesores de Matemáticas de los Estados Unidos* y el *Consortio MarcoPolo*. El sitio ofrece el enlace a muchas herramientas interesantes, incluyendo *Isometric Drawing Tool*, un *applet* interactivo que permite crear de forma dinámica dibujos isométricos sobre una plantilla de puntos. *Isometric Drawing Tool*⁵ permite a los usuarios dibujar figuras utilizando líneas, caras, o cubos, además de disponer de una herramienta que nos permite ver las vistas de alzado, planta y perfil derecho o la vista 3D de los modelos creados (ver fig. 3g).

En el ámbito nacional, la *Universidad de Burgos* ofrece el *Taller de Visión Espacial*⁶, un curso web basado en ejercicios clásicos de papel (Pérez & Serrano, 1998), y desarrollado en cinco módulos: identificación de superficies, identificación de vistas, discriminación volúmenes y rotaciones, recuentos y un último nivel dedicado a la evaluación (ver fig. 3h).

En la *Universidad de Oviedo*, **Morán, Rubio, Gallego, Suárez y Martín** (2008) han creado una serie de aplicaciones para mejorar la visión espacial a través de tres ejercicios con diferente grado de dificultad: la mesa de visión espacial, vistas de un cubo y el desarrollo de un tetraedro (ver fig. 3i).

6. CURSOS INTENSIVOS DE MEJORA DE LA CAPACIDAD ESPACIAL EN LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Las investigaciones llevadas a cabo apoyan la idea de que la capacidad espacial puede ser adiestrada y mejorada

con la práctica. Se han realizado numerosos estudios para identificar técnicas para el desarrollo de las habilidades espaciales. Las líneas principales de estos cursos de mejora las podemos clasificar en: ejercicios tradicionales de lápiz y papel, ejercicios con objetos físicos manipulables, juegos y material multimedia, aplicaciones CAD 2D, aplicaciones CAD 3D y modelado sólido.

El *Grupo Dehaes*⁷, grupo de investigación en Habilidades Espaciales, formado por investigadores de la *Universidad de La Laguna* y de la *Universidad Politécnica de Valencia*, viene desarrollando desde el año 2004 diversas líneas de investigación centradas en el estudio de las capacidades espaciales en los estudiantes de titulaciones técnicas.

En el otoño del año 2004, se lleva a cabo el primer estudio en forma de cursos intensivos de mejora, con el objetivo principal de mejorar la capacidad espacial de los estudiantes a su entrada a la Universidad y proporcionar un banco de pruebas para elaborar estrategias de actuación. Se utilizaron los test MRT y DAT-SR para detectar los alumnos con menor capacidad espacial y para evaluar los resultados. Testeamos 460 estudiantes, que lograron una puntuación media de 16,75 puntos en el MRT y de 42,96 en el DAT-SR. Se diseñaron tres cursos intensivos de seis horas de duración (Cursos A, B y C) para los estudiantes con puntuaciones más bajas. El curso A fue dedicado a desarrollar ejercicios tradicionales de lápiz y papel, organizándolos por nivel de dificultad y teniendo en cuenta la estructura suministrada por **Pérez y Serrano**, en su libro “Ejercicios para el desarrollo de la percepción espacial” (Pérez & Serrano, 1998). El segundo curso (B), denominado “multimedia”, entrenó con una serie de aplicaciones pseudolúdicas que se encuentran disponibles en Internet. El tercer curso (C), está basado en la utilización de una aplicación educacional de modelado basado en bocetos (denominada eCIGRO), desarrollada por el grupo de investigación REGEO de la UPV y que utiliza una tableta gráfica (o un Tablet-PC) para sustituir al lápiz y papel clásicos. Dicha herramienta permite la visualización en tres dimensiones de las perspectivas isométricas planas dibujadas sobre la pantalla. El alumno realiza ejercicios de dibujo en perspectiva, bocetados a mano, de los cuales tendrá que obtener las vistas normalizadas (ver fig. 4 y 5).

Los cursos se han desarrollado durante las primeras semanas del primer cuatrimestre de entrada a la Universidad para que los datos no pudieran ser distorsionados por el resultado de cursar el resto de asignaturas, sobre todo Expresión Gráfica.

En el curso académico 2006-2007 se lleva a cabo la segunda experiencia con un curso basado en la utilización del software *SketchUp* de *Google* (Martín-Dorta, Saorín, & Contero, 2008). Se propone una nueva metodología de apoyo al desarrollo de las relaciones espaciales y de la

³ <http://crown.panam.edu/EG/games>

⁴ <http://kellenmaicher.com/portfolio/projects/multiview.html>

⁵ <http://illuminations.nctm.org/ActivityDetail.aspx?ID=125>

⁶ <http://www2.ubu.es/expgraf/expgraf/visualizacion3d/index2.shtml>

⁷ <http://www.degarin.com/dehaes>

visión espacial, mediante el uso del programa SketchUp⁸. Se desarrolla durante tres semanas con un programa de actividades de 8 horas dentro de clase y 4 horas fuera de clase. Se combinan actividades de iniciación dedicadas al modelado de piezas reales y de piezas decididas libremente por los estudiantes, con niveles en los que se desarrollan los ejercicios tradicionales de expresión gráfica asistidos por un entorno 3D (ver fig. 6).



Figura 4. Ejemplo de interfaz caligráfica

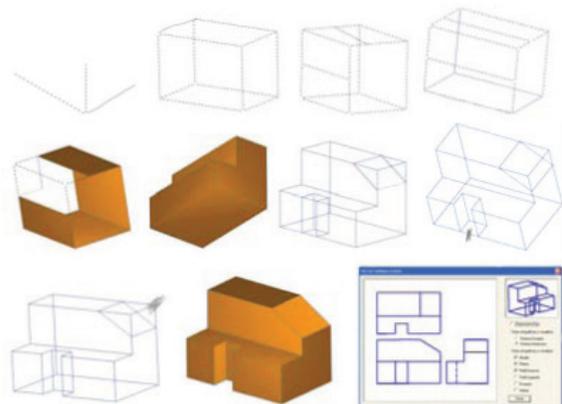


Figura 5. Proceso de construcción de un sólido mediante e-CIGRO

En el año 2008, hemos trabajado en el desarrollo de un curso que utiliza la tecnología de *Realidad Aumentada* (RA), explorando una nueva rama de interfaces donde los elementos reales conviven con los elementos virtuales. Es una tecnología innovadora, con la que hemos creado un

Augmented Book, un manual de entrenamiento con el que el usuario visualiza los objetos virtuales, manipulándolos para poder visualizarlos desde cualquier punto de vista. Debe coordinar los movimientos de las manos (rotaciones del objeto) con las rotaciones mentales. Por otro lado, en un cuaderno de ejercicio resuelve las cuestiones que se preguntan acerca del objeto (vistas, números de caras, localización de vértices, aristas, caras, etc.). El objetivo de esta metodología es que el alumno pueda entrenar de forma autónoma, sin necesidad de ayuda del profesor (ver fig. 7).

Todos los cursos han mejorado de forma significativa las habilidades espaciales medidas con los test MRT y DAT-SR. El aumento medio experimentado en los cursos intensivos de 6 a 12 horas de duración, es de unos 5,1 puntos en el test MRT y de 9,6 puntos en el test DAT-SR. A pesar de que se hayan encontrado algunas diferencias en función del tipo de curso en los test, podemos concluir que no se observan grandes variaciones en las mejoras que producen los diferentes cursos sobre las habilidades espaciales. La búsqueda de diferencias requiere un estudio específico que acote los tipos de ejercicios y el tipo de curso desarrollado.

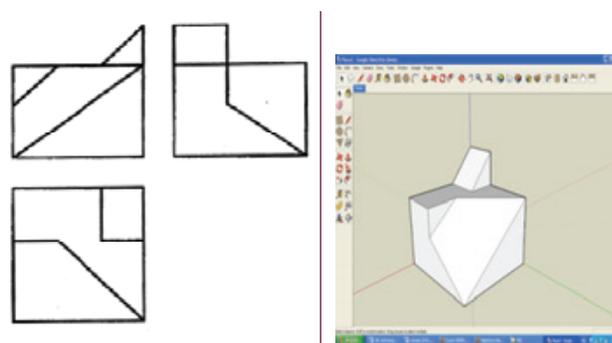


Figura 6. Ejemplo de un ejercicio en el curso de SketchUp



Figura 7. Trabajo en Realidad Aumentada

⁸ <http://sketchup.google.com/>

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Al iniciar nuestra línea de investigación en 2004 nos planteábamos una serie de preguntas: ¿Qué se entiende por capacidad espacial? ¿Por qué es importante? ¿Qué relación tiene con la ingeniería? ¿Qué características tienen los sujetos con una buena capacidad de visión espacial? ¿Se pueden determinar parámetros, en las personas, en las herramientas o en los métodos docentes que ayuden a mejorar la adquisición de estas habilidades? ¿Podemos diseñar estrategias de prevención para los sujetos con baja capacidad espacial? ¿Pueden desarrollarse tecnologías con interfaces amigables para el usuario que ayuden en el desarrollo de la capacidad espacial?

De acuerdo con el trabajo llevado a cabo durante estos años por nuestro grupo y de las experiencias desarrolladas (Contero, Naya, Company, Saorin, & Conesa, 2005; Contero, Company, Saorin, & Naya, 2006; Saorín, 2006; Martín-Dorta, Saorin, & Contero, 2008), podemos llegar a una serie de conclusiones generales:

Sobre las variables que afectan a los valores de las habilidades:

- El uso de los test MRT y DAT-SR permite obtener una medida completa de las habilidades espaciales, que nos ha permitido medir las dos subcomponentes de la capacidad espacial y comparar nuestras experiencias con otras llevadas a cabo en el ámbito de la ingeniería a nivel nacional e internacional.
- Los resultados nos indican que hay variables específicas que afectan a cada una de estas subhabilidades:

1. Sexo: Las mujeres obtienen, a su entrada a la universidad, puntuaciones medias más bajas de rotación espacial que los hombres. Distintos trabajos (Deno, 1995; Sorby, 1996) determinan que actividades no académicas, como las de construcción con bloques tipo Lego, videojuegos o la práctica de deportes tienen una importancia significativa en la visión espacial. Nuestra experiencia, después de cinco cursos haciendo medición de habilidades espaciales, nos hace pensar en que esta diferencia tenderá a aminorarse, pero de

momento los datos no lo reflejan. Desde 2004 tenemos datos de una diferencia aproximada de 6 puntos. Esta diferencia se produce en el test que mide los procesos de rotación mental, no es así en el test DAT, donde la diferencia es mucho menor. Hay que destacar que nuestro trabajo está limitado a estudiantes que entran a la Universidad y que proceden, en general, de las Islas Canarias. Por otra parte, estudios recientes, en otros ámbitos geográficos, siguen reflejando esta diferencia en los valores iniciales en los test de medida (Feng, Spence & Pratt, 2007; Kaufman, 2007).

2. Edad: Como norma general, para los dos test, a partir de los 18 años, la edad es un factor que influye negativamente en las habilidades espaciales.
3. Videojuegos: Los estudiantes que se manifiestan aficionados a los videojuegos obtienen, de media, mejores puntuaciones en los test de rotaciones espaciales (MRT).
4. Conocimientos previos: Haber cursado previamente asignaturas de dibujo también influye positivamente en los valores de habilidad espacial.

Es por esto importante desarrollar programas específicos de entrenamiento para los sectores de población en los que se ha detectado niveles de aptitud espacial inferiores a la media.

Respecto a los cursos intensivos de corta duración:

- Parecen ser efectivos en la mejora de la capacidad espacial. Podrían integrarse como cursos cero, para los estudiantes con dificultades o como estrategias a más largo plazo en la formación previa a la universidad (bachillerato, secundaria, etc.).
- La utilización de material multimedia es una estrategia alternativa al método clásico de ejercicios tradicionales de lápiz y papel. Estas aplicaciones obtienen una muy buena acogida, por parte de los alumnos.
- La utilización de una aplicación de modelado basado en bocetos (eCIGRO) obtiene buenos resultados en la mejora de la visión espacial, configurando un buen método que hace especial hincapié en el uso del croquis como herramienta de diseño.

Es importante desarrollar programas específicos de entrenamiento para los sectores de población en los que se ha detectado niveles de aptitud espacial inferiores a la media.



Respecto al efecto de las asignaturas de Expresión Gráfica sobre las capacidades espaciales:

- Las asignaturas estudiadas han mejorado significativamente las habilidades espaciales, demostrando con ello que el estudio de esta materia es útil para los futuros ingenieros, no sólo por su contenido teórico-práctico, sino por la ayuda que representa para mejorar o desarrollar estas habilidades.
- Los incrementos se obtienen incluso cuando nos referimos a cursar diferentes asignaturas en la misma o en diferentes universidades. Este hecho resulta sorprendente debido a la disparidad de programas, duraciones y métodos de enseñanza. Nos lleva a pensar que la Expresión Gráfica contiene los elementos que permiten el desarrollo de las habilidades espaciales.

Aparecen en el horizonte nuevas líneas de investigación que complementarían los resultados obtenidos por nuestro grupo de investigación, algunas de ellas las indicamos a continuación:

- Sería interesante desarrollar programas específicos para los sectores de población en los que se ha detectado niveles de rotación espacial inferiores a la media.
- Puesto que las aplicaciones multimedia son muy apreciadas por los estudiantes, parece que el desarrollo de nuevas herramientas podría ser una línea interesante de actuación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Albaret J, Aubert E. "Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vanderberg". *Evolutions Psychomotrices*. 1996. Vol.8-34, p.268-278.
- Andrés-Pueyo A. *Manual de psicología diferencial*. Madrid: McGraw Hill, 2002. ISBN: 84-481-792-6.
- Andrés-Pueyo A, Jayme-Zaro M. "La inteligencia de los hombres y las mujeres". *Mundo científico*. 1998. N°196, p.63-77.
- Bennett G, Seashore H, Wesman, A. *DAT 5: Tests de aptitudes diferenciales*. Madrid: TEA Ediciones, 2006. ISBN: 84-7174-862-2.
- Burnet S, Lane D. "Effects of academic instruction on spatial visualization". *Intelligence*. 1980. Vol.4, p.233-242.
- Carrol J. *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press, 1993. 819 p. ISBN: 0521382750 (pbk.), 0521387124 (cover)
- Clements, D, Battista, M. "Geometry and Spatial Reasoning". En: AE Kelly, and RA Lesh. *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*. New York: Macmillan Publishing Company. 1992. p.420-464.

- Connolly P, Maicher K. "The developing and testing of an interactive Web-based Tutorial for Orthographic Drawing instruction and Visualization Enhancement". En: *ASEE Annual conference and Exposition*. Oregon: 2005.
- Contero M, Company P, Saorin J, et al. "Learning Support Tools for Developing Spatial Abilities in Engineering Design". *International Journal of Engineering Education*. 2006. Vol.22-3, p.470-477.
- Contero M, Naya F, Company P, Saorin, et al. "Improving visualization skills in engineering education". *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2005. Vol.25-5, p.24-31.
- Contreras MJ, Colom R, Hernandez JM, et al. "Is static spatial performance distinguishable from dynamic spatial performance? A latent-variable analysis". *Journal of General Psychology*. Julio de 2003.
- Crown SW. "Improving Visualization Skills of Engineering Graphics Students Using simple JavaScript Web Based Games". *Journal of Engineering Education*. Julio de 2001. p.347-355.
- Deno JA. "The relationship of previous Experiences to Spatial Visualization Ability". *Engineering Design Graphics Journal*. 1995. Vol. 59-3, p. 5-17.
- Devon R, Engle R, Foster R, et al. "The effect of solid modelling software on 3D visualization skills". *Engineering Design Graphics Journal*. 1994. Vol. 58-2, p.4-11.
- Dominguez-Posada RJ. "Influencia de las asignaturas gráficas sobre el desarrollo de la vision espacial en los alumnos de las escuelas técnicas superiores". Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Canales y Puertos, Madrid, 1994.
- Eliot J, Smith I. *An International Dictionary of Spatial Tests*. Windsor, United Kingdom: The NFER-Nelson Publishing Company, LTD, 1983.
- Feng J, Spence I, Pratt J. "Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition". *Psychological Science*. Octubre 2007. Vol. 18-10, p. 850-855.
- Ferguson ES. *Engineering and the Mind's Eye*. MIT Press, 1992. ISBN: 0262061473.
- Gardner R. "Field-independence as a determinant of susceptibility to certain illusions". *American Psychologist*. 1957. Vol.12, p.397.
- Gerson H, Sheryl S, Wisocki A, et al. "The Development and Assessment of Multimedia Software for Improving 3-D Spatial Visualization Skills". *Computer Applications in Engineering Education*. 2001. Vol.9-2, p.105-113.

- Guilford J, Zimmerman W. "Some A.A.F. findings concerning aptitude factors". *Occupations*. 1947. Vol.26, p.154-159.
- Halpern DF. *Sex Differences in Cognitive Abilities*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 1986.
- Hegarty M, Waller D. "A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities". *Intelligence*. 2004. Vol.32, p.175-191.
- Kaufman SB. "Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity?". *Intelligence*. 2007. Vol. 35-3, p. 211-223.
- Kelley T. *Crossroads in the mind of man*. CA: Stanford University Press, 1928.
- Linn M, Petersen A. "A meta-analysis of gender differences in spatial ability: Implications for mathematics and science achievement". En: J. H. Linn (Ed.). *The psychology of gender*. Baltimore, M.D.: John Hopkins University Press, 1986.
- Maccoby E, Jacklin C. *The Psychology of sex differences*. Stanford, CA: Stanford University Press, 1974.
- Martín-Dorta N, Saorín J, Contero M. "Development of a Fast Remedial Course to Improve the Spatial Abilities of Engineering Students". *Journal of Engineering Education*. 2008. Vol.27-4, p.505-514.
- McGee M. "Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences". *Psychological Bulletin*. 1979. Vol.86, p.889-918.
- Miller C. "A Historical review of applied and theoretical spatial visualization publications in engineering graphics". *Engineering Design Graphics Journal*. 1996. Vol.60-3, p.12-33.
- Mohler JL. "A review of spatial ability research". *Design Graphics Journal*. 2008. Vol.78-3.
- Morán S, Rubio R, Gallego R, et al. "Proposal of interactive applications to enhance student's spatial perception". *Computers & Education*. 2008. Vol.50-3, p.772-786.
- Olkun S. "Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities". April: 1-10. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*. Abril 2003. p.1-10.
- Pak R. "A further examination of the influence of spatial abilities on computer task performance in younger and older adults". En: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting*. Minneapolis, MN. Octubre 2001. p.1551-1555.
- Pellegrino J, Alderton D, Shute V. "Understanding spatial ability". *Educational Psychologist*. 1984. Vol.19-3, p.239-253.
- Pérez-Carrión T, Serrano-Cardona M. *Ejercicios para el desarrollo de la percepción espacial*. Alicante: Editorial Club Universitario, 1998. ISBN: 84-95015-06-4.
- Piaget J, Inhelder B. *Mental imagery in the child*. F. Langdon, & T. J.L. Lunzer, Edits. New York: Basic Books, 1971. ISBN: 0-7100-6921-9.
- Rafi A, Samsudin KA, Ismail A. "On Improving Spatial Ability Through Computer-Mediated Engineering Drawing Instruction". *Educational Technology & Society*. 2006. Vol.9-3, p.149-159.
- Sánchez-Carlessi H, Reyes-Romero C. *Psicología del aprendizaje y la educación superior*. Santa Patricia: Visión Universitaria, 2003.
- Saorín-Pérez J. "Estudio del efecto de la aplicación de tecnologías multimedia y del modelado basado en bocetos en el desarrollo de las habilidades espaciales". Director: Contero González M. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Gráfica, Valencia, 2006.
- Smith I. *Spatial ability: Its educational and social significance*. London: The University of London Press, 1964.
- Sorby SA, Baartmans B, "A course for development of 3-D Spatial visualization Skills". *Engineering Design Graphics Journal*. 1996. Vol. 60-1, p. 13-20.
- Sorby SA, Baartmans BJ. "The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students". *Journal of Engineering Education*. 2000. Vol.89-3, p.301-307.
- Sorby SA, Wysocky AF, Baartmans BJ. *Introduction to 3D Spatial Visualization: An active approach*. Thomson: Delmar Learning, 2003.
- Spearman C. *The abilities of man*. New York: Mac-Millan, 1927.
- Thorndike E. "On the organization of the intellect". *Psychological Review*. 1921. Vol.28, p.141-151.
- Thurstone L. *Primary mental abilities*. Chicago: University of Chicago Press, 1938.
- Voyer D, Voyer S, Bryden M. "Magnitudes of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables". *Psychological Bulletin*. 1995. Vol.117-2, p.250-270.
- Witkin H. "Individual differences in ease of perception of embedded figures". *Journal of Personality*. 1950. Vol.19, p.1-15.